

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO  
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA  
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

GABRIEL TEIXEIRA GRAZIANO DE OLIVEIRA

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE VARIAÇÕES DE TENSÃO DE  
CURTA DURAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2018

**GABRIEL TEIXEIRA GRAZIANO DE OLIVEIRA**

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE VARIAÇÕES DE TENSÃO DE  
CURTA DURAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. André Sanches Fonseca  
Sobrinho

**CORNÉLIO PROCÓPIO**

**2018**



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

Sistema de monitoramento de variações de tensão de curta duração em redes de distribuição de energia

por

Gabriel Teixeira Graziano de Oliveira

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia de Controle e Automação” e aprovado em sua forma final pelo Programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Cornélio Procópio, 20/09/2018

---

Profº.Dr André Sanches Fonseca Sobrinho  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Profª.Drª Gabriela Shiguemoto  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Profº.Dr Luís Fernando Caparroz Duarte  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## RESUMO

OLIVEIRA, G. T. G. Sistema de monitoramento de variações de tensão de curta duração em redes de distribuição de energia. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Controle e Automação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

O nível elevado de automação dos equipamentos elétricos modernos, com controle baseado em microprocessadores, fez com que estes se tornassem muito mais sensíveis à variações na tensão distribuída pela rede elétrica. Problemas dessa natureza têm consequências que vão de defeitos simples em eletrodomésticos até a interrupção completa de máquinas industriais, ocasionando enormes prejuízos. Entre os principais tipos de ocorrências estão as variações de tensão de curta duração, caracterizadas por sua duração e amplitude, e que podem ser interrupções completas, afundamentos ou elevações da tensão nominal da rede. Com isso, este trabalho tem como objetivo propor o desenvolvimento de um sistema robusto, de baixo custo, que possibilite a detecção das variações de tensão de curta duração. Além disso, as informações referentes a cada ocorrência serão salvas e disponibilizadas online para consulta pelas concessionárias de energia. Todos os materiais a serem utilizados, assim como a metodologia que será empregada, estão detalhados nesta proposta.

**Palavras-chave:** Variações de tensão de curta duração. Qualidade de energia elétrica. Sistemas Embarcados.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, G. T. G. . 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Controle e Automação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

The high level of automation in the modern electric equipment, with microprocessor-based control, made them more sensitive to fluctuations in the supply voltage. This type of problem can have consequences ranging from simple failures in home appliances to the complete interruption of a production line, causing a significant economic impact. Among the most common types of voltage fluctuations are the Short-Duration Voltage Variations, defined by its magnitude (interruption, sag or swell) and duration (instantaneous, momentary or temporary). Thus, the objective of this paper is to propose the development of a robust, low-cost system, that performs the detection of the Short-Duration Voltage Variations. In addition, all the information about the voltage variation events is going to be saved and released online for consultation by the energy providers. All the materials that are going to be used, as well as the methodology applied, are explained in this proposal.

**Keywords:** Short-Duration Voltage Variation. Power Quality. Embedded Systems.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Interrupção momentânea de tensão .....	13
FIGURA 2	– Afundamento instantâneo de tensão .....	14
FIGURA 3	– Elevação instantânea de tensão .....	14
FIGURA 4	– Diagrama do circuito da placa Cerebot MX7cK .....	15
FIGURA 5	– Configuração de pinos do ADE7758 .....	16
FIGURA 6	– Detecção de afundamento de tensão .....	17
FIGURA 7	– Detecção de elevação de tensão .....	18
FIGURA 8	– Placa de desenvolvimento Cerebot MX7cK .....	20
FIGURA 9	– Funcionamento básico da primeira abordagem proposta .....	21

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1	– Tipos de VTCD .....	11
TABELA 2	– Variações de Tensão de Curta Duração .....	12
TABELA 3	– Cronograma de Execução .....	23

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
1.1	PROBLEMA	9
1.2	OBJETIVOS	10
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>11</b>
2.1	VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO	11
2.1.1	Valor Eficaz da Tensão	12
2.1.2	Interrupção de Tensão ( <i>Interruption</i> )	12
2.1.3	Afundamento de Tensão ( <i>Voltage Sag</i> )	13
2.1.4	Elevação de Tensão ( <i>Voltage Swell</i> )	14
2.2	MICROCONTROLADOR PIC32MX795F512L	15
2.3	CIRCUITO INTEGRADO ADE7758	16
2.3.1	Detecção de afundamento de tensão	16
2.3.2	Detecção de Sobretensão	17
2.3.3	Medição de Frequência	18
2.3.4	Medição de Tensão RMS	18
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>19</b>
3.1	ETAPAS DO TRABALHO	19
3.1.1	Revisão Bibliográfica	19
3.1.2	Definição e estudo das tecnologias	19
3.1.3	Aplicação dos conceitos teóricos	20
3.1.4	Análise e validação dos resultados	22
3.1.5	Elaboração da monografia	22
<b>4</b>	<b>CRONOGRAMA</b>	<b>23</b>
	REFERÊNCIAS	24



## 1 INTRODUÇÃO

Amplamente debatido nas últimas décadas, o tema da qualidade de energia tem ganho ainda mais importância nos dias atuais. Com processos industriais cada vez mais automatizados, a operação e o controle eficiente das máquinas se torna gradativamente mais suscetível a falhas na energia distribuída pela rede elétrica.

O conceito de qualidade de energia pode ter diferentes definições. Uma concessionária define qualidade como o grau de confiança em seu sistema de distribuição, enquanto fabricantes de equipamentos de carga definem qualidade como as características da energia fornecida pela rede que permitem o funcionamento correto de seus produtos. Quando considera-se o ponto de vista do consumidor, qualidade pode ser qualquer problema manifestado em desvios na corrente, tensão ou frequência que resultem em falha ou mau funcionamento dos equipamentos do cliente (DUGAN et al., 2002).

Dentre as razões pelas quais o interesse nesse tema tem aumentado, algumas podem ser destacadas como principais. Equipamentos eletrônicos, com controle baseado em microprocessadores, se tornaram muito mais sensíveis à distúrbios de tensão do que eram há dez, vinte anos. Além disso, os dispositivos atuais são quase totalmente conectados em redes. Uma falha em um único componente pode gerar graves consequências para todo o sistema (DUGAN et al., 2002; BOLLEN, 2002).

Para que seja possível fazer uma análise mais técnica do assunto, muitas vezes o conceito de qualidade de energia é demasiadamente vago. A taxa de energia fornecida pela rede (potência) é proporcional ao produto da corrente pela tensão. Como uma concessionária de energia tem controle apenas sobre a tensão que é fornecida, o conceito de qualidade de tensão se faz mais apropriado e é comumente utilizado para definir os parâmetros de qualidade no fornecimento de energia elétrica (DUGAN et al., 2002).

Desta maneira, o desenvolvimento de um equipamento de baixo custo, que possibilite a medição da qualidade da energia elétrica através do controle da qualidade da tensão fornecida pelas concessionárias de energia, seria de interesse não só do consumidor, mas também de

indústrias e das próprias empresas distribuidoras, podendo gerar uma economia significativa e uma melhora geral do serviço.

## 1.1 PROBLEMA

Devido à grande importância do tema da qualidade da energia elétrica e do impacto causado por variações de tensão, diversos trabalhos abordam esse assunto. Ramasamy et al. (2005) descreve um dispositivo para compensação de afundamentos de tensão chamado Restaurador Dinâmico de Tensão (do inglês *Dynamic Voltage Restorer - DVR*). Esse dispositivo atua injetando uma tensão trifásica em série e em sincronia com a tensão da rede de distribuição, atenuando os efeitos de afundamentos de tensão em equipamentos e cargas mais sensíveis.

Fitzer (2002) descreve uma técnica de detecção de afundamentos de tensão para um Restaurador Dinâmico de Tensão utilizando um método de matriz de espaço de estados, mais rápido que alguns métodos mais antigos, como transformada de fourier e PLL.

Fonseca (1999) propõe um método para o cálculo de afundamento de tensão pela análise da amplitude e do tempo de duração dos afundamentos em função da posição de falta nas linhas de transmissão, subtransmissão e distribuição. Além disso, descreve a execução de um processo de estimativa de afundamentos através de um método estatístico estocástico.

Ferreira et al. (2009) apresenta um sistema de detecção e classificação de distúrbios de qualidade de energia elétrica através da decomposição do sinal da tensão. São utilizadas ferramentas de estatística para a classificação dos diferentes tipos de ocorrências e uma rede neural artificial para a implementação do algoritmo. O sistema é capaz de detectar distúrbios como elevações de tensão, afundamentos de tensão, harmônicos, entre outros.

Através das referências bibliográficas apresentadas nesta seção, e de outros trabalhos presentes na literatura, percebe-se a existência de diversas técnicas para a detecção e correção de distúrbios que afetam a qualidade da energia elétrica. Este trabalho busca contribuir para o tema com o desenvolvimento de um sistema eficiente e de baixo custo para detecção de variações de tensão de curta duração.

Como diferencial, a detecção será feita com um microcontrolador PIC e um circuito integrado ADE7758. Além disso, as informações completas sobre o tipo e data das ocorrências estarão disponíveis online para consulta pelas concessionárias de energia.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de detecção de variações de tensão de curta duração em redes de distribuição de energia elétrica, mantendo as informações relativas a cada ocorrência disponíveis para consulta online por concessionárias de energia.

Definido o objetivo geral do trabalho, pode-se destacar os seguintes pontos como objetivos específicos:

- Configurar o microcontrolador PIC32MX795F512L para realizar a comunicação com o circuito integrado ADE7758;
- Programar o circuito integrado ADE7758 para realizar a detecção dos diferentes tipos de variações de tensão de curta duração;
- Configurar o microcontrolador PIC32MX795F512L para funcionar como um servidor TCP/IP, disponibilizando as informações das ocorrências em tempo real.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO

Variações de tensão de curta duração (VTCD) são desvios significativos no valor eficaz da tensão em curtos intervalos de tempo. Essas variações podem ser momentâneas ou temporárias, tendo como principais causas condições de falta, energização de grandes cargas que demandam correntes altas de partida e conexões frouxas intermitentes nos cabos de energia (ANEEL, 2011; MACHADO et al., 2006).

Usualmente as VTCD referem-se à tensão fase-neutro, podendo ser descritas monofasicamente por dois parâmetros: amplitude e duração. A amplitude é definida pelo valor extremo do valor eficaz da tensão (também chamado de tensão remanescente) em relação à tensão nominal, no ponto de observação e enquanto durar o evento. Esse valor pode ser expresso em porcentagem ou em valor por unidade (pu) (REDE, 2011).

A duração das VTCD é caracterizada pelo tempo percorrido entre o momento em que o valor eficaz da tensão ultrapassa um determinado limiar e o momento em que volta a cruzar esse ponto, podendo ser expresso em segundos ou ciclos (REDE, 2011).

Na tabela 1 é mostrada uma classificação geral dos tipos de variações de tensão de curta duração e na tabela 2 são apresentados os critérios detalhados para a definição de cada tipo de variação de acordo com a norma vigente da ONS (REDE, 2011).

**Tabela 1: Tipos de VTCD**

<b>Tipo</b>	<b>Duração</b>
Instantâneos	0.5 a 30 ciclos
Momentâneos	30 ciclos a 3 segundos
Temporários	3 segundos a 1 minuto

**Tabela 2: Variações de Tensão de Curta Duração**

<b>Classificação</b>	<b>Denominação</b>	<b>Duração da Variação</b>	<b>Amplitude da tensão</b>
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a um minuto	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Temporário de Tensão	Superior a três segundos e inferior a um minuto	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a um minuto	Superior a 1,1 p.u

### 2.1.1 VALOR EFICAZ DA TENSÃO

Na definição da amplitude das variações de tensão é utilizado o valor eficaz (RMS, da sigla em inglês *root mean square*), também chamado de valor quadrático médio, que é uma medida estatística da magnitude de uma quantidade variável.

O valor eficaz da tensão ( $V_{ref}$ ) é representado pela equação 1, sendo  $x(t)$  o sinal variável no tempo e  $T$  seu período.

$$V_{ref} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [x(t)]^2 dt} \quad (1)$$

### 2.1.2 INTERRUPÇÃO DE TENSÃO (*INTERRUPTION*)

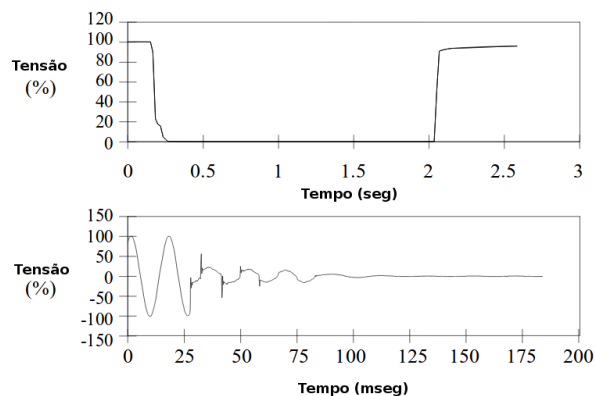
A interrupção ocorre quando a amplitude da tensão decresce para um valor menor que 0,1 pu, em um período de até 1 minuto. Algumas de suas principais causas são condições de falhas no equipamento, falhas no sistema de energia e mau funcionamento de controladores

(ASSOCIATION et al., 2009).

A figura 1 ilustra a ocorrência de uma interrupção momentânea, com a tensão caindo para 0 por aproximadamente 2 segundos. O primeiro gráfico apresenta a variação da tensão eficaz (RMS) durante todo o evento, mostrando a queda da tensão para 0 e o reestabelecimento do valor normal após cerca de dois segundos.

O segundo apresenta a variação do valor instantâneo da tensão durante os dois primeiros segundos do evento. É importante notar que os gráficos da figura 1 apresentam escalas diferentes para uma melhor visualização.

**Figura 1: Interrupção momentânea de tensão**

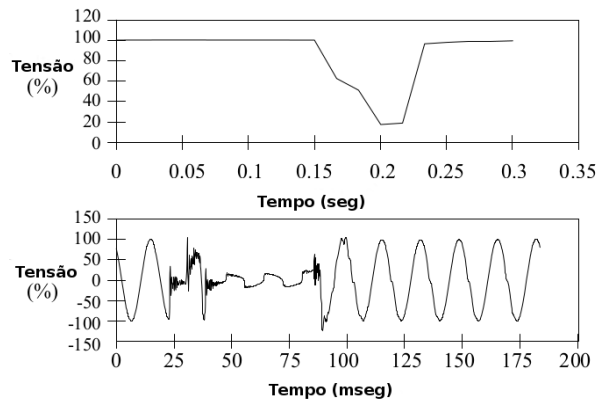


**Fonte: Adaptado de Association et al. (2009)**

### 2.1.3 AFUNDAMENTO DE TENSÃO (*VOLTAGE SAG*)

O afundamento ocorre quando a tensão decai para um valor entre 0,1 e 0,9 pu (tensão remanescente). Esse evento é geralmente associado a condições de defeito no sistema, comutação de grandes blocos de carga e acionamento de grandes motores (ASSOCIATION et al., 2009).

A figura 2 ilustra um afundamento instantâneo com tensão remanescente de aproximadamente 0,2 pu. No primeiro gráfico, o afundamento é mostrado pela variação da tensão eficaz, com uma escala em segundos. No gráfico abaixo, a forma de onda completa da tensão (com escala em milissegundos) mostra uma oscilação maior do valor durante a duração do evento.

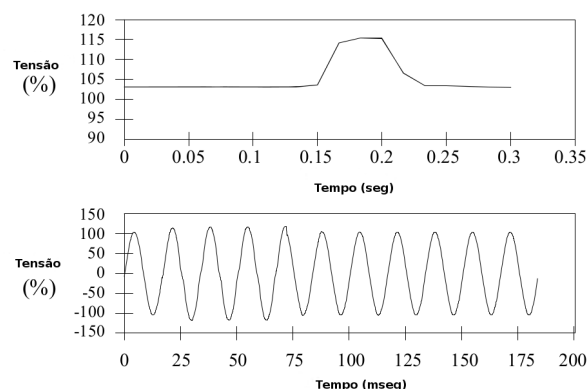
**Figura 2: Afundamento instantâneo de tensão**

**Fonte: Adaptado de Association et al. (2009)**

#### 2.1.4 ELEVAÇÃO DE TENSÃO (*VOLTAGE SWELL*)

A elevação de tensão é definida por um aumento na tensão eficaz acima de 1,1 pu, com duração descrita na tabela 2. Assim como no afundamento, sua ocorrência está associada à condições de falhas no sistema, desligamento de grandes cargas ou bancos de capacitores (ASSOCIATION et al., 2009).

A figura 3 ilustra uma condição de elevação instantânea de tensão. No gráfico de cima é mostrada a variação da tensão RMS com tensão remanescente de aproximadamente 1,15 pu. O segundo gráfico ilustra a variação no valor instantâneo da tensão.

**Figura 3: Elevação instantânea de tensão**

**Fonte: Adaptado de Association el al. (2009)**

## 2.2 MICROCONTROLADOR PIC32MX795F512L

Para este trabalho será utilizado o microcontrolador PIC32MX795F512L, fabricado pela empresa *Microchip Technology Incorporated*, que possui unidade de processamento de 32 bits, 512 kB de memória Flash, 128 kB de memória RAM, frequência de operação de 80 MHz e faixa de operação de tensão de 2,3 V a 3,6 V (MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED, 2011).

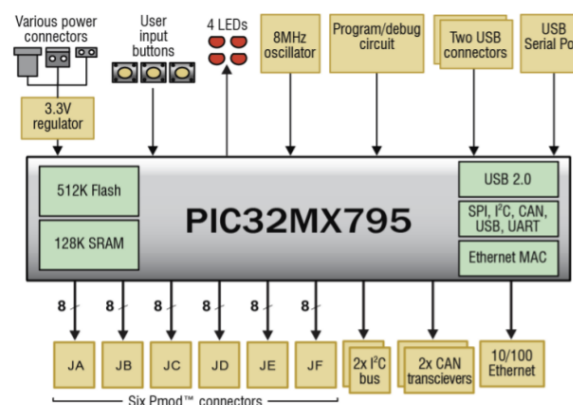
O PIC32MX795F512L conta com 5 Timers de 16 bits, que podem ser combinados em pares para formar Timers de 32 bits. Além disso, o microcontrolador conta com a presença de uma interface para Controle de Acesso Ethernet (MAC) de 10/100 Mbps, que permite uma conexão física Ethernet (MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED, 2011).

O periférico de calendário e relógio em tempo real, também presente no microcontrolador, permite a contagem do tempo em horas, minutos e segundos, a consulta por dia da semana, dia, mês e ano, além de otimização para uso contínuo da bateria e correção de ano bissexto. O erro apresentado é de aproximadamente  $\pm 0,66$  segundos por mês (MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED, 2011).

O microcontrolador PIC32MX795F512L será utilizado através da placa de desenvolvimento Cerebot MX7cK, que é fabricada pela empresa *Digilent Incorporated*. Essa placa possui 52 pinos de entrada e saída, interface Ethernet 10/100, 5 entradas de interrupção externa e diversos outros periféricos, podendo ser alimentada via USB ou fonte AC-DC externa. (DILIGENT INCORPORATED, 2013).

Um diagrama com os principais periféricos da Cerebot MX7cK é apresentado na figura 8:

**Figura 4: Diagrama do circuito da placa Cerebot MX7cK**



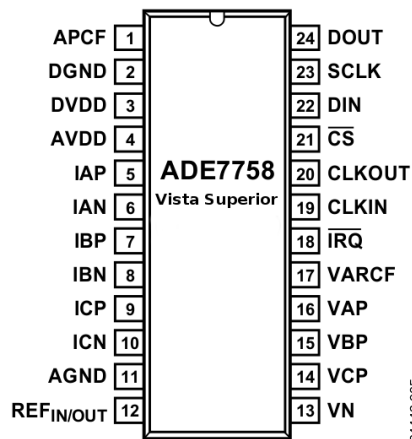
**Fonte: Digilent Incorporated (2013)**



### 2.3 CIRCUITO INTEGRADO ADE7758

O ADE7758, fabricado pela empresa *Analog Devices*, é um circuito integrado medidor de energia elétrica trifásica, de alta precisão, com interface serial e alimentação de 5V. Esse circuito conta com seis entradas analógicas, divididas em dois canais: tensão e corrente. O canal de tensão possui três entradas: VAP, VBP e VCP. (ANALOG DEVICES, 2011)

**Figura 5: Configuração de pinos do ADE7758**

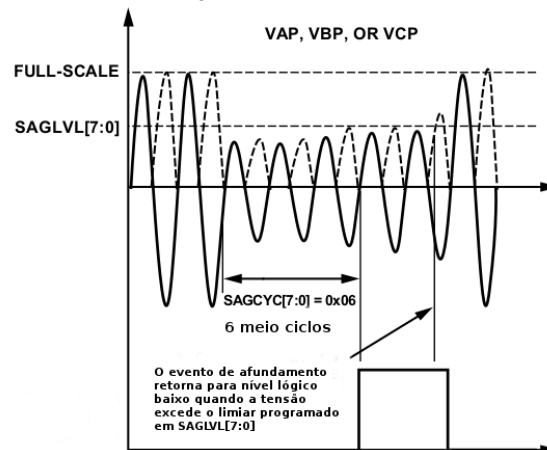


**Fonte: Adaptado de Analog Devices (2011)**

Para o propósito deste trabalho, o ADE7758 apresenta algumas funções muito úteis, que serão descritas ao longo desta seção.

#### 2.3.1 DETECÇÃO DE AFUNDAMENTO DE TENSÃO

O ADE7758 pode ser programado para detectar uma diminuição no valor absoluto da tensão de linha, abaixo de um limiar configurado no registrador de nível de afundamento (*Sag level register*), por um número de meio ciclos.

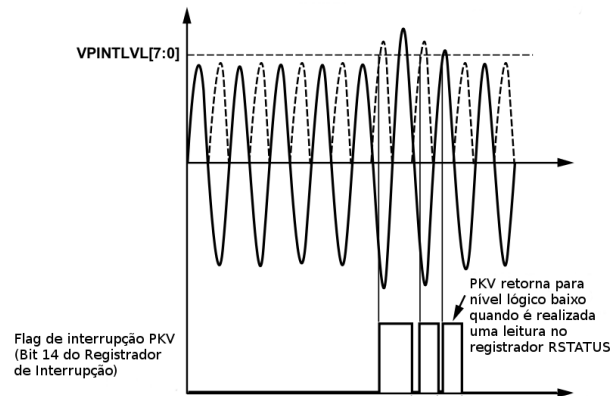
**Figura 6: Detecção de afundamento de tensão**

**Fonte: Adaptado de Analog Devices (2011)**

A figura 6 ilustra um exemplo dessa função. A tensão fica abaixo de um limiar, definido no registrador de nível de afundamento (SAGLVL[7:0]), durante nove meio ciclos. Como o registrador de ciclos de afundamento indica um limiar de seis meio ciclos (SAGCYC[7:0]=0x06), o evento de afundamento começa a ser registrado após o fim do sexto meio ciclo, quando a *flag* que indica o afundamento é colocada em nível lógico alto para a fase de tensão correspondente (Bits 1 até 3 no registrador da interrupção) (ANALOG DEVICES, 2011).

### 2.3.2 DETECÇÃO DE SOBRETENSÃO

Na figura 7 é possível ver o comportamento da detecção de sobretensão, quando o valor absoluto da tensão excede um limiar configurado no registrador VPINTLVL[7:0]. O Bit 14 (*PKV flag*) do registrador de interrupção é responsável por gravar a ocorrência da sobretensão. Assim como na detecção de afundamento de tensão, múltiplas fases de tensão e corrente podem ser monitoradas individualmente a partir da configuração dos bits PKIRQSEL[5:7] do registrador MMODE (ANALOG DEVICES, 2011).

**Figura 7: Detecção de elevação de tensão**

**Fonte: Adaptado de Analog Devices (2011)**

### 2.3.3 MEDIÇÃO DE FREQUÊNCIA

Com o circuito integrado ADE7758 é possível fazer a medição da frequência e do período da tensão de linha. A fase que será analisada é selecionada através dos Bits 0 e 1 do registrador MMODE. O resultado da leitura é armazenado no registrador FREQ, de 12 Bits. (ANALOG DEVICES, 2011).

O Bit 7 do registrador LCYCMODE seleciona se a leitura será feita para o período ou para a frequência. Por padrão, esse Bit é configurado em nível lógico baixo com o registrador mostrando a medição da frequência. Caso o Bit seja configurado em nível lógico alto, o registrador irá mostrar o período.

### 2.3.4 MEDIÇÃO DE TENSÃO RMS

Foi apresentado na seção 2.1.1 o conceito de valor eficaz da tensão, ou tensão RMS. O circuito integrado ADE7758 é capaz de calcular esse valor tanto para corrente quanto para tensão. Para isso, o sinal de entrada é elevado ao quadrado antes de passar por um filtro passa-baixa. É tirada então a raiz quadrada do resultado dessa operação para obter o valor eficaz final.

Essa operação pode ser feita simultaneamente nas seis entradas analógicas presentes no dispositivo. Os valores de tensão eficaz são salvos em registradores de 24 bits: AVRMS, BVRMS e CVRMS.

### 3 METODOLOGIA

Como mencionado na seção 1.2, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de detecção de variações de tensão de curta duração. Esse sistema deverá analisar o sinal de onda da tensão proveniente da rede de distribuição de energia elétrica, detectar a ocorrência de variações, classificar cada ocorrência de acordo com as normas vigentes, salvar essa informação (incluindo data e hora) e disponibilizá-la online para consulta.

#### 3.1 ETAPAS DO TRABALHO

O trabalho de conclusão de curso será organizado de acordo com as seguintes etapas:

- Revisão bibliográfica
- Definição e estudo das tecnologias
- Aplicação dos conceitos teóricos
- Análise e validação dos resultados
- Elaboração da monografia

##### 3.1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A primeira etapa será dedicada à busca por referências bibliográficas que tenham relação com o estudo de variações de tensão de curta duração. O objetivo aqui é estudar trabalhos existentes na área, assim como as principais técnicas existentes para a detecção desse tipo de evento e como este trabalho poderá contribuir com o assunto.

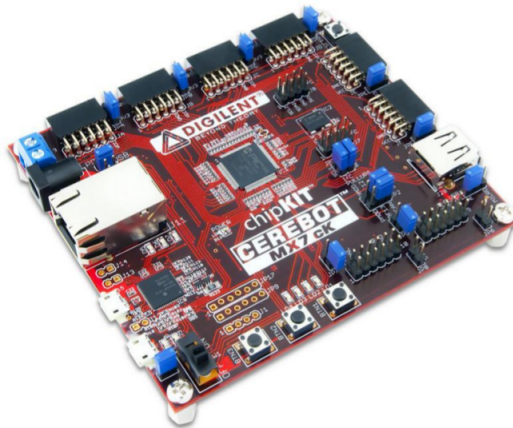
##### 3.1.2 DEFINIÇÃO E ESTUDO DAS TECNOLOGIAS

Nesta etapa, o objetivo é o estudo prático do funcionamento dos materiais que serão utilizados no trabalho, descritos no capítulo 2. Serão feitos testes com o microcontrolador

PIC32MX795F512L (através da placa de desenvolvimento Cerebot MX7cK) e com o circuito integrado ADE7758, visando conhecer melhor suas características, funcionamento e métodos de comunicação entre os dois dispositivos.

Além disso, será feito um estudo quanto a configuração do microcontrolador PIC32MX795F512L como um servidor TCP/IP, com a realização de testes para sua correta operação.

**Figura 8: Placa de desenvolvimento Cerebot MX7cK**



**Fonte: Diligent Incorporated (2013)**

### 3.1.3 APLICAÇÃO DOS CONCEITOS TEÓRICOS

Após o estudo dos materiais que serão utilizados no projeto, a etapa de aplicação dos conceitos teóricos terá como objetivo o desenvolvimento do *firmware* do sistema. Para isso, todas as normas e restrições descritas no capítulo 2 deverão ser levadas em conta para a correta detecção dos eventos de VTCD.

Duas abordagens diferentes serão testadas no projeto. A primeira proposta envolve a utilização das funções de detecção de afundamento e de sobretensão do circuito integrado ADE7758, descritas nas seções 2.3.1 e 2.3.2, além dos timers e demais periféricos do microcontrolador PIC32MX795F512L.

Para a detecção da ocorrência de afundamento de tensão, o registrador SAGLVL deverá ser configurado de acordo com os valores da tabela 2, ativando a interrupção quando o valor da tensão ficar abaixo de 0,9 pu por um período maior que um ciclo. Caso o valor da tensão remanescente seja igual ou menor que 0,1 pu, o evento deve ser tratado como uma interrupção de tensão.

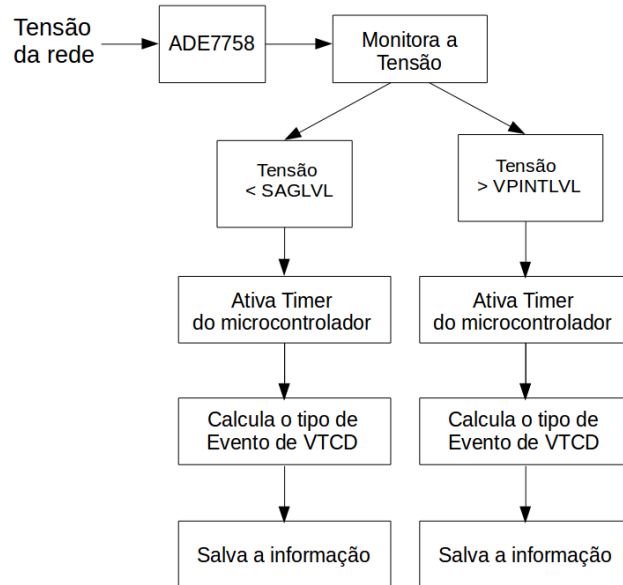
Essa interrupção irá ativar o timer presente no microcontrolador PIC32MX795F512L,

que irá permanecer ativo durante a duração do evento. De acordo com o valor final da contagem, o evento de afundamento será enquadrado em uma das categorias de VTCD, também seguindo as normas presentes na tabela 2.

No caso da elevação de tensão, a detecção será feita através da configuração do limite superior no registrador VPINTLVL. Caso a tensão proveniente da rede elétrica ultrapasse esse valor, o Bit 14 do registrador de interrupção é acionado para registrar a ocorrência da sobretensão. O timer do microcontrolador também será acionado, calculando o tempo total do evento e enquadrando-o em uma das categorias de VTCD.

Em ambos os casos, a função de medição de frequência do ADE7758, descrita na seção 2.3.3, será utilizada em conjunto com o timer para que seja feita a medição da quantidade de ciclos da rede, permitindo a caracterização completa de todos os eventos possíveis de VTCD.

**Figura 9: Funcionamento básico da primeira abordagem proposta**



**Fonte: Autoria própria**

A segunda abordagem proposta para o desenvolvimento do sistema é a utilização da medição da tensão eficaz, função do ADE7758 descrita na seção 2.3.4. A tensão proveniente da rede elétrica terá seu valor RMS constantemente monitorado pelo circuito integrado. O resultado dessa medição deve ser comparado com limites pré-configurados, de acordo com a tabela 2, enquadrando a ocorrência de variação da tensão como interrupção, afundamento ou elevação.

O timer presente no microcontrolador PIC32MX795F512L será acionado em conjunto com a função de medição de frequência do ADE7758, no início do evento. De acordo com

a duração total e com o número de ciclos da rede, o evento de VTCD será enquadrado como instantâneo, momentâneo ou temporário.

#### 3.1.4 ANÁLISE E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Após o desenvolvimento do hardware e da programação do sistema, levando em conta as duas abordagens propostas anteriormente, a etapa de análise e validação dos resultados terá como objetivo principal testar cada um dos métodos e analisar qual deles será o mais eficiente para a solução do problema.

Utilizando os laboratórios da UTFPR e um Variac, serão realizados ensaios simulando os diversos tipos de variações de tensão de curta duração na rede elétrica. Cada um dos métodos será testado e analisado de acordo com tempo de resposta, gasto de energia e eficiência na detecção dos eventos.

#### 3.1.5 ELABORAÇÃO DA MONOGRAFIA

A última etapa do trabalho consiste na elaboração do trabalho de conclusão de curso, de acordo com as normas para elaboração de trabalhos acadêmicos da UTFPR. Serão apresentados todos os passos do desenvolvimento do projeto, assim como uma análise completa dos resultados.

#### 4 CRONOGRAMA

Um cronograma com as etapas do projeto é apresentado na tabela 3. O início se dará no mês de Outubro de 2017, com a etapa de revisão bibliográfica, e a conclusão e defesa do trabalho deverá ocorrer em Julho de 2018.

**Tabela 3: Cronograma de Execução**

<b>Etapas</b>	<b>Outubro</b>	<b>Novembro</b>	<b>Dezembro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Mai</b>	<b>Junho</b>	<b>Julho</b>
<b>1</b>	x	x							
<b>2</b>		x	x						
<b>3</b>			x	x	x				
<b>4</b>						x	x		
<b>5</b>					x	x	x	x	
<b>6</b>									x

1. Revisão bibliográfica
2. Definição e estudo das tecnologias
3. Aplicação dos conceitos teóricos
4. Análise e validação dos resultados
5. Elaboração da monografia
6. Defesa



## REFERÊNCIAS

ANALOG DEVICES. **Poly Phase Multifunction Energy Metering IC with Per Phase Information - ADE7758 Datasheet**. United States of America, 2011. Rev. E.

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) - Módulo 8 - Qualidade de Energia**. Brasília, 2011.

ASSOCIATION, I. S. et al. **1159-2009. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality Industrial and Commercial Applications**. New York: IEEE Press, 2009.

BOLLEN, M. H. J. **Understanding Power Quality Problems - Voltage Sags and Interruptions**. United States of America: John Wiley and Sons, 2002. ISBN 0-7803-4713-7.

DILIGENT INCORPORATED. **Cerebot MX7cK Board Reference Manual**. United States of America, 2013. Rev B.

DUGAN, R. C. et al. **Electrical power systems quality**. United States of America: McGraw-Hill, 2002.

FERREIRA, D. D. et al. Sistema automático de detecção e classificação de distúrbios elétricos em qualidade da energia elétrica. **Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica**, SciELO Brasil, v. 20, n. 1, p. 53–62, 2009.

FITZER, C.; BARNES, M.; GREEN, P. Voltage sag detection technique for a dynamic voltage restorer. In: IEEE. **Industry Applications Conference, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Conference Record of the**. United States of America, 2002. v. 2, p. 917–924.

FONSECA, V. R. d. C. Cálculo estocástico do afundamento de tensão. **PPGEE-11199. PUC-MG**, Belo Horizonte, 1999.

MACHADO, R. N. d. M. et al. Detecção, classificação e quantificação automática de variações de tensão de curta duração para aplicação em análise de pós-operação em sistemas de energia elétrica. Universidade Federal do Pará, 2006.

MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. **PIC32MX5XX/6XX/7XX Family Data Sheet - High-Performance, USB, CAN and Ethernet 32-bit Flash Microcontrollers**. United States of America, 2011. Rev. E.

RAMASAMY, A. K. et al. Dynamic voltage restorer for voltage sag compensation. In: IEEE. **Power Electronics and Drives Systems, 2005. PEDS 2005. International Conference on**. United States of America, 2005. v. 2, p. 1289–1294.

REDE, P. de. Gerenciamento dos indicadores de qualidade da energia elétrica da rede básica. **ONS**, Submódulo 2.8, Brasil, 2011.