



**UNICEUB – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA**

**FATECS - FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS**

**CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO**

**FELIPE ELIAS DA SILVA**

**PROTÓTIPO DE PROTETOR DE SOBRETENSÃO DIGITAL**

**BRASÍLIA/DF**

**2º SEMESTRE DE 2008**

**FELIPE ELIAS DA SILVA**

**PROTÓTIPO DE PROTETOR DE SOBRETENSÃO DIGITAL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia da Computação, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Computação.

Orientador: Prof. José Julimá Bezerra Junior

BRASÍLIA/DF

2º SEMESTRE DE 2008

## Resumo

Este projeto expõe o problema da qualidade energia elétrica em instalações residenciais. Mais especificamente, o trabalho aborda sobre o problema da sobretensão elétrica. Este tipo de distúrbio, conhecido internacionalmente como *voltage swell*, age como um aumento da tensão nas redes elétricas instaladas em residências. Com isso, os diversos aparelhos eletroeletrônicos não oferecem uma proteção confiável contra este tipo de distúrbio. A solução do problema citado é a construção de um protótipo que vise atuar sobre a sobretensão, impedindo a passagem do sinal distorcido, até o equipamento eletrônico protegido. Contudo, o protótipo irá atuar mais especificamente no momento de ocorrência de sobretensões localizadas após o restabelecimento da energia elétrica. No instante do retorno da energia, existem muitas cargas indutivas e capacitivas ligadas à mesma rede elétrica, além de diversos dispositivos, que, inicialmente, absorvem uma quantidade de energia elétrica muito maior do que o normal. Estes fatores são os responsáveis pela ocorrência do fenômeno da sobretensão após interrupções de energia. O protótipo a ser construído tem como objetivo principal impedir a passagem de tensões elevadas aos aparelhos eletrônicos de forma automática, ou seja, sem intervenção do usuário. Além disso, o protetor também irá fornecer informações sobre as quedas ocorridas no momento em que estiver em funcionamento.

Palavras chave: Sobretensão, Microcontrolador, Interrupções, QEE.

## Abstract

This project displays the problem of the quality electric energy in residential installations. More specifically, the work approaches on the problem of the electric surge. This type of riot, known internationally as voltage swell, acts as an increase of the tension in the electric nets installed in residences. With this, the diverse electronic devices do not offer a trustworthy protection against this type of riot. The solution of the cited problem is the construction of an archetype that it aims at to act on the surge, hindering the ticket it signals distorted until the protected electronic equipment. However, the archetype will go more specifically to act at the moment of occurrence of voltage swell located after the reestablishment of the electric energy. In the instant of the return of the energy, many on inductive and capacitive loads to the same electric net exist, beyond diverse devices that, initially, absorb an amount of very bigger electric energy of what the normal one. These factors are responsible for the occurrence of the phenomenon of the surge after the interruptions of energy. To be constructed archetype has as objective main to hinder the ticket of high tensions to the electronic devices of automatic form, that is, without intervention using it. Moreover, the protector also will go to supply information on the occurred falls at the moment where he will be in functioning.

Keywords: Voltage Swell, Microcontroller , Interruptions, Power Quality.

## **Agradecimentos**

Agradeço aos meus pais Maria de Jesus e Severino Antônio pela oportunidade e pelos conselhos.

Ao Professor Orientador José Julimá Bezerra Junior pelas inúmeras reuniões de orientação, incentivos e cobranças.

Ao meu amigo Alex pelo compartilhamento de idéias e apoio.

A minha namorada Thallita pela compreensão, paciência e dedicação.

## Sumário

1. Introdução.....	1
1.1 Problema a ser Resolvido.....	1
1.2 Objetivos .....	1
1.3 Visão Geral do Protótipo.....	2
1.4 Organização do Trabalho .....	3
2. A Qualidade de Energia Elétrica .....	4
2.1 Conceito .....	4
2.2 Fenômenos Elétricos Transitórios.....	6
2.2.1 Transitórios Impulsivos .....	6
2.2.2 Transitórios Oscilatórios .....	7
2.3 Variações de Curta Duração.....	8
2.3.1 Interrupção .....	9
2.3.2 Afundamentos de Tensão.....	10
2.3.3 Elevações de Tensão .....	11
2.4 Variações de Longa Duração .....	13
2.4.1 Interrupções Sustentadas.....	14
2.4.2 Subtensões .....	14
2.4.3 Sobretensões .....	15
2.4.4 Sobretensões após interrupções .....	16
2.5 Desequilíbrios de Tensão .....	18
3. Desenvolvimento do projeto.....	19
3.1 Hardware.....	20
3.1.1 Mini-Relé .....	20
3.1.2 Acopladores Ópticos.....	23
3.1.3 Microcontrolador 8051 .....	26
3.2 Software .....	30
3.2.1 Rotinas do Circuito de Entrada .....	31
3.2.2 Rotinas do Circuito de Saída .....	33
3.2.3 Rotinas de Apresentação.....	35
3.3 Testes e Resultados .....	39
4. Conclusão.....	45
Referências Bibliográficas.....	46
Apêndice.....	47

## Lista de Figuras

<i>Figura 1.1 – Visão do Protótipo.....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2.1 - Transitório Impulsivo.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2.2 - Transitório Oscilatório em um sistema de 110V.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2.3 - Interrupção precedida de um afundamento de tensão.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2.4 - Afundamento de Tensão.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2.5 - Elevação de Tensão.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2.6 - Elevação instantânea do valor rms da tensão.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2.7 - Comportamento da tensão após uma interrupção.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3.1 - Estrutura de um Relé.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3.2 - Estrutura simplificada da utilização do relé no protótipo.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3.3 - Optoacoplador e seus componentes.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3.4 - Circuito de Entrada.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3.5 - Circuito de Saída.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3.6 - Arquitetura básica do microcontrolador da família 8051.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3.7 - Kit Didático 8051LS da Microgenius.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.8 - Alimentação do Microcontrolador e Relé.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.9 - Alimentação do Fototransistor.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3.10 - Esquema de ligação do display LCD ao microcontrolador.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3.11 - Fluxograma da verificação do circuito de entrada.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3.12 - Trecho do código-fonte para verificação do sinal de entrada.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3.13 - Fluxograma de ações do circuito de saída.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3.14 - Trecho do código-fonte com o método de enviar byte ao display.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3.15 - Método de impressão de string no display LCD.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3.16 - Método de impressão de números no display LCD.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3.17 - Método de posicionamento do cursor no display LCD.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3.18 - Método de cálculo do tempo para imprimir no display LCD.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3.19 - Ambiente de testes e análises.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3.20 - Ligações do circuito de entrada.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 3.21 - Ligações do circuito de saída.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 3.22 - Bateria de 9V alimentando o circuito de saída.....</i>	<i>42</i>

## Lista de Tabelas

<i>Tabela 2.1 - Faixa de valores para variação de tensão em regime permanente .....</i>	<i>13</i>
<i>Tabela 3.1 - Valores medidos durante os testes na residência .....</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 3.2 - Valores medidos durante os testes no laboratório.....</i>	<i>44</i>

## Lista de Símbolos e Abreviaturas

### Abreviaturas

OPTO1 – Optoacoplador do Circuito de Entrada

OPTO2 – Optoacoplador do Circuito de Saída

Q1 – Transistor do Circuito de Entrada

Q2 – Transistor do Circuito de Saída

S1 – Chave do Circuito

CI – Circuito Integrado

LED – Diodo Emissor de Luz

LCD – Display de Cristal Líquido

GND – Fio Terra

Vcc – Fio de Alimentação

CPU – Unidade Central de Processamento

NA – Normalmente Aberto

NF – Normalmente Fechado

C – Contato Comum

RAM – Memória de Acesso Randômico

QEE – Qualidade de Energia Elétrica

## Símbolos

$\mu$  – micro, unidade de grandeza ( $10^{-6}$ )

m – mili, unidade de grandeza ( $10^{-3}$ )

K – kilo, unidade de grandeza ( $10^3$ )

Hz – Hertz, unidade de frequência

V – Volts, unidade de tensão elétrica

A – Ampère, unidade de corrente elétrica

$\Omega$  - Ohm, unidade de resistência elétrica

W – Watt, unidade de potência

# 1. INTRODUÇÃO

---

## 1.1 PROBLEMA A SER RESOLVIDO

O presente trabalho expõe o problema de qualidade de energia elétrica em instalações residenciais. Mais especificamente, o trabalho aborda sobre o problema da sobretensão elétrica. Este tipo de distúrbio, conhecido internacionalmente como *voltage swell*, age como um desequilíbrio de tensão nas redes elétricas em geral.

Ultimamente, grandes esforços por parte de instituições de pesquisa, universidades, órgãos reguladores, concessionárias e empresas diversas têm estudado formas de criar indicadores para identificar os fenômenos dos distúrbios na tensão. Desenvolver capacidade de medição dos fenômenos foi o passo inicial de muitos agentes para promover um melhor entendimento de causas, conseqüências, níveis de emissividade, de sensibilidade e busca de formas de mitigação de problemas na qualidade da energia. Por isso, este trabalho faz uma breve análise nos distúrbios elétricos chamados de *voltage swell*, e em seguida detalha a construção de um protótipo de proteção contra sobretensão digital eficaz, que possa ser instalado em residências para a proteção de equipamentos eletrônicos como aparelhos de TV, microcomputadores, aparelhos de DVD, videocassete, aparelhos de som, etc.

A análise da sobretensão desenvolvida neste trabalho acadêmico consiste em levantar possíveis causas deste fenômeno e como os seus efeitos interferem no funcionamento dos equipamentos eletrônicos. É por meio desta abordagem que é possível descrever um padrão de identificação deste fenômeno. Assim, a construção do protótipo de protetor utilizará estes dados como base para o funcionamento eficaz da proteção contra este distúrbio.

## 1.2 OBJETIVOS

O principal objetivo do presente trabalho é implementar um protótipo de proteção contra sobretensões elétricas. Como dito acima, este protótipo tem como função principal impedir que os distúrbios de sobretensão da rede elétrica residencial cheguem até os equipamentos eletrônicos instalados na mesma rede. Ou seja, o protótipo age como uma barreira impedindo que as sobretensões e seus efeitos danosos afetem os equipamentos eletrônicos. Além desta funcionalidade, o protótipo também atua como um contador de interrupções, ou cortes, na energia elétrica

residencial. Fica aqui exposto que não é a intenção deste trabalho o estudo das quedas de energia elétrica, por isso o desenvolvimento da funcionalidade de contagem é feito apenas para apresentar dados referentes às interrupções de energia elétrica. Portanto, a grande contribuição desta dissertação está em construir um protótipo de protetor de sobretensão digital, que seja simples, eficaz e de baixo custo.

### 1.3 VISÃO GERAL DO PROTÓTIPO

O protótipo a ser construído tem como base a implementação de um circuito que corta o sinal de energia proveniente do seu restabelecimento pela concessionária. Este circuito é uma junção de diversos compostos eletrônicos como resistores, relés, transformadores, capacitores, optoacopladores, etc. Para melhor ilustrar como o protótipo está organizado, segue a Figura 1.1.

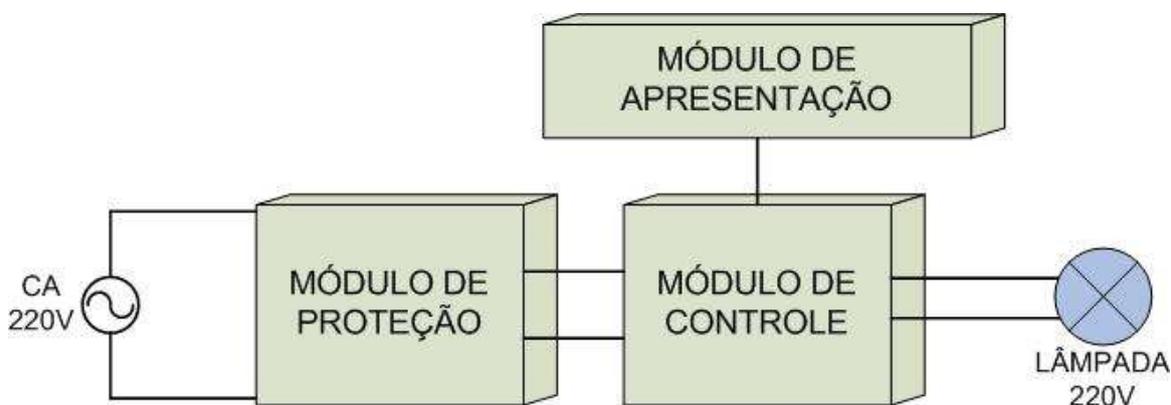


Figura 1.1 – Visão do Protótipo

Pode-se observar pela Figura 1.1 que o protótipo é dividido em três segmentos, ou módulos. Essa divisão foi feita para simplificar a apresentação do funcionamento geral do protótipo e como cada funcionalidade está distribuída no mesmo. No primeiro módulo, ou Módulo de Proteção a funcionalidade de proteção é realizada através de um relé que liga e desliga o circuito, protegendo o equipamento eletrônico conectado.

O Módulo de Controle é responsável pelo acionamento automático do relé via sinal de um microcontrolador. Este módulo também envia sinais de controle e de

dados para o módulo de apresentação. E finalmente, o Módulo de Apresentação realiza a visualização das informações relacionadas às interrupções de energia elétrica.

## **1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

Abaixo segue uma explanação de como a dissertação esta organizada e o que cada capítulo irá abordar em seu conteúdo.

No Capítulo 2, o tema sobre Qualidade de Energia Elétrica é descrito de maneira sucinta. Porém, o estudo do distúrbio de sobretensão é enfatizado neste capítulo. Portanto, os outros tipos de distúrbios serão apresentados, mas somente a sobretensão elétrica será estudado nesta dissertação.

Já no Capítulo 3, o protótipo vira o tema do capítulo, sendo totalmente analisado e explicado por meios de esquemas e figuras ilustrativas. Cabe a este capítulo também explicar como cada funcionalidade do protótipo está desenvolvida e apresenta os testes submetidos e seus resultados.

No Capítulo 4, o trabalho apresenta uma conclusão sobre os testes e análises feitos sobre o funcionamento do protótipo, em um ambiente simulado de condições. Além disto, o capítulo também propõe idéias para projetos futuros.

## 2. A QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

---

### 2.1 CONCEITO

A Qualidade de Energia Elétrica, ou QEE, está se tornando um dos assuntos mais estudados pelos engenheiros elétricos. Isso se deve por causa do uso, cada vez mais intensivo, de equipamentos eletroeletrônicos dentro das indústrias e por consumidores de um modo geral. Por isso, o estudo das causas e dos efeitos dos distúrbios da QEE é de grande importância justamente para encontrar soluções que amenizem as consequências destes distúrbios nos equipamentos eletroeletrônicos [5].

O desenvolvimento tecnológico na área da eletrônica tem produzido diversos aparelhos sensíveis aos efeitos dos fenômenos ocorridos em um sistema elétrico, podendo ser industrial ou residencial. A necessidade da preocupação quanto à qualidade de energia elétrica têm aumentado, principalmente pelos seguintes motivos expostos [2] [3]:

- Os aparelhos eletrônicos atuais são mais sensíveis às formas de onda fornecidas pelo sistema elétrico. Na maioria dos casos, estes aparelhos possuem componentes muito sensíveis aos vários tipos distúrbios;
- Atualmente é grande o interesse na racionalização e conservação de energia elétrica, justamente para aumentar a otimização da utilização desta energia. Esta prática muitas vezes utiliza de equipamentos que aumentam os níveis de distorções harmônicas e podem levar o sistema a condições de ressonância;
- A conscientização dos usuários também é um fator que influencia nessa preocupação quanto à qualidade de energia elétrica. Estes usuários estão mais exigentes quanto a esta qualidade que chegam a suas residências, comércios e indústrias;
- A integração de processos dos sistemas de alimentação de energia elétrica faz com que a falha de qualquer componente influencie no sistema elétrico como um todo, comprometendo-o;
- Outro motivo é quanto às consequências resultantes de variações nas formas de onda que impacta na vida útil dos equipamentos eletrônicos modernos sensíveis a essas variações;

Dentre os distúrbios existentes da QEE, a sobretensão, recebe uma atenção especial dos profissionais de energia elétrica pelo perigo que esta possui em relação aos efeitos causados em aparelhos eletroeletrônicos. Em alguns ramos de atividade, como as indústrias têxtil, siderúrgica e petroquímica, os impactos econômicos da qualidade da energia são enormes. Por isso há preocupação entre as empresas e os profissionais do ramo em analisar e diagnosticar os distúrbios da Qualidade de Energia Elétrica. Com isso, encontrar, desenvolver soluções técnicas e economicamente viáveis para amenizar ou acabar com os efeitos desses distúrbios nos diversos tipos de sistemas elétricos é um objetivo fundamental de empresas e concessionárias de energia elétrica [5].

Por ser prejudicial ao funcionamento dos equipamentos e podendo até comprometê-los, os efeitos dos fenômenos da QEE podem ser de diversos tipos e graus de intensidade. Alguns dos efeitos relacionados aos distúrbios da QEE estão descritos a seguir [3]:

- Acionamento indevido de relés
- Mau funcionamento de equipamentos sensíveis
- Distorções em equipamentos de medições
- Interrupções do fornecimento de energia

Estes efeitos não estão necessariamente ligados a um só tipo de distúrbio, também podem aparecer a partir de um conjunto de variações e oscilações nas formas de onda do sinal de alimentação do sistema elétrico.

O conceito de Qualidade de Energia Elétrica pode ser definido como um conjunto de alterações que podem ocorrer no sistema elétrico. Qualquer problema de energia manifestado na tensão, corrente ou nas variações de frequência que resulte em falha ou má operação de equipamentos de consumidores estão relacionados com a Qualidade de Energia Elétrica. Essa definição engloba inclusive o problema da sobretensão, que nada mais é do que um problema na tensão que resulte em falha ou má operação de equipamentos de consumidores. As alterações na tensão, corrente ou na frequência da onda podem ocorrer nas diversas partes do sistema elétrico, podendo ser desde as instalações elétricas residenciais quanto nos sistemas supridores de energia da concessionária. Isso demonstra que este é um problema de ordem geral, não existindo apenas um culpado ou responsável pelas causas, mas sim uma conjuntura de fatores que influenciam na existência destes distúrbios de QEE [6].

## 2.2 FENÔMENOS ELÉTRICOS TRANSITÓRIOS

Os transitórios eletromagnéticos são respostas elétricas locais ou nas adjacências, originárias de alterações nas condições operacionais de um sistema elétrico. Ou seja, é uma manifestação de qualquer mudança nas condições originais de um sistema elétrico. A duração de um transitório é muito pequena, mas de grande importância, já que os equipamentos ligados ao sistema elétrico são sensíveis às cargas elevadas de tensão e corrente [1] [3].

Os transitórios elétricos podem ser divididos em dois grandes grupos: os transitórios impulsivos e os transitórios oscilatórios. Os transitórios impulsivos são aqueles causados principalmente por descargas atmosféricas, como os surtos elétricos. Já os transitórios oscilatórios são aqueles causados por chaveamentos de circuitos elétricos. A seguir são apresentados as características, as causas e os efeitos de cada um desses tipos de fenômenos elétricos [1].

### 2.2.1 TRANSITÓRIOS IMPULSIVOS

Os transitórios impulsivos, ou também chamados de impulsos atmosféricos, são caracterizados por serem de origem atmosférica, ou seja, a sua principal causa são as descargas atmosféricas. Este tipo de transitório é súbito ou repentino, não causando assim, alterações permanentes nos estados de tensão e corrente do sinal elétrico. Geralmente é um fenômeno muito rápido possuindo uma polaridade unidirecional, podendo ser positiva ou negativa [5].

Os transitórios impulsivos devem ser considerados importantes pelo seu poder de comprometimento de sistemas elétricos. Dependendo da descarga elétrica submetida, os sistemas elétricos devem ser observados no ponto de ocorrência destes fenômenos, já que estes apresentam valores elevados de tensão, causando assim sobretensões nas linhas adjacentes ao sistema. As altas sobretensões nas linhas próximas ao ponto de incidência destas descargas podem causar afundamentos de tensão de curta duração ou até mesmo uma interrupção de energia elétrica [3].

Estes tipos de transitórios apresentam tempos de subidas e descidas diferentes, ou seja, eles não são sincronizados em sua frequência. Para melhor explicar esta característica utilize o seguinte exemplo: um impulso transitório tem como valores o tempo de subida de  $1,2 \mu\text{s}$  e tensão de pico  $2000\text{V}$ . Este mesmo impulso decai para metade da tensão máxima de pico no tempo de  $50 \mu\text{s}$  [1].

Os impulsivos atmosféricos causam a degradação ou falha imediata dos isolamentos de equipamentos e fontes eletrônicas. Para melhor ilustrar este fenômeno, segue a Figura 2.1 que mostra uma perturbação no sinal senoidal de energia elétrica. Esta perturbação geralmente tem um alto valor em sua amplitude, enquanto que sua duração é muito rápida, às vezes nem sendo perceptíveis por equipamentos de proteção [5].

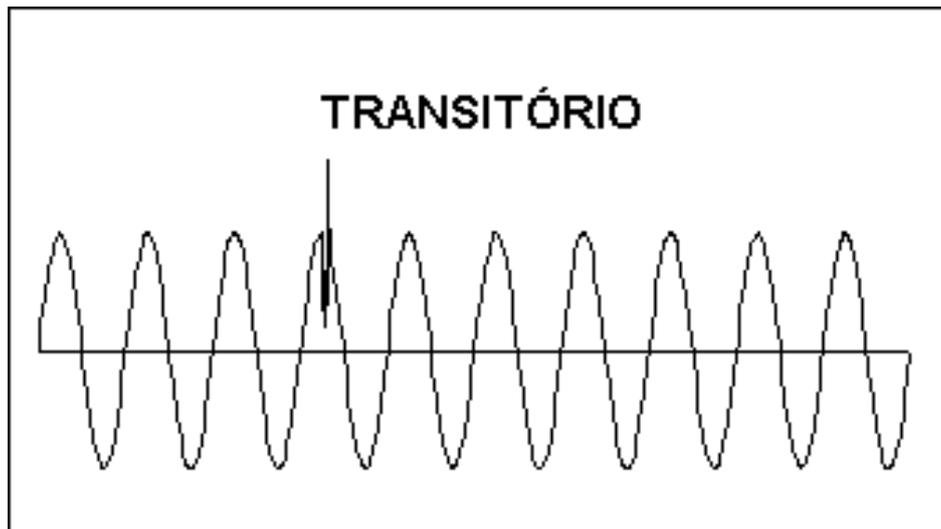


Figura 2.1 - Transitório Impulsivo

### 2.2.2 TRANSITÓRIOS OSCILATÓRIOS

Os transitórios oscilatórios são alterações repentinas nos valores da tensão e/ou corrente que mudam de polaridade (positiva e negativa) rapidamente. Geralmente, estes ocorrem por causa das mudanças em um sistema elétrico, como por exemplo, manobras em linhas de transmissão, chaveamento de bancos de capacitores, chaveamentos de disjuntores para eliminação de faltas e também como resposta a um sistema transitório impulsivo [1].

O crescente uso de banco de capacitores pelas concessionárias de energia, para manutenção dos níveis de tensão, e pelas indústrias, para correção do fator de potência, é grande a preocupação na possibilidade em ocorrer uma condição de ressonância. Tais condições podem causar efeitos altamente prejudiciais aos equipamentos eletroeletrônicos sensíveis aos transitórios de altas frequências. Porém, transitórios oscilatórios de frequências menores também são encontrados nos sistemas de distribuição [3].

A Figura 2.2, ilustra o distúrbio do transitório oscilatório. Nela, pode-se observar a semelhança com o transitório impulsivo, porém os dois distúrbios são muito diferentes em suas composições e causas. Também se pode notar que o distúrbio ocorre em grandeza de milisegundos (ms) diferente dos transitórios impulsivos, que ocorre na casa do microsegundos ( $\mu\text{s}$ ). Neste exemplo, a tensão nominal é de 110V [1].

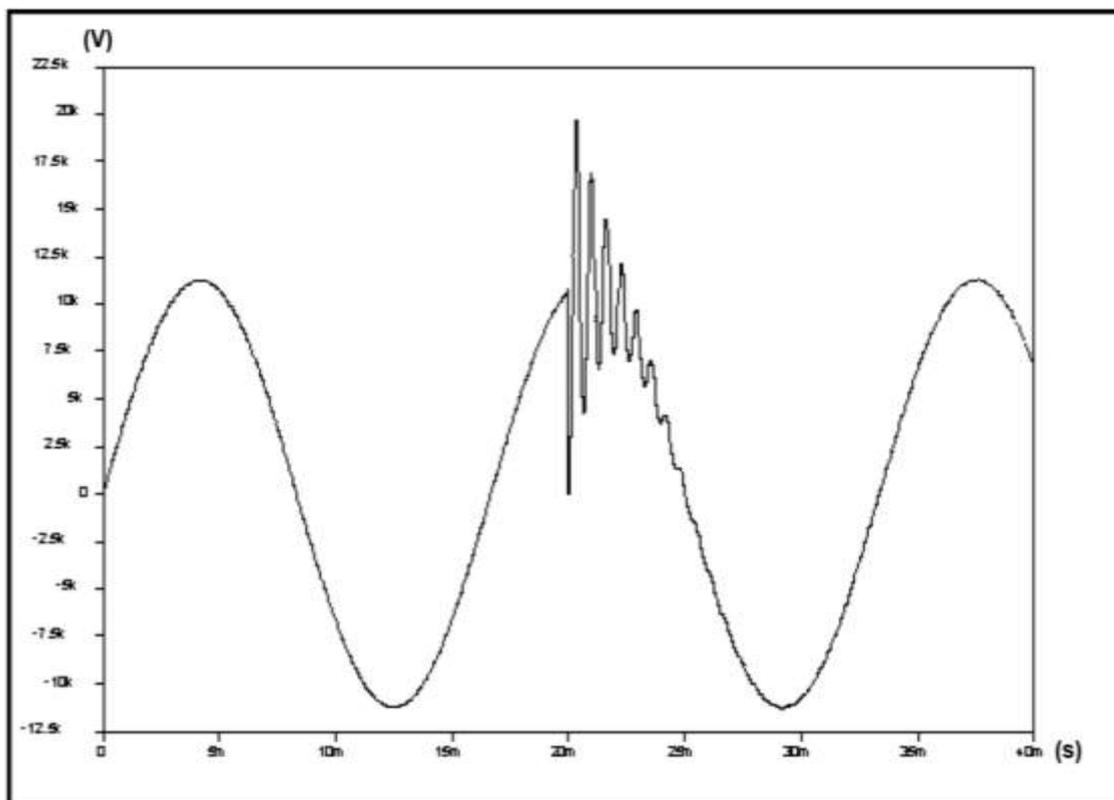


Figura 2.2 - Transitório Oscilatório em um sistema de 110V

### 2.3 VARIAÇÕES DE CURTA DURAÇÃO

As variações de curta duração podem ser designadas como variações instantâneas, momentâneas ou temporárias, dependendo do tipo de variação definido para cada tipo de distúrbio. As variações de voltagem de curta duração são causadas principalmente por condições de falta, energização de grandes cargas que necessitam de grandes correntes de partida ou por falhas intermitentes nas conexões entre os sistemas elétricos. Dependendo da localização da falha e das condições do sistema, estas falhas podem causar afundamentos de tensão (*sags*), sobretensões elétricas (*swells*), ou uma completa interrupção de fornecimento de energia elétrica [1].

### 2.3.1 INTERRUPÇÃO

O distúrbio da interrupção é caracterizado por haver um decréscimo na tensão menor do que 90% da tensão nominal por um período de tempo que não ultrapassa 1 min. Essas interrupções podem ser causadas por faltas nos sistemas de fornecimento de energia, falhas em equipamentos e mau funcionamento de aparelhos de controle. A duração de uma interrupção é medida desde quando a amplitude da tensão se tornar inferior a 90% da tensão nominal [1].

As interrupções de energia causadas por faltas no sistema de fornecimento é determinada pelo tempo de operação de dispositivos de proteção, que geralmente podem limitar as interrupções a momentâneas ou podem ser prolongadas por um tempo maior. Já as interrupções de energia causadas por mau funcionamento de equipamentos e por falhas nas conexões dos sistemas, geralmente são irregulares [2].

As interrupções, geralmente, são precedidas por afundamentos de tensão, quando estas interrupções são devidas por falhas nos sistemas de fornecimento de energia. Os afundamentos de tensão, ou *sags*, ocorrem entre o tempo do início da falta de energia e o início da operação dos sistemas de proteção. Para exemplificar este fenômeno, segue a *Figura 2.3* que demonstra uma interrupção de energia precedida de um afundamento de tensão de 3 ciclos com um decréscimo na amplitude de tensão em torno de 80% do valor de tensão nominal [3].

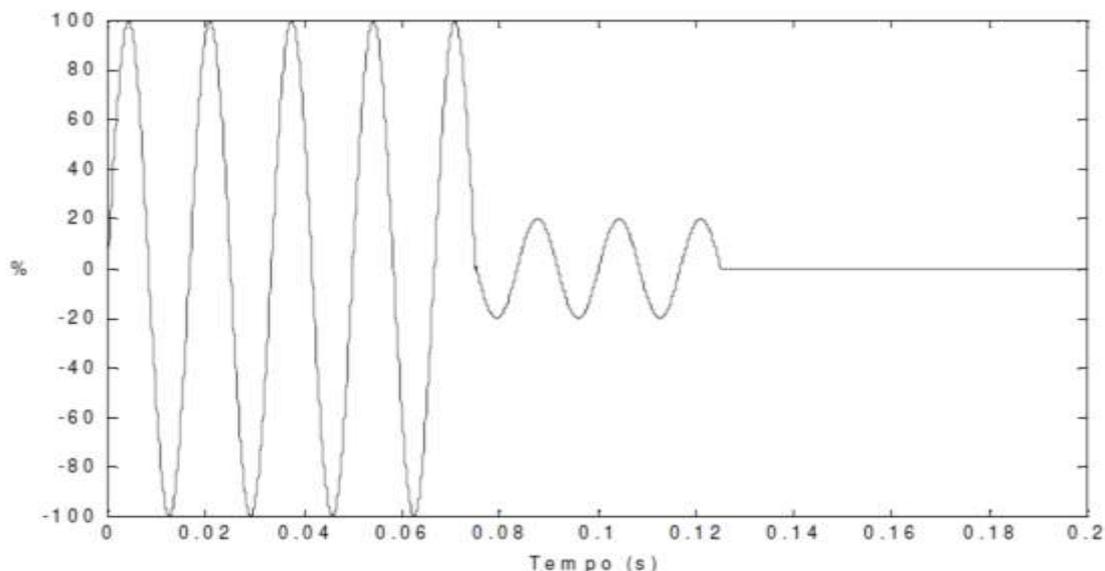


Figura 2.3 - Interrupção precedida de um afundamento de tensão

### 2.3.2 AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

Os afundamentos de tensão de curta duração são caracterizados por apresentarem um decréscimo no valor da eficaz da tensão, com a duração entre 0,5 de ciclo e cerca de 1 minuto. A comunidade de qualidade de energia elétrica tem utilizado o termo *sag* para denominar os afundamentos de tensão durante vários anos. Não é um termo oficializado, mas é bastante difundido entre as instituições, empresas e usuários de energia elétrica [1].

Afundamentos de tensão com período inferior a 10ms e abaixo de 10% não são levados em consideração. Isto se explica pelo fato de que os distúrbios de duração com período de duração abaixo de 10ms são considerados como transitórios e, quedas de tensão de curta duração menores do que 10% são toleradas pela maioria dos equipamentos elétricos [3].

Esses fenômenos podem ser associados, freqüentemente, por faltas no sistema de fornecimento de energia, mas podem também ser causados pela energização de grandes cargas ou a partida de grandes motores e pela corrente *inrush* de um transformador [1].

A Figura 2.4 apresenta como atua o distúrbio da depressão de tensão. Nesta figura, observamos que a depressão de tensão decorre em um tempo de 4 ciclos e chega num decréscimo de mais de 10% do valor nominal da tensão [3].

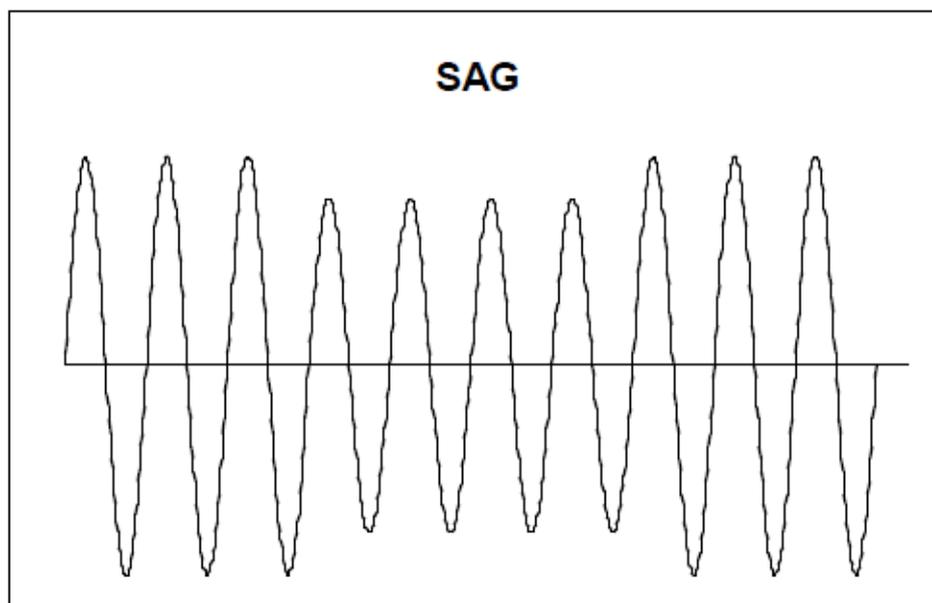


Figura 2.4 - Afundamento de Tensão

### 2.3.3 ELEVAÇÕES DE TENSÃO

A elevação de tensão é caracterizada por um acréscimo no valor eficaz da tensão. Normalmente, esse possui duração entre 0.5 de ciclo e cerca de 1 min. As elevações de tensão são geralmente causadas pelas condições de falta desequilibrada no sistema, desligamento de grandes blocos de cargas e a energização de banco de capacitores [1].

As elevações de tensão são também causadas pela falta no sistema de fase-terra, ou seja, um curto-circuito fase-terra. Nestas condições, as fases não defeituosas experimentam uma elevação de tensão. Por isso, a ocorrência de saltos de tensão ocorre em sua maioria das vezes por causa das faltas fase-terra do que por outras causas [2] [3].

A severidade de uma elevação de tensão durante uma condição de falta se dá em função local da falta, da impedância do sistema e do aterramento do mesmo [1].

As elevações de tensão também são caracterizadas por outras condições. A duração da elevação de tensão está intimamente ligada aos ajustes dos dispositivos de proteção, à natureza da falta (permanente ou temporária) e à sua localização na rede elétrica. Em situações de elevação de tensão oriundas de saídas de grandes cargas ou energização de grandes bancos de capacitores, o tempo de duração das sobretensões depende da resposta dos dispositivos reguladores de tensão das unidades geradoras, do tempo de resposta dos transformadores de *tap* variável e da atuação dos dispositivos compensadores que porventura existam no sistema [3].

De acordo com a frequência da ocorrência do fenômeno pode-se ter a falha dos componentes dos equipamentos eletrônicos como conseqüência das elevações de tensão. Dispositivos eletrônicos sensíveis como computadores, controladores e outros, podem apresentar falhas imediatas, podendo até sofrerem perdas total, se submetidos às elevações de tensão. No caso de transformadores, cabos, barramentos, dispositivos de chaveamento, máquinas rotativas, entre outros, podem ter sua vida útil reduzida.

Quanto aos efeitos, um salto no valor da tensão em um curto período de duração pode resultar em mau funcionamento de relés, porém outros nem perceberão as alterações no valor da tensão, não sendo prejudicados. Uma elevação de tensão em um banco de capacitores pode causar danos em equipamentos. Alguns equipamentos de iluminação podem apresentar um aumento na luminosidade e aquecimento do mesmo. Os dispositivos contra surtos elétricos podem ser danificados quando expostos a súbitas elevações de tensão que extrapolem a taxa de MCOV (*Maximum Continuous Overvoltage*). Esta taxa está relacionada com a tensão máxima

de funcionamento contínua, ou seja, a máxima tensão que o sistema é submetido durante o seu funcionamento [2].

Para ilustrar o comportamento da elevação da tensão em um sinal de energia elétrica, segue a *Figura 2.5*. Pode-se observar na figura que um pequeno período de tempo, a tensão ultrapassa o valor nominal da tensão, chegando a estar entre 110% e 120% acima do valor da tensão nominal do sinal [2].

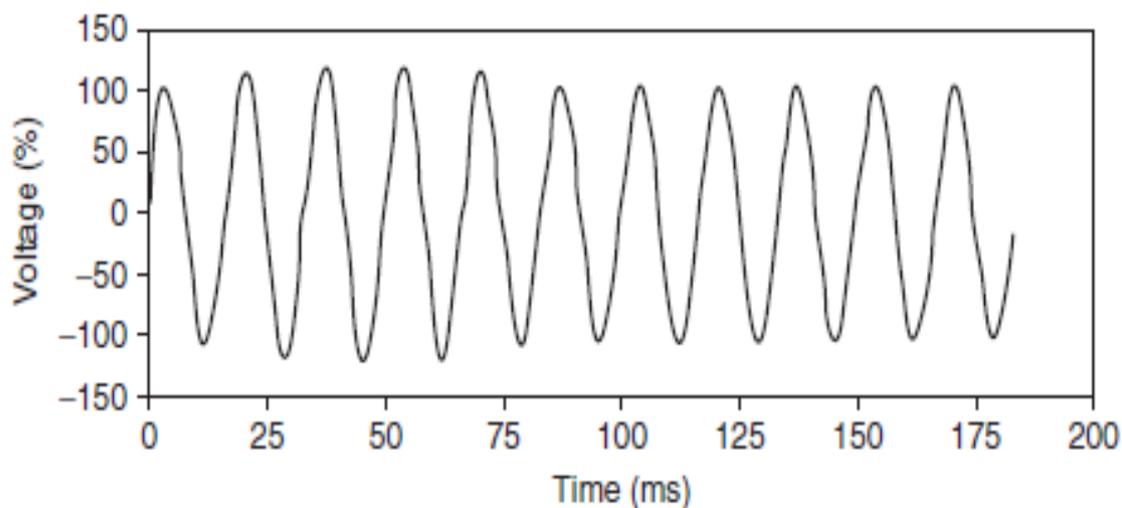


Figura 2.5 - Elevação de Tensão

Na *Figura 2.6*, pode-se observar uma elevação instantânea do valor *rms* da tensão. Também vemos que o valor da tensão chega a ser 15% maior do que o valor de tensão normal de funcionamento do sistema elétrico [2].

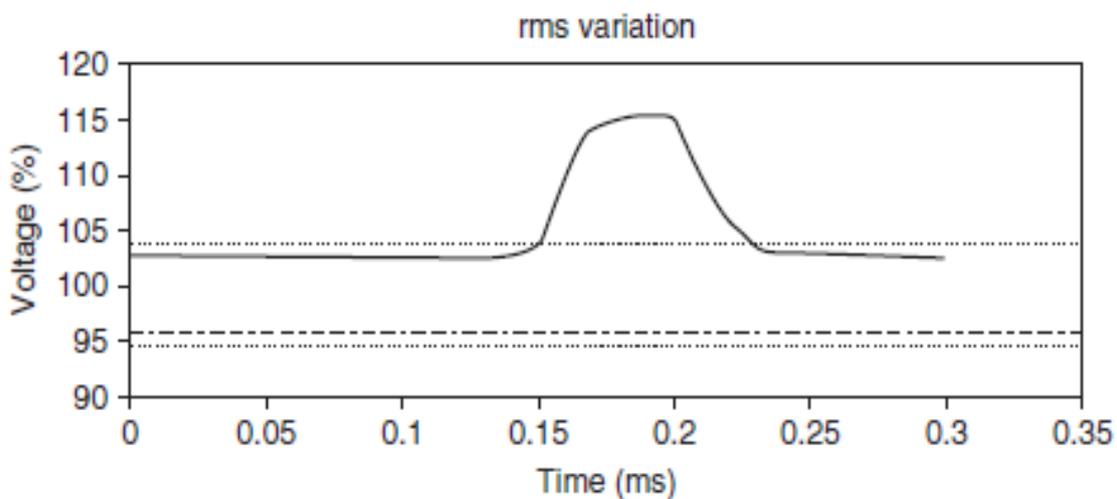


Figura 2.6 - Elevação instantânea do valor rms da tensão

Outra característica importante que observamos nas duas figuras é tempo de ocorrência destes fenômenos. Nas duas figuras o período da elevação da tensão é medido em milissegundos (ms). Por isso, este distúrbio é classificado como uma variação de tensão de curta duração [2].

## 2.4 VARIAÇÕES DE LONGA DURAÇÃO

As variações de longa duração são desvios no valor eficaz da tensão (*rms*) que geralmente, tem duração maior do que 1 minuto. Variações de longa duração podem ser de dois tipos: subtensões e sobretensões. Existe também o fenômeno da interrupção por um longo período de tempo, que também pode ser classificado como uma variação de longa duração. As subtensões e as sobretensões, geralmente, não são resultados de faltas no sistema de energia, mas são causadas por variações de cargas no sistema e por operações de chaveamento no sistema [1].

A Resolução 505 da ANEEL define os índices de tensão que caracterizam as variações de longa duração, ou regime permanente, como é citado na própria resolução. Abaixo segue a *Tabela 2.1* retirada da própria resolução que mostra os níveis de tensão adequados, precários e críticos [8].

TENSÕES NÃO PADRONIZADAS				
Tensão Nominal (TN)		Faixa de Valores Adequados das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)	Faixa de Valores Precários das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)	Faixa de Valores Críticos das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)
Ligação	Volts (V)			
Trifásica 4 Fios	(208)/(120)	(196 ≤ TL ≤ 229)/ (113 ≤ TL ≤ 132)	(189 ≤ TL < 196 ou 229 < TL ≤ 233)/  (109 ≤ TL < 113 ou 132 < TL ≤ 135)	(TL < 189 ou TL > 233)/ (TL < 109 ou TL > 135)
Monofásica	(230)/(115)	(216 ≤ TL ≤ 241)/ (108 ≤ TL ≤ 127)	(212 ≤ TL < 216 ou 241 < TL ≤ 253)  (105 ≤ TL < 108 ou 127 < TL ≤ 129)	(TL < 212 ou TL > 253)/ (TL < 105 ou TL > 129)
	(240)/(120)	(216 ≤ TL ≤ 254)/ (108 ≤ TL ≤ 127)	(212 ≤ TL < 216 ou 254 < TL ≤ 260)  (106 ≤ TL < 108 ou 127 < TL ≤ 130)	(TL < 212 ou TL > 260)/ (TL < 106 ou TL > 130)

Tabela 2.1 - Faixa de valores para variação de tensão em regime permanente

### **2.4.1 INTERRUPÇÕES SUSTENTADAS**

A interrupção sustentada ocorre quando o nível de tensão cai à zero por um período superior a 1 minuto. Essas interrupções maiores do que 1 minuto são geralmente permanentes e necessitam da intervenção humana para reparar o sistema para restaurar ao ponto normal de operação de fornecimento [1].

As interrupções sustentadas podem ocorrer devido à manutenção programada dos sistemas, mas também podem ocorrer devido às manutenções de emergência. A maioria dessas manutenções ocorre de forma não programada, geralmente, para reparar falhas em disjuntores, queima de fusíveis, falhas de componentes de circuito, entre outros motivos. Mas como já dito acima, as interrupções sustentadas também podem ocorrer por causa de manutenções programadas, por exemplo, o serviço de troca de cabos, implantação de postes, manutenção em transformadores, ajustes nos equipamentos de proteção, entre outros motivos [3].

Entre as empresas concessionárias, existe uma preocupação muito grande em causar o menor impacto com esses tipos de fenômenos. Por isso, as concessionárias objetivam o menor número possível de ocorrência de interrupções, justamente para não prejudicar o usuário. Também se preocupam em que essas interrupções sustentadas durem o menor tempo possível, para não prejudicar nenhum serviço de importância do usuário. E por último, é necessário prever que o menor número de consumidores de energia seja afetado por este distúrbio [3].

Os efeitos de uma interrupção sustentada vão desde o desligamento total de equipamentos até possíveis danos no processo de restabelecimento de energia nestes equipamentos. Porém, os equipamentos que executam tarefas críticas, como servidores e equipamentos hospitalares, são protegidos por um sistema de fornecimento de energia alternativa. Isto é, estes equipamentos são ligados aos sistemas de no-break e outros sistemas de armazenamento de energia [3].

### **2.4.2 SUBTENSÕES**

Os afundamentos de tensão sustentados, ou também chamados como subtensões, são caracterizados como decréscimos no valor eficaz da tensão entre 10% e 20%, por um período superior a 1 minuto [1].

Novamente, a entrada de grandes cargas e o desligamento de banco de capacitores podem gerar uma subtensão no sistema elétrico. Uma sobrecarga nos

circuitos alimentadores também pode causar uma subtensão no sistema. Isto ocorre devido aos níveis de corrente que os circuitos são submetidos que, interagindo com a impedância do sistema, originam quedas de tensão acentuadas por um longo período de tempo [2].

Abaixo segue uma lista mostrando as principais conseqüências dos afundamentos de tensão sustentadas [3]:

- Redução na potência reativa de banco de capacitores;
- Possível interrupção da operação de equipamentos eletrônicos sensíveis;
- Redução do nível de iluminação dos circuitos de lâmpadas incandescentes;
- Elevação do tempo de partida das máquinas de indução o que contribui para elevação da temperatura dos enrolamentos;
- Redução na vida útil de equipamentos sensíveis a quedas de tensão, como por exemplo, os motores de indução.

Para solucionar os problemas acima citados, deve-se utilizar das seguintes soluções para regulação da tensão [3]:

- Instalação de reguladores de tensão para elevar o nível da tensão quando houver uma queda no mesmo;
- Instalação de capacitores *shunt* para reduzir a corrente;
- Utilizar de cabos de bitola maiores para reduzir a impedância total nas linhas dos sistemas;

### **2.4.3 SOBRETENSÕES**

As elevações de tensão sustentadas, ou também chamadas de sobretensões são caracterizadas principalmente por apresentar valores acima de 110% na tensão eficaz dos sistemas e, ocorrerem por um período maior do que 1 minuto. As sobretensões são geralmente causadas por desligamento de grandes cargas ou da energização de banco de capacitores. Podem também ser causadas por ajustes incorretos de *taps* de transformadores [1].

Em relação aos efeitos da sobretensão, estes distúrbios podem causar falhas em equipamentos e mau funcionamento de outros aparelhos. Dispositivos eletrônicos sensíveis a altas tensões, quando submetidos às condições de sobretensão por um longo período de tempo, podem sofrer danos e até a perda total do equipamento. Já outros tipos de equipamentos quando submetidos à elevações de tensão por um curto período de tempo podem não sofrer qualquer tipo de dano, como por exemplo os transformadores, cabos, disjuntores e máquinas rotativas. Porém, quando em condições de sobretensão por longos períodos de tempo, poderão ter sua vida útil reduzida. Com relação aos relés de proteção, estes poderão apresentar falhas em sua operação, quando submetidos às altas tensões em regime permanente. Já nos bancos de capacitores, a potência reativa fornecida por eles aumentará com o quadrado da tensão em uma condição de sobretensão. Um conjunto de iluminação poderá ter a sua luminosidade aumentada devido às sobretensões de longo período [1] [2].

Atualmente, diversas soluções têm sido utilizadas por empresas, concessionárias e usuários domésticos. Ou seja, grandes esforços por cada um dessas partes têm lutado contra os efeitos provenientes das sobretensões, tanto as de curta duração de tempo quanto às prolongadas. Para sistemas industriais, é aconselhado trocar os bancos de capacitores fixos por automáticos e também a instalação de compensadores estáticos reativos, controlando o nível de tensão na saída do sistema [6].

No presente trabalho, será apresentada uma solução para os usuários domésticos, ou seja, aqueles usuários de residências que possuem este tipo de distúrbio.

#### **2.4.4 SOBRETENSÕES APÓS INTERRUPÇÕES**

Cortes e interrupções momentâneas (*sags*) são distúrbios comuns no fornecimento de energia elétrica capazes de causar danos em um equipamento. Quando há uma interrupção de energia, os equipamentos ligados à rede elétrica param de funcionar. Mas logo que a energia é restabelecida, ou depois de uma interrupção momentânea, os equipamentos voltam a funcionar, ou pelo menos deveriam voltar a funcionar normalmente [4].

A interrupção momentânea ou mesmo a sustentada, são muito comuns de ocorrerem devido às condições do sistema elétrico de fornecimento. No entanto, o perigo maior para a integridade de muitos equipamentos eletrônicos não está no modo

como os cortes da energia ocorrem, mas sim na maneira como a energia é restabelecida [4].

Se a energia for restabelecida logo em seguida (e isso ocorre com as interrupções muito rápidas devido a distúrbios de fornecimento), quando o usuário ainda não teve tempo de desligar a chave do painel do equipamento, ou se ele simplesmente não se preocupou com isso, uma ameaça de danos maiores aos equipamentos ligados à rede não deve ser desconsiderada. De fato, o restabelecimento da energia em um sistema elétrico não se faz de modo correto e seguro [4].

A volta da energia de modo abrupto pode causar a queima de diversos equipamentos sensíveis, principalmente os eletrônicos que utilizam circuitos integrados como o CMOS e FETs, tais como dvds, receptores de satélites, telefones sem fio, computadores, televisores e muitos outros [4].

No instante em que a energia é restabelecida, existem muitas cargas indutivas e capacitivas ligadas à mesma rede elétrica, além de diversos dispositivos, que, inicialmente, absorvem uma quantidade de energia muito maior do que o normal. Isso se deve, principalmente, ao fato de que muitas máquinas necessitam de uma tensão maior do que a fornecida para entrarem em funcionamento. Um exemplo destes tipos de equipamentos são os motores elétricos encontrados em geladeiras, freezers, aparelhos de ar-condicionado e entre vários outros. Além disso, estes motores consistem em cargas indutivas comutadas por escova. O resultado desses fatores é a geração de sobretensões no sistema residencial, já que o gerador tem de realizar um esforço muito grande para suprir a tensão em todos os pontos da rede o mais rápido possível [4].

Isto significa que, no instante em que a energia é restabelecida, não é de se esperar que as tensões em todos os pontos do sistema sejam absolutamente estáveis, tendo o valor esperado para alimentar suficientemente os aparelhos eletrônicos. A tensão, diante de tantas variações de comportamento das cargas ligadas, pode oscilar, apresentando, então, transientes, sobretensões e subtensões perigosos para a integridade de todos os aparelhos ligados a ela, conforme mostra a Figura 2.7 [4].



Figura 2.7 - Comportamento da tensão após uma interrupção.

Logicamente, os mais sensíveis a estas sobretensões são os que mais sofrem e neste grupo incluímos os computadores e alguns periféricos, além de eletroeletrônicos como DVDs, televisores, etc. Mesmo com estabilizadores acoplados, estes não respondem as variações maiores do que 15% da tensão nominal da rede e também podem ser afetados não conseguindo filtrar o sinal [4].

As oscilações da forma de onda, por outro lado, podem não ser suficientemente grandes para disparar a atuação de dispositivos de proteção como os varistores e, com isso, ocorra a proteção de modo eficiente. Trata-se, portanto, de um breve intervalo de tempo em que a integridade de muitos equipamentos sensíveis está ameaçada. Para a construção do protótipo, foi estipulado um intervalo de 1.5 min para restabelecer o sinal de energia à saída do protótipo, ou seja, depois de um minuto e meio após o restabelecimento da energia, o aparelho é religado [4].

Para realizar a proteção, o protótipo foi construído em cima desta tese de que a sobretensão também está presente também no momento do restabelecimento de energia elétrica. Portanto, no tempo em que ocorrer a interrupção de energia, o aparelho eletrônico é desligado da rede por meio do protótipo e isto é feito de modo automático. Logo depois do restabelecimento de energia, o protótipo deverá esperar o tempo de 1.5 min para que todos os outros aparelhos eletrodomésticos consigam religar. Após este intervalo de tempo, o protótipo restabelece a energia para a saída, ou para o eletroeletrônico ligado à saída.

## 2.5 DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO

Os desequilíbrios de tensão são caracterizados como o desvio máximo da média das correntes ou tensões trifásicas, dividido pela média das correntes ou tensões trifásicas, expressado em porcentagem. As origens destes desequilíbrios estão geralmente nos sistemas de distribuição, os quais possuem cargas monofásicas distribuídas inadequadamente, fazendo surgir no circuito tensões de seqüência negativa. Este problema se agrava quando os usuários alimentados de forma trifásica possuem uma má distribuição de carga em seus sistemas elétricos internos, impondo correntes desequilibradas no sistema de fornecimento da concessionária [1].

Os fatores ditos acima podem prejudicar a qualidade no fornecimento de energia elétrica aos usuários. Assim, os sistemas elétricos de alguns destes usuários podem apresentar o desequilíbrio nas seguintes formas [3]:

- Amplitudes diferentes;
- Assimetria entre as fases;
- Assimetria conjunta de amplitudes e fases.

É sabido que dentre as três formas, as amplitudes diferentes ocorre com mais freqüência [3].

### **3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO**

---

Este capítulo apresenta os principais componentes utilizados no protótipo e como este foi implementado. Além disso, também estão presentes os testes, os resultados e as análises obtidas durante o desenvolvimento do projeto. O capítulo está organizado da seguinte forma: o item 3.1 aborda o desenvolvimento do protótipo, suas características, componentes e funcionamento; o item 3.2 aborda o desenvolvimento dos programas utilizados no microcontrolador para executar as funções que serão

descritas no item 3.1 e, por último, o item 3.3 aborda os resultados e as suas análises quanto ao funcionamento do protótipo.

### **3.1 HARDWARE**

A Figura 1.1 representa como o protótipo está dividido, ou seja, representa uma visão geral do protótipo mostrando seus principais dispositivos, ou componentes: mini-relé, o dispositivo de controle (microcontrolador) e o dispositivo de apresentação (tela de LCD). Na Figura 1.1, também observa-se a presença dos circuitos de entrada e saída. No caso, a entrada é representada por uma fonte de 220V, que pode ser uma tomada elétrica de uma residência, e a saída, por uma lâmpada fluorescente.

Neste projeto, a organização do protótipo é dividida em três módulos: o módulo com o mini-relé (Módulo de Proteção), o módulo com o kit didático do microcontrolador 8051 (Módulo de Controle) e o módulo com o conjunto de LEDs e o display de LCD (Módulo de Apresentação).

#### **3.1.1 MINI-RELÉ**

Os relés são dispositivos comutadores eletromecânicos. O termo mini-relé é aplicado aos relés de montagem para circuitos, já que os relés, propriamente ditos, são utilizados em instalações elétricas e não possuem compatibilidade de tamanho com os mini-relés. No presente trabalho, os dois termos são utilizados com o mesmo significado, não possuindo assim as diferenças nas dimensões dos elementos. Os dois termos fazem referência ao tipo de relé utilizado para montagem de circuitos eletrônicos.

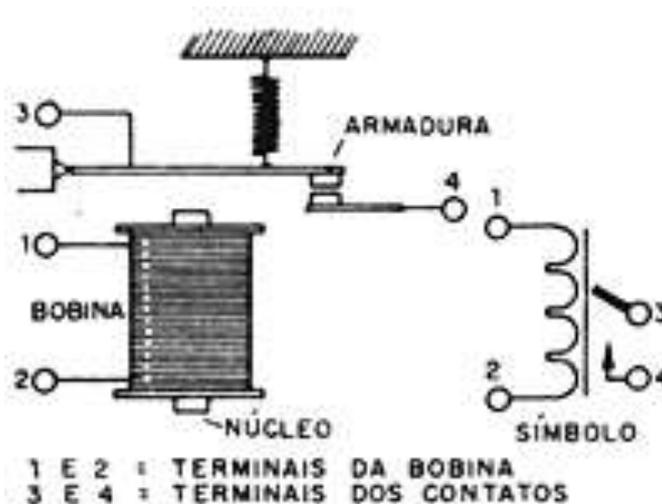


Figura 3.1 - Estrutura de um Relé

Na Figura 3.1, pode-se observar a estrutura simplificada de um relé. Nas proximidades do eletroímã (bobina) é instalada uma armadura móvel que tem por finalidade abrir ou fechar os contatos. Essa armadura móvel age como se fosse uma chave, abrindo ou fechando contatos. Quando uma corrente elétrica percorre pela bobina, é criado um campo magnético que atua sobre a armadura, atraindo-a e, conseqüentemente, abrindo o contato. Nesta atração feita pela bobina, ocorre um movimento que ativa os contatos, os quais podem ser abertos, fechados ou comutados, dependendo de sua posição [7].

Portanto, através de uma tensão de controle aplicada à bobina do relé, podemos abrir, fechar e até comutar os contatos ligados a um determinado circuito externo, controlando assim a corrente desse circuito externo. Quando a tensão deixa de circular pela bobina do relé, o campo magnético criado pelo eletroímã desaparece, fazendo com que a armadura volte a sua posição inicial. Este movimento é devido à ação das molas ligadas aos contatos [7].

A escolha da utilização do relé no protótipo foi essencial para a construção de um protetor de sobretensão. Isso se deve ao fato do relé impedir que a corrente de um circuito primário chegue a um circuito secundário, que está ligado à saída. A Figura 3.2 representa a estrutura simplificada de utilização do relé no protótipo. Na entrada, é encontrada uma alimentação do tipo CA (Corrente Alternada) de 220V. A chave do circuito primário (S1) é responsável por fechar o circuito, permitindo a passagem de tensão elétrica para o mini-relé. O quadrado pontilhado indica os limites dos componentes do relé, que é composto basicamente pela bobina e pelos contatos. Mais à direita do esquema, temos a saída que está colocada em um circuito secundário.

Esta saída poderia ser por exemplo uma lâmpada fluorescente de 220 V e 9W, como a utilizada no protótipo.

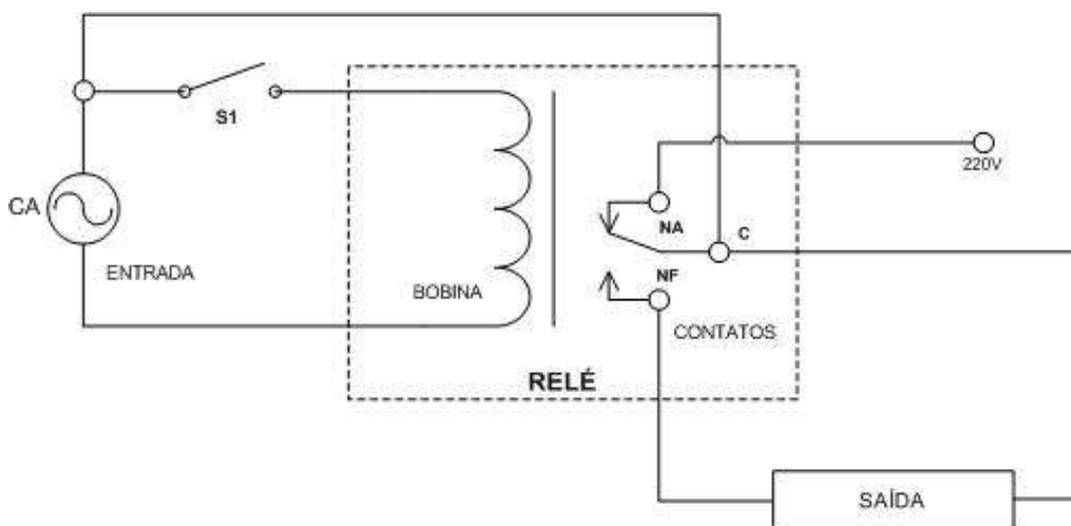


Figura 3.2 - Estrutura simplificada da utilização do relé no protótipo

No caso, o protótipo da Figura 3.2 vai agir utilizando os princípios relacionados à habilidade da bobina que quando submetida a uma determinada tensão, poderá abrir ou fechar os contatos, funcionando como um dispositivo de controle de fonte do circuito secundário.

No protótipo deste trabalho, o controle do relé tem a finalidade de impedir ou não a passagem de energia elétrica para os dispositivos que estarão ligados na saída do protótipo. Este controle é feito por um microcontrolador 8051, que será o responsável por enviar um sinal para o relé, e de acordo com este sinal o relé irá atuar abrindo, ou fechando os contatos. O microcontrolador é alocado no lugar da chave S1, que está representado na Figura 3.2.

O relé utilizado no protótipo é do tipo NA e NF ou também chamado de Reversível, assim como o relé representado na Figura 3.2. Neste tipo de relé acontece que quando a bobina é percorrida por uma tensão elétrica, o contato **C** (comum) fecha o circuito encostando no contato **NA**. Quando abrimos o circuito pela chave S1, a tensão deixa de percorrer a bobina, o relé desarma e o contato **C** passa a encostar no contato **NF**, fechando o outro circuito. No protótipo construído, não existe nenhuma saída específica ligada a este circuito secundário. Logo, inicialmente, a chave S1 estará fechada e o contato estará fechando o circuito referente à saída. Depois de um sinal do microcontrolador, o contato abrirá a chave S1 e não permitirá a passagem de energia à saída.

### 3.1.2 ACOPLADORES ÓPTICOS

Os acopladores ópticos ou também denominados de optoacopladores, são componentes eletrônicos utilizados em estruturas onde se quer um isolamento total de sinal elétrico entre a entrada e a saída de um circuito. Por exemplo, existem aplicações onde o terminal terra da entrada deve ser diferente do terminal terra da saída, por isso da utilização dos optoacopladores. Os componentes da optoeletrônica combinam elementos de tecnologia óptica e eletrônica, assim como os acopladores ópticos. Desta maneira, os optoacopladores são constituídos basicamente por um diodo emissor de luz (LED) e um fototransistor [9].

A Figura 3.3 ilustra um optoacoplador e os seus principais componentes: um diodo emissor de luz e o fototransistor.

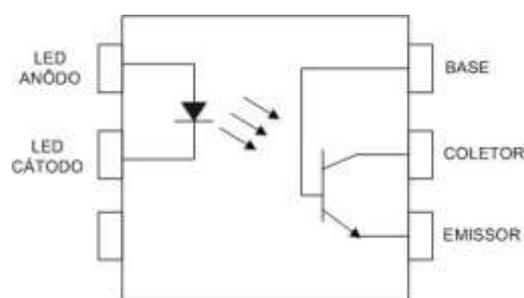


Figura 3.3 - Optoacoplador e seus componentes

Quando um sinal de energia elétrica percorre o LED do optoacoplador, este irá ligar e emitir luz. A emissão de luz pelo LED sensibiliza a base do fototransistor e assim a resistência entre o coletor e o emissor diminui fazendo com que a voltagem na saída reduza a um nível baixo. Tecnicamente, a voltagem na saída do fototransistor não chega a ser zerada, mas fica muito próxima de zero (0 V). No momento em que o LED é desligado, ele deixa de emitir luz. Assim, a base do transistor não é mais sensibilizada pela luz emitida do LED, e isso causa uma diminuição da resistência elétrica entre o coletor e o emissor e, conseqüentemente, a voltagem na saída aumenta. O valor da voltagem na saída depende de quanto é a voltagem da fonte ligada aos pinos coletores e emissores do optoacoplador [9].

O acoplador óptico é utilizado no protótipo para proteger o microcontrolador da corrente vinda da entrada. Em outras palavras, o optoacoplador é utilizado para fazer o isolamento elétrico entre o circuito da entrada e o circuito do microcontrolador 8051.

Isto é devido a uma das propriedades dos optoacopladores de isolar dois circuitos, porém utilizando entre os dois, um dispositivo que indique se há ou não a presença de corrente elétrica.

A Figura 3.5 ilustra melhor como é feito o isolamento dos sinais elétricos entre o circuito de entrada e o circuito do módulo de controle.

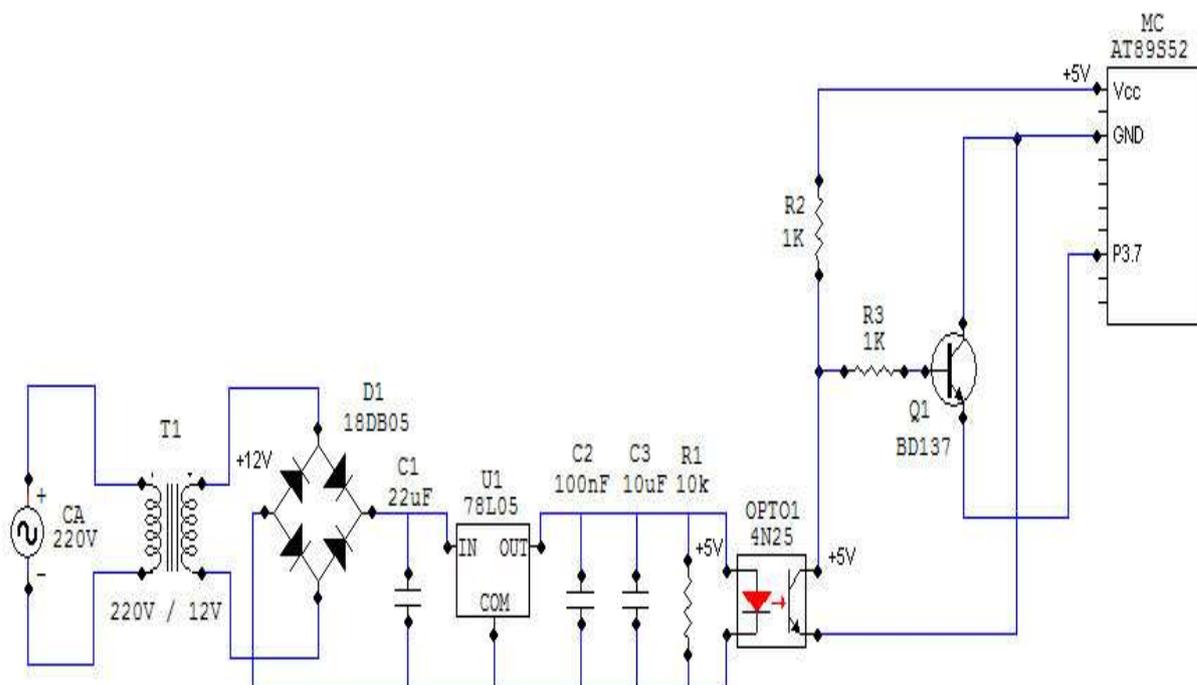


Figura 3.4 - Circuito de Entrada

Outro optoacoplador também é utilizado para isolar o circuito da saída e o circuito do microcontrolador. A Figura 3.6 ilustra como fica o esquema do isolamento entre os circuitos de saída e do módulo de controle. No circuito do microcontrolador, a alimentação é feita pelo pino Vcc do kit didático. Este pino é responsável por enviar +5V para os elementos que utilizarão esta tensão. Por exemplo, o pino do optoacoplador (OPTO2), que está ligado ao seu LED interno (ânodo), recebe esse sinal de +5V justamente para realizar a função de ligar o LED e saturar a base do fototransistor.

Para a implementação dessa proteção, foram utilizados os optoacopladores do modelo 4N25, que apresenta o mesmo esquemático da Figura 3.4.

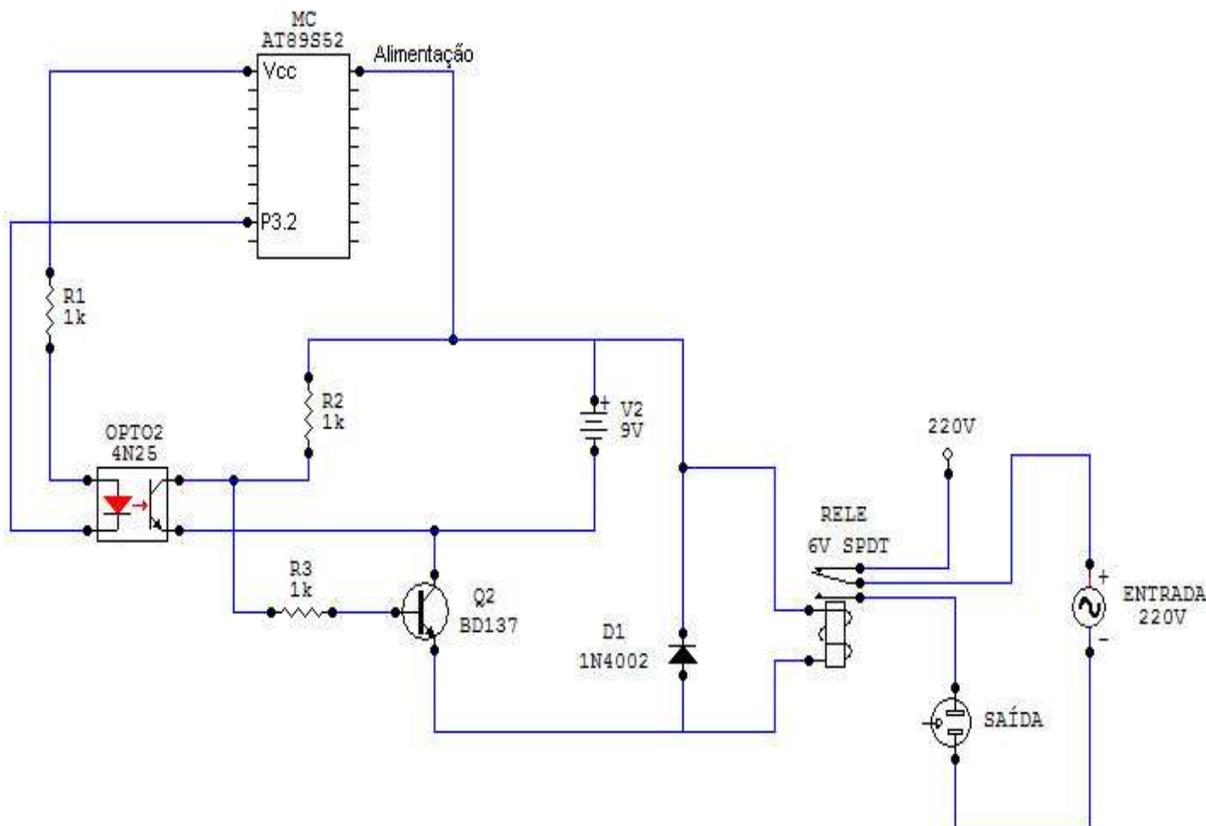


Figura 3.5 - Circuito de Saída

Portanto, os dois optoacopladores, OPTO1 e OPTO2, são alimentados pelo pino Vcc do Kit Didático 8051LS. Este e mais o pino GND (terra) são encontrados juntamente com os outros pinos da porta P3 do kit.

Para o pleno funcionamento dos dois optoacopladores, esta tensão de 5V fornecida pelo Vcc é contínua e ininterrupta. Logo, o responsável por gerar os níveis lógicos 0 e 1 para o microcontrolador, são as próprias portas P3 do microcontrolador. Esta parte é mais detalhada no tópico 3.1.1 referente ao microcontrolador.

Como todo LED pode queimar ou esquentar demais por causa de altas correntes captadas, é necessário colocar uma resistência equivalente para a proteção contra uma alta corrente. No circuito de entrada da Figura 3.5, foi colocada uma resistência (R1) de 10KΩ para diminuir o valor da corrente que chega até o LED do OPTO1.

No circuito do microcontrolador da Figura 3.6, foi colocada uma resistência (R1) de 1KΩ também com o intuito de diminuir o valor da corrente vinda do kit didático. As diferenças entre os valores das resistências se devem ao fato de que a corrente proveniente do circuito de entrada não é totalmente controlada.

Ou seja, a corrente da entrada pode vir em valores tão altos que uma baixa resistência não seria capaz de diminuir o valor da corrente à níveis aceitos pelo LED do optoacoplador. O *datasheet* do fabricante dos optoacopladores 4N25 utilizados neste protótipo, indica que o valor máximo aceito de corrente é de 80 mA, enquanto que a tensão é de 6V no máximo.

O isolamento elétrico feito pelos optoacopladores foi utilizado justamente para seguir um dos princípios da proteção elétrica de circuitos. Embora estejam conectados, caso surgisse alguma sobretensão elevada ou um transitório provenientes de relâmpagos, o circuito do microcontrolador e o circuito de saída estariam protegidos devido às propriedades de isolamento tanto dos optoacopladores, quanto do mini-relé.

### 3.1.3 MICROCONTROLADOR 8051

O microcontrolador é um dispositivo semicondutor em forma de circuito integrado (CI), que integra todas as partes básicas de um microcomputador: microprocessador, memórias, portas de entrada e portas de saída. Pode-se dizer que um microcontrolador é um microcomputador implementado em um único circuito integrado. Normalmente, é limitado em termos de quantidade de memória disponível e é utilizado em aplicações específicas, isto é, naquelas que não necessitam armazenar grandes quantidades de dados. São muito encontrados em aplicações de automação residencial, em automação predial, em automação industrial e na automação embarcada [10].

Os microcontroladores, basicamente, realizam as mesmas operações efetuadas por um microprocessador. Aqueles, não passam de uma máquina eletrônica capaz de buscar e executar instruções de programas alocados em memória. Por isso, podemos dizer que os microcontroladores possuem a capacidade de realizar as mesmas operações de um microcomputador, porém em menor escala, por causa do espaço de endereçamento de memória e velocidade de CPU. Contudo os microcontroladores não possuem a mesma organização de um microprocessador. A Figura 3.7 ilustra bem a organização do microcontrolador da família 8051. Na figura pode-se observar que os microcontroladores possuem todos os componentes de um microcomputador em um só bloco, em um só circuito integrado [10].

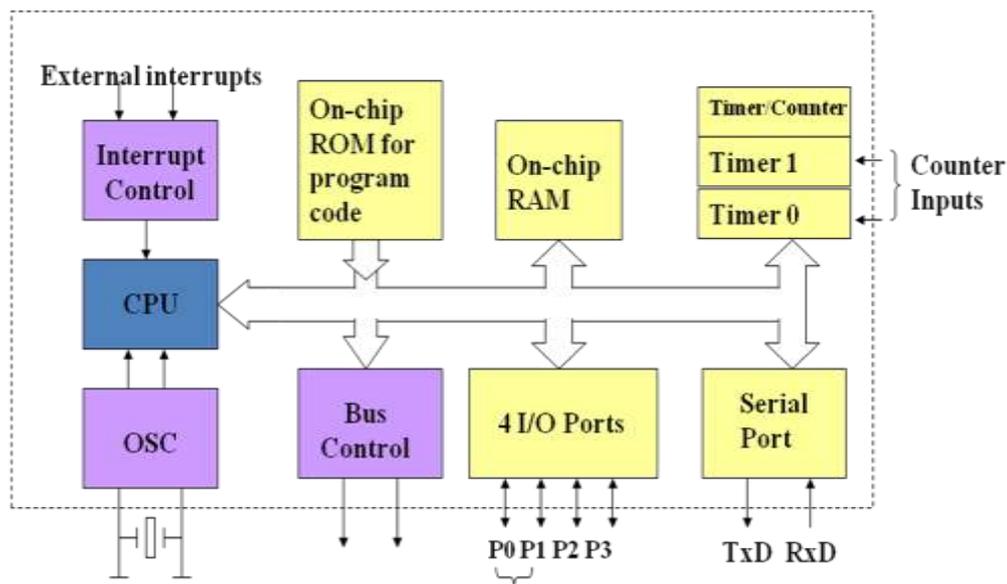


Figura 3.6 - Arquitetura básica do microcontrolador da família 8051

Neste trabalho, utiliza-se o microcontrolador AT89S52 da ATMEL, que faz parte da família dos microcontroladores 8051 da Intel. Porém, o desenvolvimento de um projeto, por mais simplificado que seja, possui diversas complexidades como gravação do programa no microcontrolador, comunicação com uma porta serial, sinal *reset* do microcontrolador, entre vários outros fatores. A utilização somente do AT89S52 fica inviável para a implementação do protótipo, principalmente, se este for construído para realizar todos os objetivos definidos neste projeto.

Para realizar as funções de controle e gerenciamento do módulo de proteção e do módulo de apresentação, foi utilizado o Kit Didático 8051LS da Microgenios. Este kit é acompanhado do microcontrolador da ATMEL AT89S52 e mais outros diversos componentes. Suas principais características são as seguintes:

- 8 Kbytes de memória *Flash*;
- 3 temporizadores/contadores;
- 1 canal de comunicação serial;
- 256 bytes de memória RAM;
- Modo de programação serial ISP (*In-System Programmable*).

Também faz parte do kit um módulo LCD 16X2 com *Backlight* (LCD padrão 44780A), uma fonte de alimentação de entrada *bivolt* (110V ou 220V) e saída de 9V e 330 mA e um cabo de gravação kit-PC, para realizar as gravações dos programas no microcontrolador.

Na Figura 3.8 pode-se observar uma fotografia tirada do kit didático que é utilizado pelo protótipo.

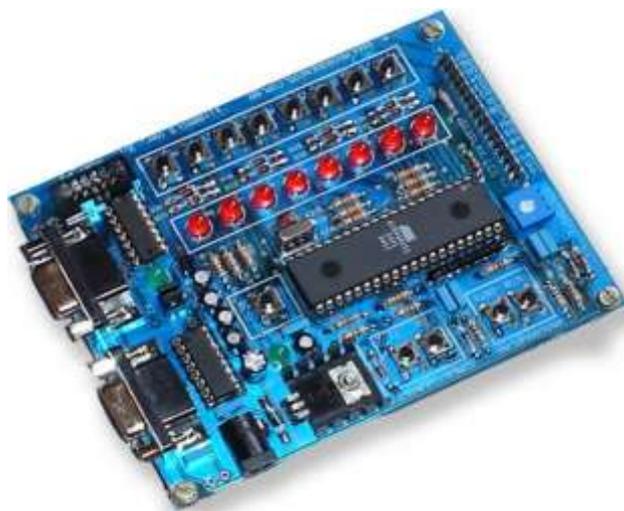


Figura 3.7 - Kit Didático 8051LS da Microgenius

A fonte de alimentação do kit foi substituída por uma bateria de 9V. Esta bateria não é a fonte mais indicada para alimentação do protótipo, mas para realizar todas as funcionalidades, ela substitui com eficiência a fonte de alimentação vinda de uma rede elétrica 220V.

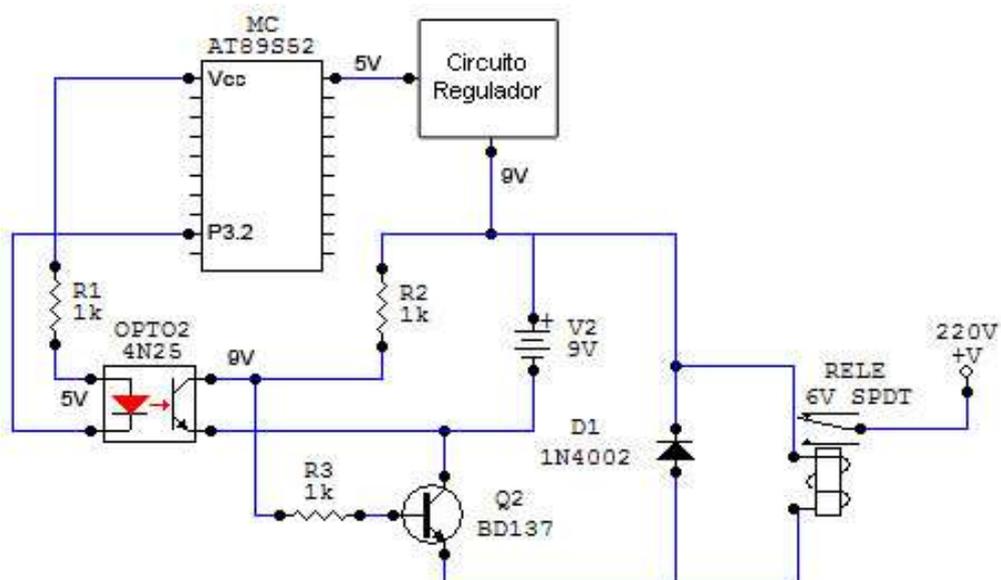


Figura 3.8 - Alimentação do Microcontrolador e Relé

A bateria além de fornecer energia ao kit microcontrolador, fornece energia também à bobina do relé. Na Figura 3.9, pode-se observar que o pino positivo da

bateria está ligado ao pino coletor do optoacoplador. Este por sua vez, está ligado ao pino base de um transistor (Q2) modelo BD137, que é utilizado para fazer a ação de saturação ou corte do sinal, ou seja, serve para comutação, conduzindo ou não tensão. Finalmente, o pino emissor do transistor (Q2) está ligado a uma das pontas da bobina do relé, enquanto que a outra ponta está ligada diretamente ao pólo positivo da bateria. Desta maneira, de acordo com um sinal do microcontrolador, a bobina do relé poderá ser energizada ou não e isto influenciará na comutação dos contatos, abrindo ou fechando o contato com o circuito de saída.

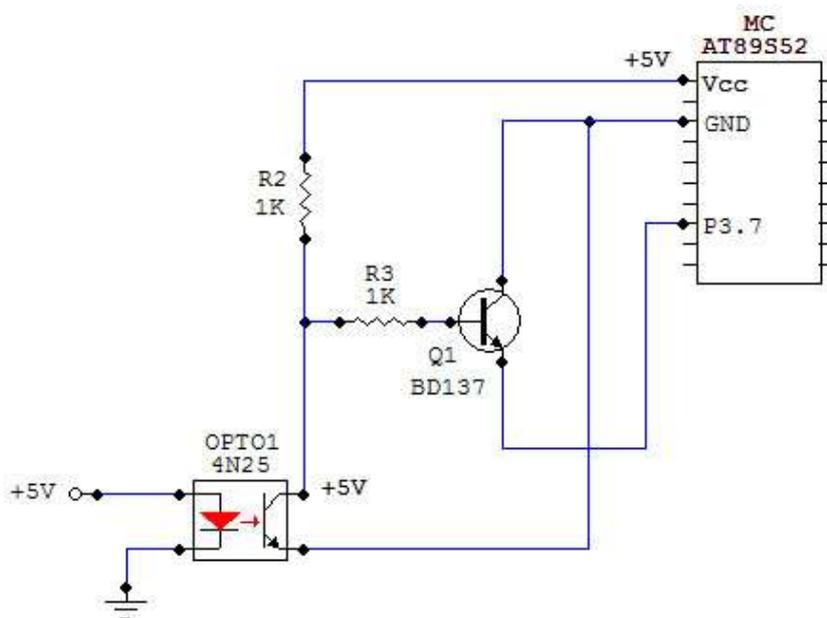


Figura 3.9 - Alimentação do Fototransistor

Esta mesma aplicação é utilizada no circuito de entrada do sinal para o circuito do microcontrolador, como indicado na Figura 3.10. Porém neste outro optoacoplador (OPTO1), a tensão de 5V do pino Vcc está ligada ao pino coletor do fototransistor. Enquanto que o pino terra (GND) do kit didático está ligado ao pino emissor do mesmo fototransistor. Para fazer a comutação entre o nível lógico 0 (0V) e nível lógico 1 (5V), foi utilizado um transistor (Q1) do mesmo modelo, o BD137.

Assim, quando o LED do optoacoplador (OPTO1) desligar, o fototransistor vai entrar em uma região de saturação e vai conduzir tensão até o transistor (Q1) que desta vez opera na região de corte. Nesta região de operação, o transistor atua mandando um sinal de nível lógico 0 (0V) para a porta P3.1 do microcontrolador.

Caso fosse o contrário, se o LED estivesse ligado, o fototransistor não seria saturado, os 5V vindos do kit seriam conduzidos ao transistor (Q1), e este operaria na

região de saturação enviando um sinal de nível lógico 1 (5V) à porta P3.1 do microcontrolador.

Logo, pode-se constatar que quando há sinal de tensão elétrica vindo da entrada (220V) e chegando ao OPTO1 (5V), é enviado ao microcontrolador um sinal de nível lógico 1 (5V). Quando não chega tensão ao OPTO1 (0V), o microcontrolador recebe um sinal de nível lógico 0 (0V).

Essa troca de níveis lógicos é necessária para se descobrir se há ou não tensão vindo do circuito de entrada, que estará ligada à rede elétrica. A partir dessa leitura é que o microcontrolador poderá atuar nas suas funcionalidades principais de enviar um sinal para o relé operar, contar o tempo de interrupção de energia elétrica e quantas vezes este fenômeno ocorreu.

No parte do display LCD, o kit didático possui um *trimpot*, que tem a função de ajustar o nível de contraste do display do LCD. Para melhor ilustrar como está feita a ligação do display ao kit didático e ao microcontrolador, a Figura 3.14 apresenta a disposição e a ligação do display com os pinos do microcontrolador, inclusive a ligação das porta P3.7 e P3.6. Estes dois pinos são responsáveis pela leitura de bytes do microcontrolador para o display LCD.

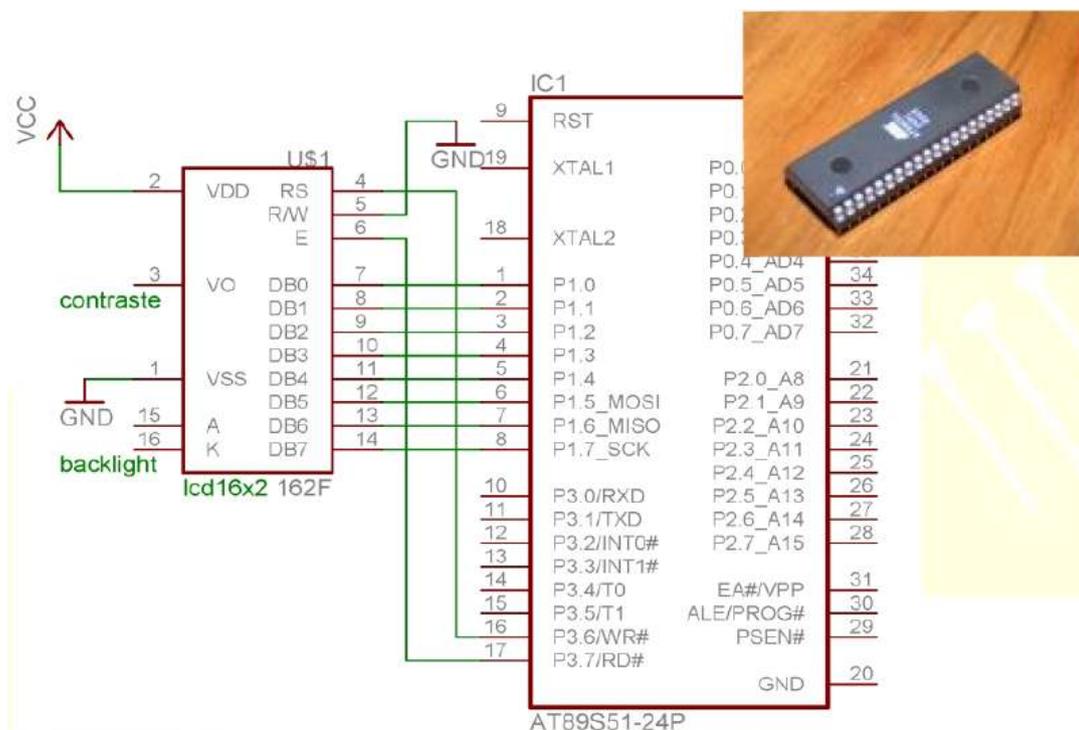


Figura 3.10 - Esquema de ligação do display LCD ao microcontrolador

## 3.2 SOFTWARE

Neste tópico é apresentada a implementação dos programas referentes ao funcionamento do protótipo. Todos os programas foram construídos para serem utilizados pelo microcontrolador AT89S52, ou seja, todos estes programas utilizaram a estrutura da família 8051 como base.

A abordagem do software é organizada em subtópicos: rotinas do circuito de entrada, rotinas do circuito de saída e rotinas de apresentação. As rotinas do circuito de entrada (3.2.1) se referem àquelas ações condizentes com o circuito de entrada do microcontrolador, são rotinas de verificação de energia e contagem do tempo de queda. As rotinas do circuito de saída (3.2.2) são responsáveis por enviar os sinais elétricos ao relé informando o status que ele deverá estar: ligado ou desligado.

Enquanto que as rotinas de apresentação (3.2.3) têm relação com os programas de apresentação de informações na tela de LCD e também, relação com os sinais enviados aos LEDs.

### **3.2.1 ROTINAS DO CIRCUITO DE ENTRADA**

As rotinas de programação do circuito de entrada são implementadas em instruções básicas da linguagem C. A Figura 3.11 apresenta o fluxograma que o microcontrolador deve seguir para fazer a checagem da passagem de energia elétrica para a saída. Esta checagem consiste em verificar se existe ou não tensão chegando ao optoacoplador. Se existir tensão (5V) no LED do acoplador óptico, o nível lógico na porta P3.7 do microcontrolador será zero. Se o contrário, não tiver tensão chegando ao LED do optoacoplador, o nível lógico na porta do microcontrolador será um.

Depois dessa verificação, o microcontrolador deverá gravar informações nos contadores de quantidade de quedas e na quantidade de tempo que houve interrupção de energia. Estes processos são demonstrados na Figura 3.11 como INCREMENTAR CONTADOR e COMEÇAR CONTAGEM DE TEMPO. Estes dois processos são produzidos exclusivamente pelo microcontrolador. Além disso, os valores guardados por estes processos serão apresentados no módulo de apresentação, mais especificamente na tela de LCD.

A partir deste momento, o microcontrolador entra em um loop para verificar se a energia elétrica foi restabelecida. O princípio para esta verificação é o mesmo utilizado no primeiro processo de CHECAGEM DE ENERGIA.

Caso a energia seja estabelecida, o microcontrolador deverá interromper a contagem do tempo e guarda o valor em uma variável.

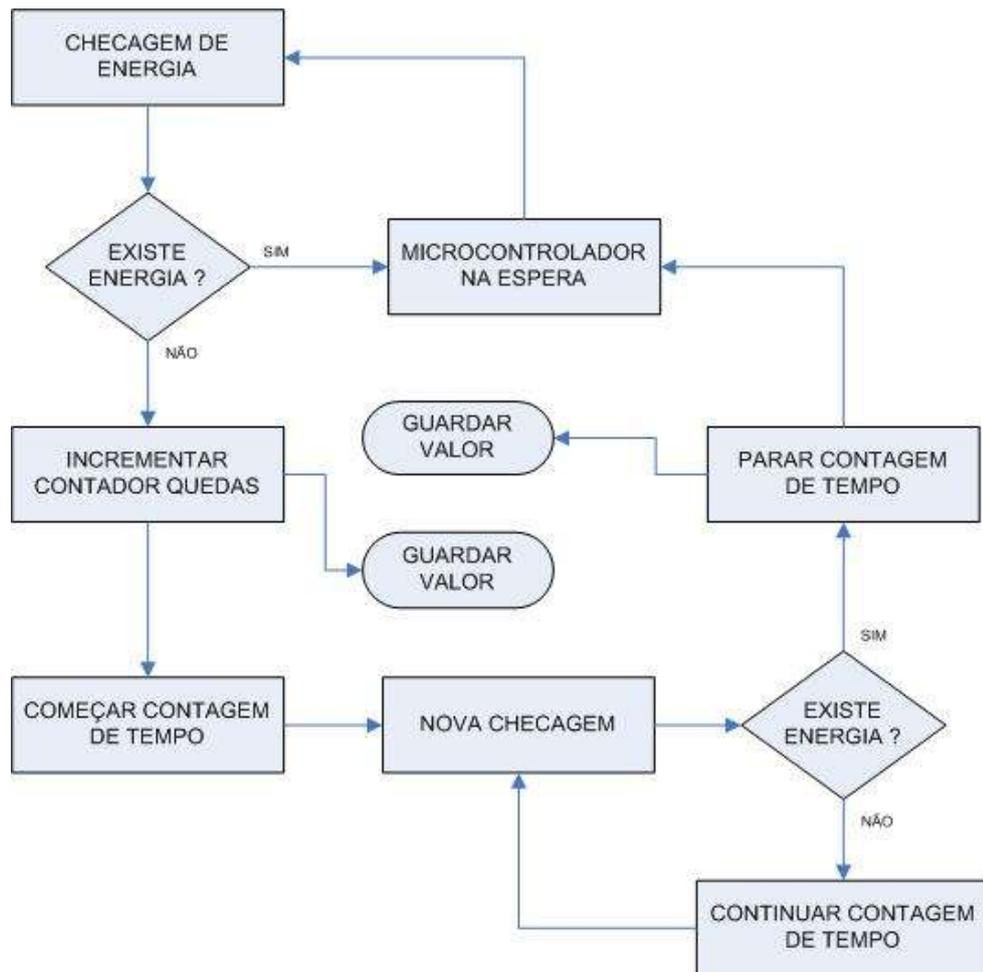


Figura 3.11 - Fluxograma da verificação do circuito de entrada

Se a energia ainda não foi estabelecida, o processo de contagem e o loop de nova verificação continuam funcionando até que a energia seja estabelecida, e o processo mude o status do nível lógico do microcontrolador.

Para representar o programa do fluxograma acima citado, a Figura 3.12 mostra as rotinas em C do programa que efetua a verificação do sinal de entrada e apresenta as mudanças de estado através de LEDs e envio de sinal elétrico ao pino P3.0 do microcontrolador.

```

#define led0 P2_0    // Definição do LED nº0 do Kit Didático para a porta P2.0
#define led2 P2_2    // Definição do LED nº2 do Kit Didático para a porta P2.2

#define porta0 P3_0  // Definição do PINO nº0 do Kit Didático para a porta P3.0
#define porta1 P3_1  // Definição do PINO nº1 do Kit Didático para a porta P3.1

void main(void)     // Método principal
{
    while(1){       // Loop infinito

        led0 = 0;   // Liga o LED nº0
        led2 = 1;   // Desliga o LED nº2
        porta0 = 1; // Envia sinal de nível lógico 1 ao pino P3.0

        if(porta1 == 0) // Verifica se está chegando sinal ao pino P3.1, se chegar
        {               // sinal de nível lógico 0 ao pino, entra no laço condicional

            led0 = 1;   // Desliga LED nº0
            led2 = 0;   // Liga LED nº2
            porta0 = 0; // Envia sinal de nível lógico 0 ao pino P3.0

            if(porta1 == 1) // Verifica se está chegando sinal ao pino P3.1, se chegar
            {               // sinal de nível lógico 1 ao pino, entra no laço condicional

                led0 = 0; // Liga LED nº0
                led2 = 1; // Desliga LED nº2
                porta0 = 1; // Envia sinal de nível lógico 1 ao pino P3.0

            }
        }
    }
}

```

Figura 3.12 - Trecho do código-fonte para verificação do sinal de entrada

Pode-se observar pela Figura 3.12 que no método principal (*main*), existe uma instrução de *loop* infinito (*while(1)*). Este *loop* foi colocado justamente para deixar o microcontrolador verificando indefinidamente a mudança de status da rede elétrica. Assim, qualquer mudança de nível lógico captada na porta P3.1, que está ligada ao circuito de entrada do protótipo, será identificada pelo microcontrolador. Dependendo do nível lógico captado, nível 0 ou nível 1, o microcontrolador trata a saída de acordo com o sinal captado.

### 3.2.2 ROTINAS DO CIRCUITO DE SAÍDA

Para as rotinas do circuito de saída, também foi utilizado a linguagem C e baseada nas instruções na família de microcontroladores 8051.

Estas rotinas possuem relação com a responsabilidade do microcontrolador em comandar a atuação do relé, e estes comandos são baseados em decisões tomadas pelo microcontrolador de acordo com o sinal captado na porta de entrada. A Figura 3.13 apresenta um fluxograma do processo que o circuito de saída deve seguir.

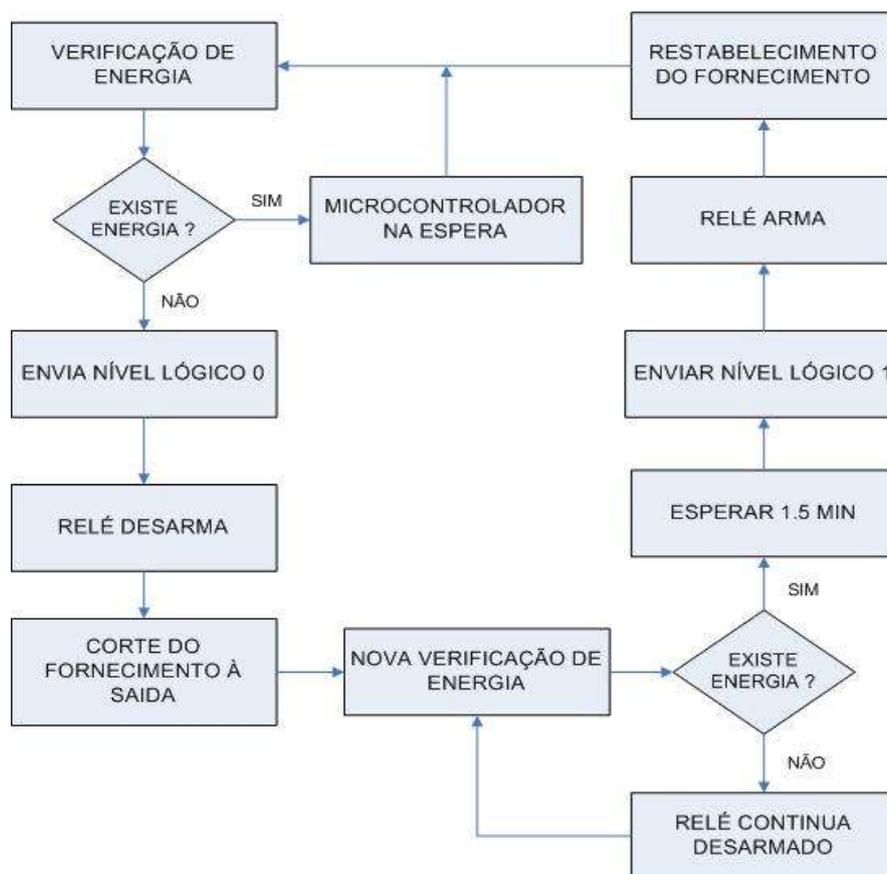


Figura 3.13 - Fluxograma de ações do circuito de saída

Assim como no circuito de entrada, as rotinas do circuito de saída têm relação com a interrupção de energia elétrica. Na Figura 3.13 as rotinas de checagem da passagem de energia estão presentes nos processos de VERIFICAÇÃO DE ENERGIA e NOVA VERIFICAÇÃO DE ENERGIA. Estes dois processos irão atuar lendo o sinal de nível lógico no circuito de entrada.

Essas checagens são importantes pois elas definem o status do microcontrolador. Se existir tensão chegando no circuito de entrada, o microcontrolador, inicialmente, deverá continuar fazendo novas leituras. Caso haja uma interrupção de energia, o microcontrolador envia um sinal de nível lógico 1 para o relé. Quando o relé captar este sinal, ele irá desarmar, abrindo o contato com a saída e assim, não permitir a passagem de qualquer sinal de energia elétrica à saída. Este mecanismo está representado pelo processo de CORTE DO FORNECIMENTO À SAÍDA.

Logo depois o microcontrolador deverá fazer uma nova verificação do sinal elétrico que chega ao circuito de entrada. Se ainda estiver no intervalo de interrupção de energia, o microcontrolador deverá ficar em um loop para verificar se já há sinal de energia elétrica percorrendo pelo circuito.

Quando a interrupção de energia elétrica acabar e o sinal de tensão chegar até o circuito de entrada, o microcontrolador entra em um loop de espera. Este loop é o responsável por proteger o equipamento dos distúrbios da sobretensão após uma interrupção. Este *loop* de espera dura em torno de um minuto e meio (1.5 min). Logo, enquanto que os outros equipamentos de uma residência estiverem religando, a saída do protótipo estará protegida das oscilações do sinal da tensão elétrica.

Após o tempo de espera do microcontrolador, este deverá enviar um sinal de nível lógico 0 ao relé. Recebendo este sinal, o relé irá armar, ou fechar novamente o contato com a saída, e assim, restabelecendo a energia elétrica para o aparelho eletrônico. Mais uma vez, o intuito do projeto é com relação à proteção de equipamentos eletroeletrônicos, mas para os testes realizados, foi utilizada uma lâmpada fluorescente para indicar a passagem ou não de energia à saída do protótipo.

No trecho do código-fonte da Figura 3.12, as rotinas do circuito de saída e entrada estão entrelaçadas, não podendo separar a parte do programa que cuida especificamente do circuito de entrada e do circuito de saída.

### 3.2.3 ROTINAS DE APRESENTAÇÃO

As rotinas de apresentação são responsáveis por mostrar dados ao usuário que estiver utilizando o protótipo. Estes dados são relacionados ao número de interrupções ocorridas e o intervalo de tempo passado desde o início da interrupção até o seu final. Todas essas rotinas são construídas na linguagem de programação C e baseadas na biblioteca de instruções *at89S8252.h*, que traz outras rotinas e instruções pré-formatadas para serem utilizadas nos programas escritos em C.

A Figura 3.11 apresenta o fluxograma dos processos seguidos pelo programa implementado para apresentação de dados na tela LCD. Neste programa, o microcontrolador deverá incrementar uma variável que guarda o valor do contador do número de interrupções ocorridas. Além disso, o microcontrolador também tem o dever de iniciar um *timer* para registrar o tempo da interrupção de energia elétrica.

A tela utilizada no protótipo tem como características: baseada no controlador HD 44780A da Hitachi (display alfanumérico), tela LCD 16 colunas por 2 linhas e segmento com matriz 5 por 8.

A Figura 3.14 apresenta um trecho do código-fonte do programa. O método representado na figura tem a função de enviar um byte para o display LCD. Dependendo do parâmetro passado, o método irá dizer ao display se aquele byte enviado é um comando ou se é um dado para ser apresentado.

Neste método também é feito uma leitura do byte colocado na porta P1 através da descida de borda em CS que na verdade representa o pino P3.7 do microcontrolador que por sua vez está atrelado à função de leitura do display do LCD.

```
#define CS P3_7 //Ligado ao pino CS do display LCD para habilitação
#define CD P3_6 //Ligado ao pino CD do display LCD para seleção de comando ou dado

void send(unsigned char d, char s) //Rotina para enviar byte ao display
{
    //Argumentos: d-> Byte a ser enviado
    //s-> em 0 indica comando, e em 1 indica dado

    P1=d; //Coloca o byte(d) na P1

    if (s==0) // Configura o pino CD do display de acordo com 's'
        CD=0; // se for byte de comando, CD = 0
    else
        CD=1; // se for byte de dados, CD = 1

    CS=1; // Borda de descida em CS, para forçar leitura do
    CS=0; // byte e enviar ao display LCD

    delay(20); // Aguarda algum tempo, esperando o display processar

    if((s==0)&&(d<5)) // Caso o byte enviado seja um comando de "Limpar Display"
        // ou "Curso na posição inicial", deverá aguardar mais tempo
        // para processar pois estes comandos são mais demorados
        delay(100);
}
```

Figura 3.14 - Trecho do código-fonte com o método de enviar byte ao display

Outros dois métodos também muito importantes para o programa, são os métodos de impressão de *strings* e números no display LCD. Estes dois métodos são representados na Figura 3.15 e Figura 3.16.

```
void lcd_str(char *s) // Recebe um ponteiro de char como parâmetro
{
    do send(*s,1); // Enquanto existir caractere a ser lido,
    while (*++s); // enviar o caractere como DADO para o display LCD
}
```

Figura 3.15 - Método de impressão de string no display LCD

```

void lcd_bcd(unsigned char a)    // Recebe um char(0 até 255) como parâmetro
{
    a=a%100;
    send('0'+a/10,1);           // Imprime primeiro dígito
    send('0'+a%10,1);           // Imprime segundo dígito
}

```

Figura 3.16 - Método de impressão de números no display LCD

Outro método também muito importante utilizado no módulo de apresentação é a função *goto\_lcd()* que serve basicamente para posicionamento do cursor na tela de LCD. Ou seja, o método da Figura 3.17 aponta no display LCD a linha e a coluna onde será impresso o caractere enviado. Este método é constituído de envio de comandos para o display posicionar o cursor para o local exato, que é passado como parâmetro.

```

#define linha1 0x80    // seta os valores hexa 0x80 para linha1
#define linha2 0xc0    // seta o valor em hexa 0xc0 para linha2

void goto_lcd(unsigned char l, unsigned char c) // Recebe a linha e
{                                               // a coluna como parâmetros
    unsigned char a;

    if (l==1)                                // se o parâmetro 'l' for igual à '1', posicionar
        a = linha1;                          // na primeira linha do display

    if (l==2)                                // se o parâmetro 'l' for igual à '2', posicionar
        a = linha2;                          // na segunda linha do display

    send(a+c-1,0);                            // soma o valor da linha com o valor da coluna para
}                                               // enviar o COMANDO de posicionamento para o display

```

Figura 3.17 - Método de posicionamento do cursor no display LCD

```

#define TH_0 0xff & ((0xffff-((11059200/1000)/12)) >> 8)
#define TL_0 0xFF & (0xffff-((11059200/1000)/12)) // Base de 1 milisegundo

void clock(void) interrupt 1 using 1 // utiliza a interrupção 1 do TIMER 0
{
    TH0=TH_0; // valor de recarga do byte high para o TIMER 0
    TL0=TL_0; // valor de recarga do byte low para o TIMER 0

    if (milisegu--==0) // Decrementa valor de milisegu
    { // Quando milisegu = 0, entra no laço condicional
        milisegu=999; // Reseta o valor de milisegu para 999
        segundos++; // Incrementa valor de segundos
    }

    if (segundos == 60) // Quando valor de segundos for igual a 60,
    { // entra no laço condicional
        minutos++; // Incrementa valor de minutos
        segundos = 0; // Reseta valor de segundos para 0
    }

    if (minutos == 60) // Quando valor de minutos for igual a 60,
    { // entra no laço condicional
        horas++; // Incrementa valor de horas
        minutos = 0; // Reseta valor de minutos para 0
    }
}

```

Figura 3.18 - Método de cálculo do tempo para imprimir no display LCD

Para realizar a tarefa de impressão do relógio no display LCD foi utilizado o método `clock()`. Este método tem a característica que de acordo com o tempo da interrupção no TIMER 0, o microcontrolador interrompe o *timer*, atribui o valor inicial de seus buffers e reinicia a contagem. Cada contagem do timer equivale a um milisegundo, e a cada milisegundo é decrementado o valor da variável *milisegu*. Esta variável inicialmente foi definida com o valor de 999 e a cada intervalo de contagem no *timer* este valor é decrementado até 0. Quando chega a 0, a variável *segundos*, que inicialmente tinha o valor 0, é incrementada em um. O mesmo acontece com as variáveis *minutos* e *horas*. O método descrito está apresentado na Figura 3.18.

### 3.3 TESTES E RESULTADOS

Após a implementação do hardware e software do protótipo, foram feitos testes em cima do mesmo para verificar o seu funcionamento. Foi avaliado também o cumprimento dos objetivos propostos pelo protótipo.

A Figura 3.19 indica o ambiente onde foram efetuados os testes e as primeiras análises quanto ao funcionamento do protótipo. Além dos LEDs, lâmpada e display LCD, também foi utilizado um multímetro para medir as voltagens captadas em diferentes pontos do protótipo para demonstrar o seu funcionamento.

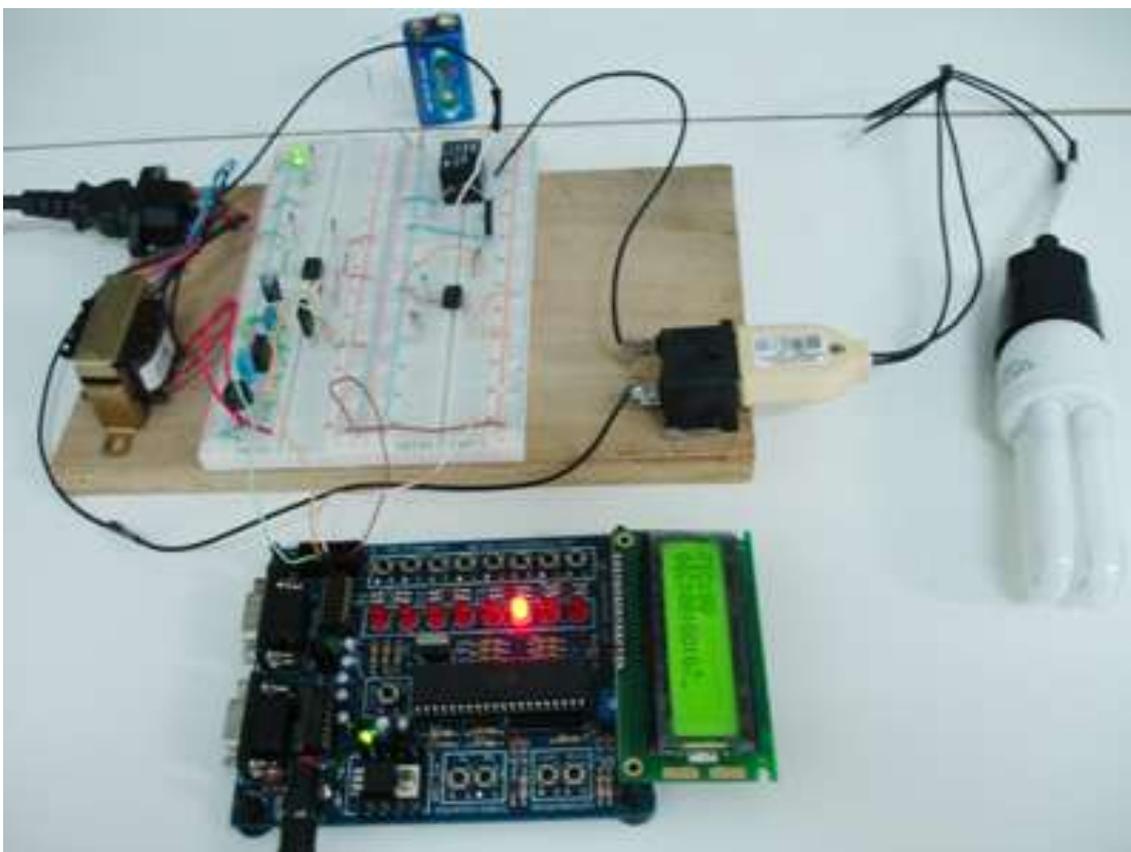


Figura 3.19 - Ambiente de testes e análises

A Figura 3.19 também apresenta o circuito montado na placa *protoboard* ligado ao kit didático do microcontrolador. Pode-se observar que esta chegando energia elétrica à placa *protoboard* graças ao LED verde e ao LED vermelho do kit didático que estão ligados. Isto indica a primeira verificação do microcontrolador referente à checagem se existe tensão passando pelo circuito.

Para melhor apresentar o protótipo e suas ligações, a Figura 3.20 mostra o circuito da placa *protoboard* ligado à entrada do protótipo. Nela pode-se observar a presença de um cabo de energia conectado a uma tomada elétrica, que por sua vez está ligada a um transformador de 110V / 220V para 12V. Por sua vez, o transformador está ligado ao *protoboard*. Além disso, pode-se observar também a ligação de dois cabos (12V) do transformador a um circuito retificador e regulador de tensão. Este circuito é necessário para garantir a chegada de uma tensão de 5V ao optoacoplador, que será o responsável por informar ao microcontrolador a passagem ou não de energia pelo circuito de entrada.

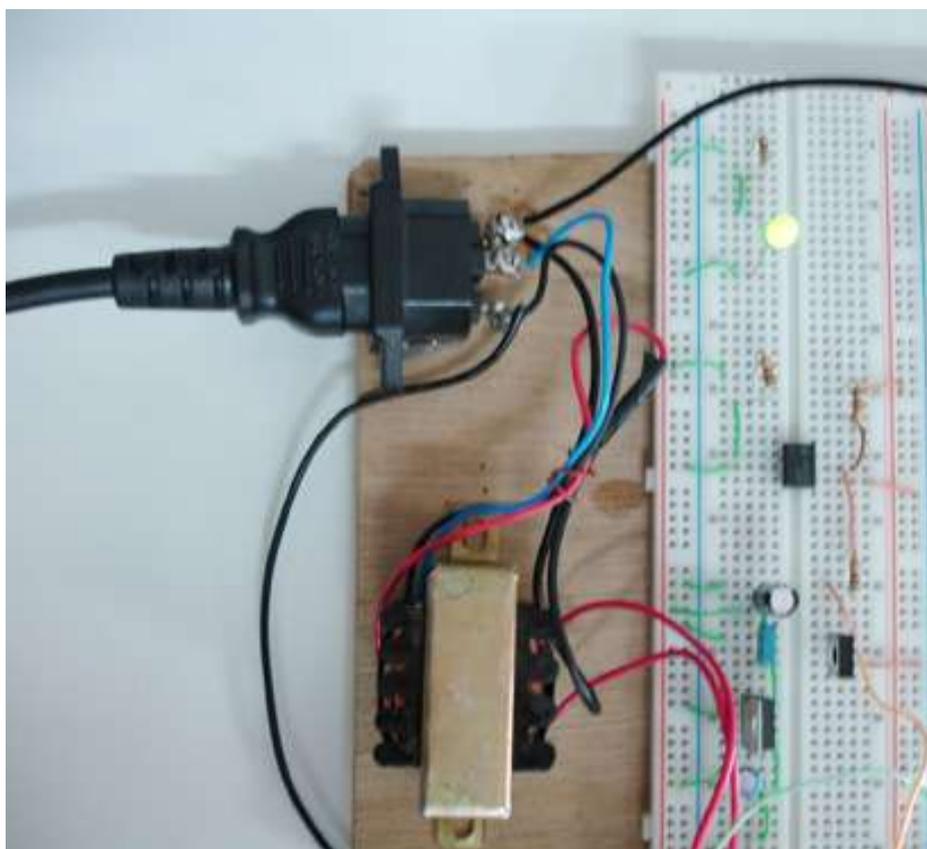


Figura 3.20 - Ligações do circuito de entrada

No circuito de saída são encontrados os seguintes componentes: relé, optoacoplador (OPTO2), transistor, resistores e a tomada de ligação com a saída. A Figura 3.21 apresenta todos esses componentes. Nela, pode-se observar que o relé tem uma ligação com o microcontrolador através de um transistor, porém, estes dois circuitos estão isolados graças a utilização de um optoacoplador. Também partindo do relé, é feita a ligação deste com a saída (220V). Essa ligação é feita através de outro fio ligado ao relé e à tomada.

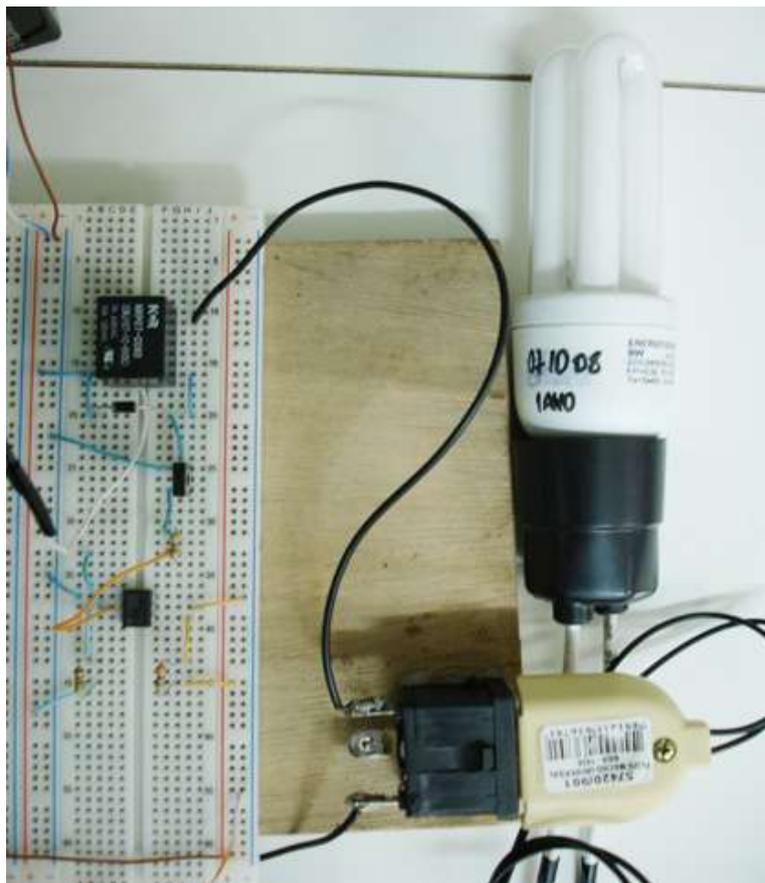


Figura 3.21 - Ligações do circuito de saída

Também pode-se observar a colocação de um diodo ligado em paralelo ao relé. Este diodo foi inserido para proteger o transistor e o optoacoplador de possíveis sobrecorrentes vindos do relé, ou seja, ele está posicionado em polarização reversa para impedir a passagem de corrente para estes componentes.

Além disto, o circuito de saída também possui uma ligação com a alimentação da bateria de 9V representado pela Figura 3.22. Embora seja uma bateria nova, a mesma não apresenta valores ideais de tensão. Na Tabela 3.1 pode-se confirmar que a bateria não apresenta o valor ideal de 9V durante a sua utilização.

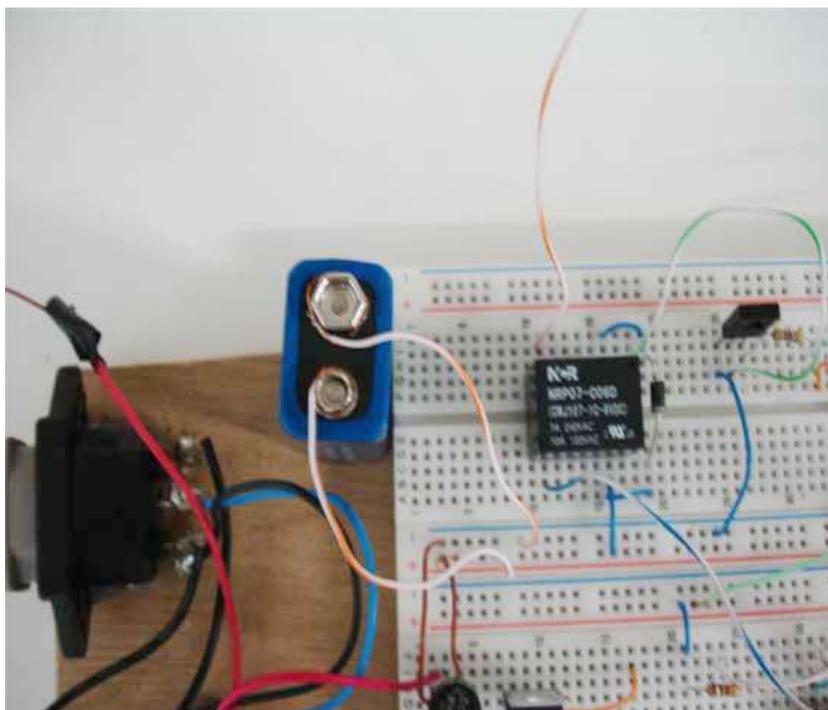


Figura 3.22 - Bateria de 9V alimentando o circuito de saída

A Tabela 3.1 apresenta os valores de tensão medidos através do multímetro. Essas medidas foram colhidas para demonstrar o funcionamento e a variação dos valores de tensão percorridos nos vários pontos do protótipo. Embora as medidas não representem com exatidão os valores reais de tensão, estes chegam muito próximos dos valores reais de tal forma que podemos descartar as diferenças entre os valores colhidos e os valores reais. Isso se deve principalmente às condições de testes realizados, ao aparelho de medição (multímetro) que talvez não estivesse completamente regulado, e por outros fatores como, as condições do ambiente e o processo de soldagem dos fios nas tomadas do protótipo.

Para a mensuração dos valores nesta etapa de testes, escolheram-se localidades específicas nos circuitos para colocar as pontas de prova do multímetro. Todas estas localidades estão descritas na Tabela 3.1. Desta maneira, para cada localidade definida houve medidas tanto para a situação de continuidade de energia elétrica quanto para as situações de interrupção de energia.

A primeira linha da Tabela 3.1 se refere à medida de tensão na tomada de entrada do protótipo. Em todos os testes efetuados, foram colhidos valores entre 202V e 205V, já que a rede elétrica do local de testes é de 220V. Mesmo com valores de tensão muito abaixo da tensão nominal, deve-se desconsiderar tal variação.

LOCALIDADES	LIGADO	DESLIGADO
ENTRADA NO PROTÓTIPO	203V	0V
ENTRADA NO OPTOACOPLADOR (1)	1.10V	0.0V
SAÍDA NO OPTOACOPLADOR (1)	0.43V	2.82V
TRANSISTOR (1)	4.80V	0.04V
BATERIA 9V	6.90V	7.26V
ENTRADA NO OPTOACOPLADOR (2)	0.01V	1.12V
SAÍDA NO OPTOACOPLADOR (2)	2.65V	0.64V
TRANSISTOR (2)	0.03V	5.93V
RELÉ	0.04V	6.35V
SAÍDA NO PROTÓTIPO	202V	0V

Tabela 3.1 - Valores medidos durante os testes na residência

Também foram colhidos medidas entre o anodo (ligado à tensão de 5V) e o cátodo (ligado ao terra do circuito retificador) do LED interno do OPTO1. Por ser um diodo emissor de luz, o LED consome parte da tensão e a converte em luz. Com o circuito ligado, foram captadas tensões em torno de 1.10V e 1.13V. Já com o circuito desligado, não foi captadas valores de tensão (0V). Considerando a outra parte do fototransistor do optoacoplador como a saída, foram captadas tensões entre 0.42V e 0.51V no caso do circuito ligado, e valores entre 2.79V e 2.82V no caso do circuito desligado. Estes últimos valores reflete o funcionamento do optoacoplador. Quando o circuito está desligado, o optoacoplador envia um sinal de nível lógico 1 ao transistor, e quando ligado, envia um sinal de nível lógico 0.

No primeiro transistor do circuito, o sinal de tensão serve basicamente para informar ao microcontrolador o nível lógico do circuito de entrada. Quando não existe tensão percorrendo o protótipo, o nível lógico é zero (0.04V). No entanto, quando o nível lógico é um (4.80V) é porque há energia elétrica percorrendo o circuito de entrada.

Assim como no primeiro optoacoplador, o OPTO2 do circuito de saída também apresenta valores muito semelhantes. Porém os valores estão invertidos devido à lógica negativa utilizada com a porta P3.0 do microcontrolador.

No momento em que o protótipo estiver ligado, o microcontrolador envia sinal de nível lógico um para o pino cátodo do LED interno do optoacoplador. Enquanto que o pino anodo do mesmo LED esta ligado ao pino Vcc do kit didático.

Desta maneira, a porta P3.0 funciona como um tipo de pino TERRA do circuito. Ou seja, quando o protótipo estiver ligado, o LED do optoacoplador estará apagado e não irá saturar a base do fototransistor. Quando o contrário, o LED estará ligado, saturando a base do fototransistor e diminuindo o valor da tensão de saída do optoacoplador.

LOCALIDADES	LIGADO	DESLIGADO
ENTRADA NO PROTÓTIPO	209V	0V
ENTRADA NO OPTOACOPLADOR (1)	1.10V	0V
SAÍDA NO OPTOACOPLADOR (1)	0.44V	2.81V
TRANSISTOR (1)	4.75V	0.07V
BATERIA 9V	6.55V	6.93V
ENTRADA NO OPTOACOPLADOR (2)	0.01V	1.12V
SAÍDA NO OPTOACOPLADOR (2)	2.49V	0.56V
TRANSISTOR (2)	0.03V	6.08V
RELÉ	0.06V	6.10V
SAÍDA NO PROTÓTIPO	210V	0V

Tabela 3.2 - Valores medidos durante os testes no laboratório

A Tabela 3.2 apresenta os valores medidos durante os testes efetuados no laboratório do UniCEUB. De acordo com a análise das duas tabelas, pode-se concluir que o protótipo atendeu as expectativas e atingiu os objetivos propostos nos testes efetuados tanto na residência quanto no laboratório do UniCEUB.

## 4. CONCLUSÃO

---

O projeto efetivamente atingiu o seu objetivo principal, que é de proteger o equipamento eletroeletrônico ligado à saída de qualquer distúrbio de sobretensão após interrupções. Durante a implementação deste projeto surgiram vários problemas com relação principalmente à parte de *hardware* do protótipo.

Um destes problemas foi a limitação do tempo de utilização do protótipo. Como todo o protótipo é alimentado por meio de uma bateria de 9V, fica inviável a sua aplicação para meios comerciais, já que o mesmo não consegue permanecer ligado por várias horas. Para resolver este problema, seria necessário um planejamento de um circuito secundário que cuidaria somente da alimentação do circuito, mas deveria prever também a segurança do circuito do microcontrolador já que este não pode sofrer com os efeitos de um possível sinal de sobretensão.

Outro problema que surgiu, mas que foi resolvido, tem relação com o isolamento total entre a rede elétrica e o circuito do microcontrolador. A solução foi planejar um sistema que separasse a ligação do kit didático com a da rede elétrica. Este sistema utiliza os optoacopladores para fazer o isolamento e garantir a integridade do microcontrolador mesmo com a presença de outros distúrbios como transitórios, subtensões, sobretensões, entre outros prejudiciais aos aparelhos sensíveis.

Assim, após o desenvolvimento do projeto, o funcionamento é descrito da seguinte forma: O microcontrolador faz a leitura do sinal de entrada do protótipo. Se não existir tensão percorrendo o circuito, então houve uma interrupção elétrica e o microcontrolador envia um sinal para o relé. Rapidamente o relé desarma, separando os contatos da rede elétrica com a saída do protótipo. No mesmo instante, o microcontrolador continua “ouvindo” a entrada em busca de um sinal de energia. Quando a interrupção cessar, o microcontrolador detecta o sinal e começa a contar um tempo (1.5 min) e depois envia um sinal para o relé. Este volta a fechar os contatos da rede elétrica com a saída.

Ficam aqui sugestões para projetos futuros baseados neste projeto:

- Implementação de uma solução para alimentação otimizada do protótipo;
- Estender a capacidade de proteção para vários equipamentos;
- Diminuir o tamanho do protótipo para deixá-lo mais viável comercialmente.

## Referências Bibliográficas

- [1] DUGAN, Roger C. *et al.* **Electrical Power Systems Quality**. 2nd Ed. New York: McGraw-Hill, 2002.
- [2] KUSKO, Alexander; THOMPSON, Marc T. **Power Quality in Electrical Systems**. McGraw-Hill, 2007.
- [3] ARRUDA, Elcio F. **Análise de Distúrbios Relacionados com a Qualidade da Energica Elétrica Utilizando a Transformada Wavelet**. 2003. 121f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2003.
- [4] BRAGA, Newton C. **Protetor de equipamentos**. Revista Saber Eletrônica. Disponível em: <<http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/787>>. Acesso em: 16 de nov. de 2008.
- [5] CARVALHO, Paulo L. Uma **Contribuição ao Estudo da Depressão de Tensão**. 1997. 123f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de Itajubá. 1997.
- [6] FRANCO, Edgard. **Qualidade de Energia – Causas, Efeitos e Soluções**. Disponível em: <[http://www.engecomp.com.br/pow\\_qual.htm](http://www.engecomp.com.br/pow_qual.htm)> . Acesso em: 30 de set. de 2008.
- [7] BRAGA, Newton C. **Como Funcionam os Relés**. Revista Saber Eletrônica. Disponível em: <<http://www.metaltex.com.br/tudosobrereles/tudo1.asp>>. Acesso em: 30 de set. de 2008.
- [8] ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA: Resolução Nº 505. 11p. 26 de Novembro de 2001.
- [9] ALMEIDA, Kátia Campos de. **Circuitos Optoeletrônicos – Aula 11**. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Elétrica. Eletricidade Básica. Florianópolis, 2006.
- [10] GIMENEZ, Salvador P. **Microcontroladores 8051**. São Paulo: Pearson, 2002.

## Apêndice

```

//=====
//          DEFINIÇÃO DE BIBLIOTECAS
//=====

#include <at89S8252.h>    // Biblioteca de funções do microcontrolador
#include <string.h>      // Biblioteca de funções para manipulação de strings

//=====
//          DEFINIÇÃO DE PORTAS
//=====

#define chave7 P0_7      // Definição da botão nº7 do Kit Didático para a porta P0.7

#define led0 P2_0        // Definição do LED nº0 do Kit Didático para a porta P2.0
#define led2 P2_2        // Definição do LED nº2 do Kit Didático para a porta P2.2

#define porta0 P3_0      // Definição do PINO nº0 do Kit Didático para a porta P3.0
#define porta1 P3_1      // Definição do PINO nº1 do Kit Didático para a porta P3.1

#define linha1 0x80      // Seta o valor em hexa 0x80 para linha1
#define linha2 0xc0      // Seta o valor em hexa 0xc0 para linha2

//=====
//          DEFINIÇÃO DE PINOS DO DISPLAY LCD
//=====

#define CS P3_7          // Ligado ao pino CS do display LCD para habilitação
#define CD P3_6          // Ligado ao pino CD do display LCD para seleção de comando ou dado

//=====
//          DEFINIÇÃO DE VALORES DE RECARGA DO TIMER 0
//=====

#define TH_0 0xff & ((0xffff-((11059200/1000)/12)) >> 8) // Base de 1 milissegundo
#define TL_0 0xFF & (0xffff-((11059200/1000)/12))

#define TH_1 0xc3        // Base de 50 milissegundos
#define TL_1 0x50

//=====
//          CHAMADAS DE FUNÇÕES UTILIZADAS PELO PROGRAMA
//=====

void initlcd(void);      // Método para inicializar o display LCD

void send(unsigned char d, char s); // Método para enviar sinal(comando ou dado) para o display LCD

void delay_90s(void);    // Método de espera específico de 90 segundos ou 1.5 min

void delay(unsigned char tempo); // Método de espera, depende da passagem de parâmetro de tempo

void clock(void) interrupt 1 using 1; // Método para cálculo dos tempos entre as interrupções no TIMER 0

```

```

void lcd_str(char *s);          // Método para imprimir uma string no display LCD
void lcd_bcd(unsigned char a); // Método para imprimir um número de dois dígitos no display LCD
void goto_lcd(unsigned char l, unsigned char c); // Método para posicionamento do cursor no display
void timer(char vezes);       // Método de espera

//=====
//          DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS GLOBAIS
//=====

unsigned char i;              // Contador de interrupções
int milisegu;                // Variável de milisegundo
unsigned char segundos;      // Variável de segundos
unsigned char minutos;       // Variável de minutos
unsigned char horas;         // Variável de horas

//=====
//          IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO MAIN(PRINCIPAL)
//=====

void main(void)
{

    IE0=0;
    TCON=0;
    TMOD=0x11; // configuracao do timer 0 e timer 1 no modo 1
    TH0=TH_0; // valor do recarga byte high timer 0
    TL0=TL_0; // valor do recarga byte low timer 0
    EA=1; // habilita interrupcao geral

    milisegu = 999; // Inicia contagem de milisegundos em 999
    segundos = 0; // Inicia a contagem de segundos,minutos e horas a partir de zero
    minutos = 0;
    horas = 0;
    i = 0; // Inicia a contagem do número de interrupções de energia a partir de zero

    initlcd(); // Inicializa o display LCD

    while(1) // Loop infinito
    {

        led0 = 0;
        led2 = 1;
        porta0 = 1;

        if(porta1 == 0)
        {

            led0 = 1;
            led2 = 0;
            porta0 = 0;

            TR0=1; // Inicia a contagem do TIMER 0
            ET0=1; // habilita interrupcao do TIMER 0

            goto_lcd(2,0);
            lcd_str("DIC:");
            lcd_bcd(horas);

```

```

send(0x0D,0); //cursor piscante
lcd_str(":");
send(0x0E,0); //cursor normal
lcd_bcd(minutos);
send(0x0D,0); //cursor piscante
lcd_str(":");
send(0x0E,0); //cursor normal
lcd_bcd(segundos);

if(porta1 == 1)
{

goto_lcd(1,1);
lcd_str("FREQ:");
lcd_bcd(i);
lcd_str(" ");

TR0=0; // Interrompe a contagem do TIMER 0
ET0=1; // Habilita interrupcao do timer 0

goto_lcd(2,0);
lcd_str("TEMPO:");
lcd_bcd(horas);
send(0x0D,0); //cursor piscante
lcd_str(":");
send(0x0E,0); //cursor normal
lcd_bcd(minutos);
send(0x0D,0); //cursor piscante
lcd_str(":");
send(0x0E,0); //cursor normal
lcd_bcd(segundos);

//timer(100000);
//timer(100000);
//timer(100000);
delay_90s();

i++;
led0 = 0;
led2 = 1;
porta0 = 1;

}

}

}

}

//=====
//      IMPLEMENTAÇÃO DOS MÉTODOS AUXILIARES
//=====

//=====
// Rotina de espera de tempo específico de 90 segundos
//=====

void delay_90s()
{
_asm // Abrir espaço para escrever rotina em Assembly

```

```

        MOV R4,#3           // Atribui valores específicos para os registradores
1$:    MOV R5,#212
2$:    MOV R6,#255
3$:    MOV R7,#255
4$:    DJNZ R7,4$          // Decrementa os valores dos registradores até 0.
        DJNZ R6,3$          // Quando chega em 0, desvia para a linha parametrizada.
        DJNZ R5,2$
        DJNZ R4,1$

_endasm;           // Fecha a rotina em Assembly
}

//=====
// Rotina de espera de tempo
//=====

void delay (unsigned char tempo) // Método de espera recebendo a variável tempo passada
{                               // como parâmetro

    for(;tempo!=0;tempo--);     // Loop para decrementar o tempo até atingir 0

}                               // Quando atingir 0, o loop é interrompido e termina a execução do método

//=====
// Rotina de leitura e envio do byte para o display LCD
//=====

void send(unsigned char d, char s) //Rotina para enviar byte ao display
{                               //Argumentos: d-> Byte a ser enviado
                               // s-> em 0 indica comando, e em 1 indica dado

    P1=d;                       //Coloca o byte(d) na P1

    if (s==0)                   // Configura o pino CD do display indicando o byte a ser enviado

        CD=0;                   // Se for byte de comando, CD = 0

    else

        CD=1;                   // Se for byte de dados, CD = 1

    CS=1;                       // Borda de descida em CS, para forçar leitura do byte,
    CS=0;                       // e enviar ao display LCD

    delay(20);                  // Aguarda algum tempo, esperando o display processar o byte recebido

    if((s==0)&&(d<5))           // Caso o byte enviado seja um comando de "Limpar Display"

        delay(100);            // deverá aguarda mais tempo pois estes comandos são mais demorados

}

//=====
// Rotina de inicialização do display LCD
//=====

void initlcd()                // Método de inicialização do display LCD para apresentação de mensagens
{

    send(0x39,0);             // Configura display em modo 8bits, 2 linhas e fonte 5x7 dots

```

```

send(0x06,0);    // Configura auto-incremento da posição do cursor para a direita

send(0x0c,0);    // Liga display, e inibe exibição do cursor

send(0x01,0);    // Limpa conteúdo da memória do display LCD
}

//=====
// Rotina de tratamento de interrupção do TIMER0 - clock do sistema
//=====

void clock(void) interrupt 1 using 1 // Utiliza a interrupção 1 do TIMER 0
{
  TH0=TH_0;      // Valor de recarga do byte high para o TIMER 0
  TL0=TL_0;      // Valor de recarga do byte low para o TIMER 0

  if (milisegu--==0) // Decrementa valor de milisegu
  {
    // Quando milisegu = 0, entra no laço condicional
    milisegu=999; // Reseta o valor de milisegu para 999
    segundos++;   // Incrementa valor de segundos
  }

  if (segundos == 60) // Quando valor de segundos for igual a 60,
  {
    // entra no laço condicional
    minutos++;       // Incrementa valor de minutos
    segundos = 0;    // Reseta valor de segundos para 0
  }

  if (minutos == 60) // Quando valor de minutos for igual a 60,
  {
    // entra no laço condicional
    horas++;         // Incrementa valor de horas
    minutos = 0;     // Reseta valor de minutos para 0
  }
}

//=====
// Rotina de escrita de strings no display de LCD
//=====

void lcd_str(char *s) // Recebe um ponteiro de char como parâmetro
{
  do send(*s,1);      // Enquanto existir caractere a ser lido,
  while (*++s);       // enviar o caractere como DADO para o display LCD
}

//=====
// Rotina de escrita de numerais no display de LCD
//=====

void lcd_bcd(unsigned char a) // Recebe um char(0 até 255) como parâmetro
{
  a=a%100;
  send('0'+a/10,1);    // Imprime primeiro dígito
  send('0'+a%10,1);   // Imprime segundo dígito
}

```

```

//=====
// Rotina de posicionamento do cursor no display de LCD
//=====

void goto_lcd(unsigned char l, unsigned char c) // Recebe a linha e a coluna como parâmetros
{
  unsigned char a;
  if (l==1) a = linha1; // Se o parâmetro 'l' for igual à '1', posicionar na primeira linha do display
  if (l==2) a = linha2; // Se o parâmetro 'l' for igual à '2', posicionar na segunda linha do display
  send(a+c-1,0); // Soma o valor da linha com o valor do parâmetro 'c' para posicionar o curso
} // e envia o COMANDO de posicionamento para o display LCD

//=====
// Rotina de espera utilizando o TIMER 1
//=====

void timer(char vezes)
{
  while(vezes)
  {
    TMOD=0x11; // TIMER 0 - modo 1 ( 16 bits) e TIMER 1 - modo 1 (16bits)
    TH1=TH_1; // atribui o valor 0x15h, figura 1.12
    TL1=TL_1; // atribui o valor 0x9Fh, figura 1.12
    TR1=1; // seta o flag TR0 dando início à contagem
    TF1=0;
    while(!TF1); // Espera término da contagem
    vezes--; // decrementa a variável vezes
  }
}

```