

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

RAUL MARTINS ALVES

**PROPOSTA DE SISTEMA PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA
ENERGIA ELÉTRICA FAZENDO USO DE HARDWARE DE BAIXO CUSTO**

CRICIUMA

2013

RAUL MARTINS ALVES

**PROPOSTA DE SISTEMA PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA
ENERGIA ELÉTRICA FAZENDO USO DE HARDWARE DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
para obtenção do grau de Bacharel, no curso de
Ciência da Computação da Universidade do
Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Esp. Sergio Coral

CRICIUMA

2013

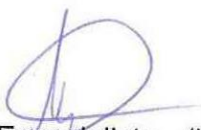
RAUL MARTINS ALVES

**PROPOSTA DE SISTEMA PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA
ENERGIA ELÉTRICA FAZENDO USO DE HARDWARE DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Bacharel, no Curso de Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Automação Industrial.

Criciúma, 26 de Junho de 2013.

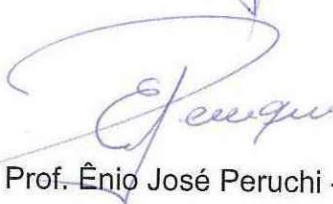
BANCA EXAMINADORA



Prof. Sérgio Coral - Especialista - (UNESC) - Orientador



Prof. Paulo João Martins - Mestre - (UNESC)



Prof. Ênio José Peruchi - Especialista - (UNESC)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela força e coragem, iluminando o caminho durante a jornada acadêmica. O caminho foi longo. Foi difícil. Porém somente obtém êxito, aquele que desprende empenho e se dedica para tal.

Aos meus pais Hamilton e Maria Eliza, um agradecimento especial, pelo apoio incondicional durante todos estes anos. Por terem proporcionado que continuasse os estudos mesmo com todas as dificuldades, desde o começo na Sepé. A conclusão deste curso é para vocês. É de vocês, também. Grande parcela de chegar ao final desta graduação, é por vocês não deixarem desistir nos momentos de dificuldade.

À esposa Laura, um agradecimento mais que especial. Pela força e apoio em todos os momentos de dificuldade. Por toda a ajuda desprendida durante estes anos. Pelas palavras de conforto no meio das madrugadas, quando acordava e vinha dizendo: Tá aí ainda coração. Desliga este computador e vai dormir que está tarde. Pela compreensão nos momentos em que estive ausente, mesmo estando ao seu lado. Sonho que se sonha só, é só um sonho, mas os sonhos que sonhamos juntos, estamos tornando realidade. Muito obrigado, por existir em minha vida coração.

A minha irmãzinha Tamara, obrigado por tudo. Lembro-me do dia em que chegou em casa. Quase cabia em uma caixa de sapatos. Hoje, futura Engenheira Elétrica. Para ti, o céu não vai ser o limite. Aos primos Tiane e Dhérik, saudade do tempo em que morávamos juntos em Santa Maria. A todos os demais familiares contribuíram para esta conclusão de curso.

Ao Claiton, esse amigo que é irmão do coração. Companheiro das madrugadas, e café sem açúcar – combustível para o TCC. Exemplo de cara batalhador, honesto, íntegro e dedicado. Mais ainda que será papai. Este ano promete. Parabéns para nós. E que venha logo o Arthur.

Ao Anderson, grande amigão. O primeiro a conversar na aula de algoritmos, lembra? Exemplo de dedicação e esforço. O cara das tecnologias, voltadas a programação – uma madrugada e está tudo dominado. Esse é fera!

Ao colega Israel Búrigo – vulgo Keko. Grato pelos ensinamentos e dicas. Camaradagem é a marca registrada. Ninja na eletrônica.

Aos colegas Roberto, Lauro, Luiz Ricardo – nosso gerente, companheiros de TCC. Conseguimos! Ao colega Mauro – companheiro de muitos dos trabalhos em

dupla que, como muitos outros buscaram trilhar caminhos diferentes ao longo desta jornada. Aos colegas da UNIFRA de Santa Maria – RS, início da jornada acadêmica na Ciência da Computação.

Aos professores, gostaria de dizer: Momentos como este, só acontecem por conta de vocês! Nossos Mestres. Em especial ao professor Sérgio Coral, orientador e companheiro durante os 18 últimos meses. Obrigado, pelos ensinamentos, conselhos e dicas. A Professora Meri, pelos puxões de orelha durante o desenvolvimento da escrita deste TCC. Um obrigado muito especial para a professora Nina – até hoje vó Nina, e para a professora Marivône – responsáveis pelas primeiras palavras na trilha do caminho do conhecimento, lá na escola Sepé Tiarajú. Não há como esquecer dos mestres do ensino médio no Dom Pedro I, ambas em Quevedos – RS.

Aos colegas de trabalho Muriel e Lucas, que muito incentivaram nos momentos em que a conclusão parecia tão distante. Ao Diordgenes, este chefe camarada, gente muito fina, que muito auxiliou, mesmo que indiretamente, na reta final do desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram durante esta trajetória, e não foram citados, obrigado.

“Não faz sentido olhar para trás e pensar: devia ter feito isso ou aquilo, devia ter estado lá. Isso não importa. Vamos inventar o amanhã, e parar de nos preocupar com o passado.”

Steve Jobs

RESUMO

O problema da avaliação e controle da Qualidade da Energia Elétrica não resulta apenas da grande variedade de perturbações a que rede elétrica está sujeita, mas também aos variados efeitos que estes podem causar, que vão desde sobreaquecimento de máquinas elétricas, vibrações de motores, variações luminosas, oscilações de potência, até interrupções momentâneas de tensão, cujas causas em geral são curto-circuito, de difícil prevenção. Diante deste cenário, este trabalho tem como finalidade propor o desenvolvimento de um sistema para monitorar a qualidade da energia elétrica que chega até os consumidores. Para que fosse possível, foi necessário fazer uso de um *hardware* microcontrolado com o qual é possível realizar uma leitura da rede, em função de um período de tempo, obtendo-se assim os dados necessários, à avaliação. Foi proposto o desenvolvimento de um sistema capaz de realizar tal leitura, por meio um modelo de *hardware* e *software* que em conjunto deverão realizar a tarefa citada. O modelo de *hardware* proposto é composto por um microcontrolador PIC e demais componentes eletrônicos, sendo que este conterá o algoritmo responsável pela obtenção dos valores necessários a geração dos gráficos de avaliação das distorções harmônicas, presentes na rede. Para apresentação dos resultados indica-se a aplicação desenvolvida em linguagem de programação Delphi. Ao final da pesquisa foram executados testes em ambiente controlado, por meio de softwares simuladores, a fim de garantir a eficiência do protótipo. Os resultados apresentados mostraram-se positivos, por se tratar de um protótipo onde um dos principais fatores a considerar era a redução de custos, visto que o custo total do projeto de *hardware*, ficou a mais ou menos 5% do total dos equipamentos similares disponíveis no mercado.

Palavras-chave: Energia Elétrica. Sistema de Monitoramento. Qualidade. Avaliação. Hardware microcontrolado.

ABSTRACT

The problem of evaluation and control of the Power Quality derives not only from the wide variety of disorders that grid is subject, but also the various effects they may cause, ranging from overheating of electrical machines, vibration motor, light variations, power swings, even momentary interruptions voltage whose causes are generally short-circuit prevention difficult. Against this background, this paper aims to propose the development of a system to monitor the quality of the electricity that reaches consumers. To it was possible, it was necessary to make use of a microcontroller hardware with which it is possible to perform a reading of the network according to a period of time, thus obtaining the required data for the evaluation. It has been proposed to develop a system capable of performing such reading, through a model of hardware and software which together perform the task should be cited. The hardware model is proposed comprising a PIC microcontroller and other components, and this contains the algorithm responsible for obtaining the values necessary to generate graphs for evaluating the harmonic distortion present in the network. For presentation of the results indicates the application developed in Delphi programming language. At the end of the study tests were performed under controlled through software simulations in order to guarantee the efficiency of the prototype. The presented results were positive, because it is a prototype where a major factor to consider was the cost savings, since the cost of the hardware design, was more or less 5% of similar equipment available on the market.

Keywords: Electricity. Monitoring System. Quality. Evaluation. Microcontroller hardware.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação de Corrente Contínua e Alternada.	20
Figura 2 – Movimento de cargas elétricas em uma Corrente Contínua.	21
Figura 3 – Movimento de cargas elétricas em corrente alternada.	21
Figura 4 – Gráfico demonstrando período de onda.	23
Figura 5 – Formas de onda alternadas.	24
Figura 6 – Forma de onda senoidal.	25
Figura 7 – Triângulo de Potências.	38
Figura 8 – Diagrama de montagem do módulo <i>emonTx</i>	46
Figura 9 – Arquitetura de um Microcontrolador.	49
Figura 10 – Diagrama de montagem da placa concebida.	51
Figura 11 – Placa de captura dos dados de rede elétrica	51
Figura 12 – Diagrama de Casos de Uso.	52
Figura 13 – Diagrama de Atividades	53
Figura 14 – Diagrama de Sequência.	54
Figura 15 – Algoritmo de captura dos dados da rede elétrica	55
Figura 16 – Desenvolvimento do SMRE	56
Figura 17 – Aplicação para comunicação com Arduino	57
Figura 18 – Leitura da Rede Elétrica	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de materiais utilizados	48
Tabela 2 – Comparativo materiais utilizados X Equipamentos existentes	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Conversor Analógico Digital
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CELPA	Centrais Elétricas do Pará
CI	Circuito Integrado
UCP	Unidade Central de Processamento
CT	Transformadores de corrente
EOS	Estatísticas de Ordem Superior
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
FTDI	<i>Future Technology Devices International</i>
FP	<i>Fator de Potência</i>
Hz	<i>Hertz</i>
IDE	<i>Integrated Development Enviroment</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
NESC	Núcleo de Engenharia em Supervisão e Controle de Sistemas
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica
Pu	Por unidade
QE	Qualidade da energia
QEE	Qualidade da energia elétrica
SAG	Subtensão de curta duração
SEP	Sistema Elétrico de Potência

SMQEE	Sistema para Monitoramento da Qualidade da Energia Elétrica
T	Período
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.3 JUSTIFICATIVA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2 ENERGIA ELÉTRICA	18
2.1 GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA	19
2.2 CORRENTES ELÉTRICAS	19
2.3 TENSÃO.....	22
2.3.1 Tensão alternada senoidal	23
2.4 FREQUÊNCIA.....	23
2.5 FORMAS DE ONDA DA CORRENTE ALTERNADA	24
2.5.1 Onda senoidal.....	24
3 QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA.....	26
3.1 GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO – ASPECTOS RELATIVOS A QUALIDADE.....	30
3.2 RUÍDOS ELÉTRICOS	31
3.3 DISTÚRBIOS DA REDE ELÉTRICA.....	32
3.3.1 Variação de tensão.....	32
3.4 DISTORÇÕES HARMÔNICAS	34
3.5 FATOR DE POTÊNCIA	36
4 TRABALHOS CORRELATOS.....	40
4.1 PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE HARDWARE E SOFTWARE PARA CONTROLE DA QUALIDADE DA ENERGIA NA REDE ELÉTRICA	40
4.2 SISTEMA AUTOMÁTICO DE DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE DISTÚRBIOS ELÉTRICOS EM QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA	41
4.3 SISTEMA PARA O MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA EM CONJUNTO DE CONSUMIDORES EM BAIXA TENSÃO.....	42
5 SISTEMA PARA MONITORAMENTO DA REDE ELÉTRICA	45
5.1 METODOLOGIA.....	47
5.1.1 Desenvolvimento do Hardware	48

5.1.2 Modelagem do Sistema para Monitoramento da Qualidade da Energia Elétrica	52
5.1.3 Implementação e Testes	54
5.2 RESULTADOS OBTIDOS	58
6 conclusão.....	61
REFERÊNCIAS.....	63
Apêndice A – Diagrama de comunicação do SMRE.....	67
Apêndice B – Artigo Científico.....	68

1 INTRODUÇÃO

A Energia Elétrica, desde sua geração, passando pela transmissão e distribuição até o usuário, muitas vezes percorre um extenso caminho, criando grandes possibilidades de surgirem distúrbios, causados por diversos motivos, desde descargas atmosféricas e rompimentos de fios até alterações nas características dos condutores por temperatura (MARTINHO, 2010).

A Qualidade da Energia Elétrica (QEE) sempre foi alvo de preocupação tanto por parte das concessionárias como de seus consumidores. Tal preocupação, que inicialmente se restringia à continuidade do fornecimento, atualmente compreende uma grande variedade de indicadores, que vão desde problemas causados por uma regulação inadequada da tensão, até a interferência em equipamentos eletrônicos sensíveis, causada por fenômenos de mais alta frequência (DECKMANN; POMILIO, 2010). Dessa forma, alguns tipos de falha na qualidade do fornecimento apenas são notados de forma indireta, através de falhas de funcionamento de certos equipamentos (MEHL, 2003).

Se tais problemas não forem resolvidos de forma adequada, poderá haver prejuízos materiais (redução da vida útil ou até queima de equipamentos), bem como ocorrer perturbações físicas nos usuários (incômodo visual em razão do efeito de cintilação, ou incômodo auditivo devido a ressonâncias eletromagnéticas), levando à diminuição da capacidade de produção tanto de equipamentos quanto de pessoas. Além disso, existem as perdas financeiras, que podem chegar a grandes valores quando as falhas acontecem em grandes empresas, mesmo que estas tenham proteções e filtros distribuídos na rede elétrica (DECKMANN; POMILIO, 2010).

Para que a quantidade de falhas que chega ao consumidor final seja a menor possível, torna-se importante o monitoramento da energia elétrica desde sua geração até a entrega. Assim, algumas normas foram criadas por órgãos reguladores como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em seu procedimento de distribuição (PRODIST), e são impostas às empresas de transmissão e distribuição de energia pública, a fim de garantir que estas mantenham suas obrigações (MARTINHO, 2010).

De acordo com Barros *et al* (2011), baseados no Módulo 8 PRODIST, os seguintes parâmetros determinam a qualidade da energia elétrica distribuída: tensão em regime permanente, fator de potência, harmônicos, flutuação de tensão,

desequilíbrio de tensão, variação de tensão de curta duração e variação de frequência.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral propor um modelo de sistema para avaliação da qualidade da energia elétrica que é disponibilizada ao consumidor, fazendo uso de *hardware* de custo reduzido, se comparado ao que há disponível no mercado, para obtenção dos dados.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dentre os objetivos abordados ao longo do desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso, os principais são:

- a) compreender os principais conceitos para avaliar a qualidade da energia elétrica que é disponibilizada aos consumidores;
- b) estudar as normativas para avaliação da qualidade da energia elétrica;
- c) estudar o funcionamento do *hardware* a ser utilizado para obtenção dos dados;
- d) propor a captação dos dados para avaliação da rede elétrica, fazendo uso de um *hardware* microcontrolado de baixo custo;
- e) propor o desenvolvimento de uma aplicação para leitura de dados, gerando gráficos em função do tempo de leitura, correlacionados com os resultados obtidos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os problemas com a qualidade da energia elétrica podem causar sérios prejuízos para as indústrias bem como ao consumidor residencial, tal como danificar equipamentos eletrônicos e desperdício de tempo para a retomada da produção, muito embora os dispositivos industriais tenham proteções e filtros, distribuídos ao longo da rede elétrica.

Os consumidores estão cada vez mais sensíveis e dependentes das operações do sistema de energia elétrica, tanto nos níveis domiciliar e comercial,

como no industrial. Tal situação ocorre devido ao aumento da complexidade das funções que as cargas elétricas desempenham no controle de processos. Ao mesmo tempo em que a alta escala de integração dos componentes fornece melhor performance, processamento rápido e menor consumo de energia, também faz com que o circuito eletrônico se torne mais suscetível às variações da rede elétrica (CAPELLI, 2010).

É cada vez maior a utilização de equipamentos de precisão, e, portanto mais sensíveis, principalmente nas indústrias. Assim, a necessidade de um controle da qualidade de energia se torna mais evidente (BUSNARDO, 1999). Para que isso aconteça, é fundamental que as agências reguladoras, concessionárias, fabricantes de equipamentos e consumidores tenham conhecimento dos fenômenos que afetam a qualidade da energia elétrica (MEHL, 2003).

A complexidade do problema da avaliação e controle da qualidade da energia suprida não se origina somente da grande variedade de perturbações a que o sistema elétrico está sujeito, mas também pelos diversos efeitos indesejáveis que elas podem causar. Tais efeitos se manifestam, por exemplo, com o sobreaquecimento de máquinas elétricas causadas pelas harmônicas, vibrações de motores devido a desequilíbrios, alterações luminosas em razão de flutuações de tensão, até interrupções momentâneas de tensão, cujas causas em geral são curto-circuito que são de difícil prevenção.

Diversas empresas desejam acompanhar as curvas de tensão, de transientes e de correntes harmônicas no ponto de entrega de suas concessionárias. No ambiente de mercado aberto, cresceu muito a importância da qualidade da energia que é entregue, e seu acompanhamento. Diante disso, justifica-se a importância deste trabalho, visando detectar e quantificar os problemas decorrentes da má qualidade da Energia Elétrica que é entregue ao consumidor.

Neste contexto, esta pesquisa foi pioneira dentro da UNESC, propondo um modelo de *software* que faz uso de um *hardware* de custo reduzido, para avaliação e monitoramento da qualidade da energia elétrica que é disponibilizada pelas concessionárias e chega até o consumidor.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por cinco capítulos, sendo o Capítulo 1 uma apresentação do tema proposto, seguida do objetivo geral, objetivos específicos, justificativa e estrutura do mesmo.

No Capítulo 2 há uma breve explanação sobre o surgimento da energia elétrica e suas definições. Relata-se a importância da qualidade da energia elétrica desde sua geração, passando pela sua transmissão e distribuição. São ainda descritos aspectos relacionados à corrente elétrica, tensão, frequência e formas de onda da corrente alternada, itens importantes para compreensão da qualidade da energia.

O Capítulo 3 aborda a questão da Qualidade da Energia Elétrica, sua importância devido à tecnologia utilizada nos equipamentos modernos, tanto em indústrias quanto na área comercial e residencial, além da preocupação atual relacionada à produção e consumo de energia e sustentabilidade do planeta. Apresenta brevemente a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST), fundamentais para a manutenção da qualidade e padrão de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica no Brasil. Traz também os conceitos de ruídos elétricos e distorções harmônicas, sendo estes alguns dos principais tipos de distúrbios da rede elétrica.

No Capítulo 4, serão apresentados os Trabalhos Correlatos, dentre os quais destacamos o protótipo de um Sistema de *Hardware* e *Software* para controle da Qualidade da Energia na Rede Elétrica, desenvolvido no ano de 1999 e submetido a Universidade Federal de Blumenau.

As etapas do desenvolvimento do trabalho serão descritas no Capítulo 5, incluindo detalhes acerca da metodologia utilizada e materiais necessários ao desenvolvimento do protótipo proposto, e resultados obtidos.

Finalizando, no Capítulo 6, será apresentada a conclusão deste Trabalho de Conclusão de Curso, bem como sugestões para trabalhos futuros.

2 ENERGIA ELÉTRICA

A Eletricidade foi descoberta na Grécia antiga pelo filósofo e matemático Tales de Mileto, onde foi observado, pela primeira vez, que uma substância chamada âmbar adquiria a propriedade de atrair pequenos objetos leves quando atritada com pele animal. Esta estranha propriedade recebeu o nome de eletricidade, pois âmbar em grego é *elektron*. No início do século 18 surgiram as primeiras fontes de energia elétrica, e a eletricidade passou a ser desenvolvida e aplicada na sociedade da forma como conhecemos, tornando-se imprescindível para a humanidade (WOLSKI, 2007).

Energia é a propriedade de um sistema que lhe permite realizar trabalho. Pode ter várias formas, tais como química, mecânica, potencial, eletromagnética, elétrica, dentre outras. Essas várias formas de energia podem ser transformadas umas nas outras. A energia elétrica, ou eletricidade, é como se determinam os fenômenos em que estão envolvidas cargas elétricas (AES ELETROPAULO, 2010).

De acordo com Gussow (1996), átomos são constituídos por partículas subatômicas que são: elétrons, prótons e nêutrons. Elétrons e prótons são respectivamente a carga fundamental negativa (-) e positiva (+) da eletricidade. Certos átomos tem a capacidade de fornecer elétrons e outros de receber, tornando possível realizar uma transferência de elétrons de um corpo a outro. Ocorrendo isso, deixa de existir uma igualdade das cargas positiva e negativa em cada corpo. Um conterà excesso de elétrons e sua carga será negativa (-) e o outro conterà um excesso de prótons e sua carga será positiva (+).

Dessa forma, pode-se afirmar que eletricidade é o movimento dos elétrons em excesso. Os elétrons podem movimentar-se como corrente nos fios ou líquidos condutores, fazendo as lâmpadas acenderem ou motores funcionarem, ou podem ainda ficar acumulados na forma de eletricidade estática¹. Quando a carga é grande o suficiente, ela “pula”, como no choque da maçaneta da porta ou no raio durante uma tempestade (ALVES, 2011).

¹ O processo de eletrização dos corpos pode ocorrer de três formas: eletrização por atrito, por contato ou por indução. Eletrização por atrito ocorre quando dois corpos de natureza diferentes se atitam, onde um perde e outro ganha elétrons. Exemplo disso é a eletricidade estática, que ocorre quando se tira uma blusa de lã e ouvem-se estalos ou até observa-se pequenas faíscas, ou quando uma folha de papel gruda na capa plástica de uma apostila (WOLSKI, 2007).

2.1 GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA

Um Sistema Elétrico de Potência (SEP) compreende a capacidade de gerar, transmitir e distribuir energia elétrica acatando os padrões de confiabilidade, disponibilidade, qualidade e segurança com o menor impacto possível. É baseado em usinas que geram e transmitem a energia por intermédio de sistemas de alta tensão até centros de distribuição (LEÃO, 2011).

Durante a geração da energia elétrica uma corrente alternada é produzida, propagando uma onda senoidal, com frequência fixa e amplitude variável de acordo com a modalidade do atendimento em baixa, média ou alta tensão (SÃO PAULO, [20-]). Essa onda senoidal espalha-se pelo sistema elétrico sem sofrer alteração de frequência e modificando a amplitude à medida que trafega pelos transformadores. Ao final desta linha de transmissão o consumidor recebe a energia pronta para o uso (LEÃO, 2011).

A segurança é fundamental para as redes de transmissão. Qualquer falha pode levar a interrupção do fornecimento a inúmeros consumidores. Serão tratados a seguir alguns dos princípios básicos da energia elétrica.

2.2 CORRENTES ELÉTRICAS

Para entender o funcionamento do fornecimento da energia elétrica é necessário conhecer alguns conceitos básicos. Dentre eles, estão as correntes elétricas.

Assim como uma corrente de água é um fluxo de moléculas de água, uma corrente elétrica apresenta-se como o fluxo, ou o movimento das cargas elétricas. Em circuitos compostos por fios de metal, por exemplo, os elétrons contidos nos átomos do metal estão livres para se mexerem na rede atômica. Essa taxa de fluxo elétrico é medida em ampères. A principal função da corrente elétrica é transferir energia de um lugar para outro de forma rápida e conveniente (HEWITT, 2002).

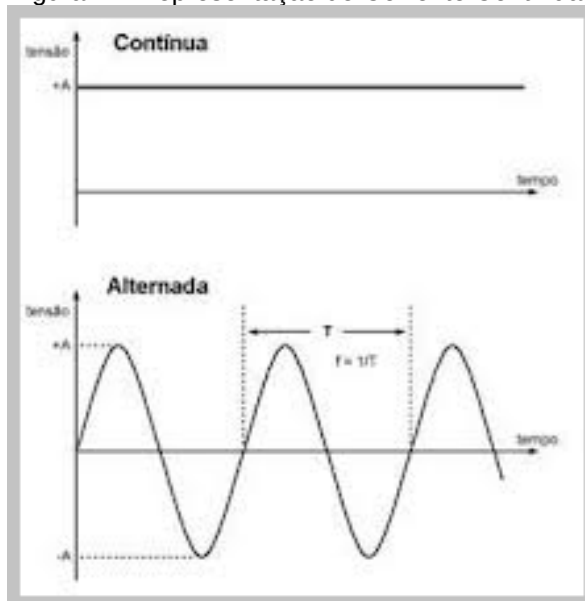
Conforme a Lei de Ohm, uma corrente (i) em um circuito varia de forma diretamente proporcional à diferença de potencial ou voltagem (u) por meio de um circuito e inversamente proporcional à resistência (r) do mesmo, de acordo com a equação que segue:

$$i = \frac{u}{r} \quad (1)$$

No entanto, para que as cargas se movimentem, elas necessitam ser impelidas por um dispositivo de “bombeamento” que cause uma diferença de potencial elétrico, ou seja, uma voltagem (medida em volt). Essa voltagem propicia um tipo de “pressão elétrica”, que move os elétrons pelo circuito que conecta os terminais (HEWITT, 2002).

A Corrente Elétrica pode ser Contínua (CC) ou Alternada (CA), conforme gráfico representado na figura 1. A CC é aquela em que o fluxo de cargas ocorre apenas em um sentido, como ocorre nas baterias. Os terminais das baterias possuem sempre a mesma polaridade. Dessa forma, os elétrons se movimentam sempre do terminal negativo (de onde são repelidos), para o terminal positivo (que os atrai), criando uma corrente que não muda de sentido (HEWITT, 2002).

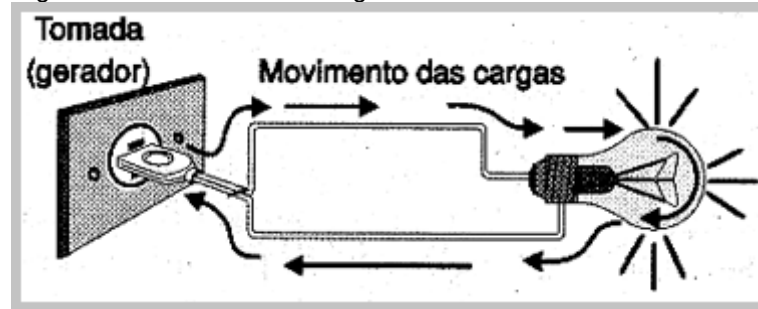
Figura 1 – Representação de Corrente Contínua e Alternada.



Fonte: Hewitt (2002).

Exemplo dessa situação acontece quando um gerador, como uma tomada, cria uma corrente por meio de uma lâmpada. As cargas elétricas são “bombeadas” por um fio, fazendo com que a corrente passe pela lâmpada, onde deixa sua energia, e volte ao gerador para que suas cargas sejam “reaproveitadas” conforme exemplificado pela figura 2. Dessa forma, as cargas estão girando num único sentido (BRAGA, 2005).

Figura 2 – Movimento de cargas elétricas em uma Corrente Contínua.

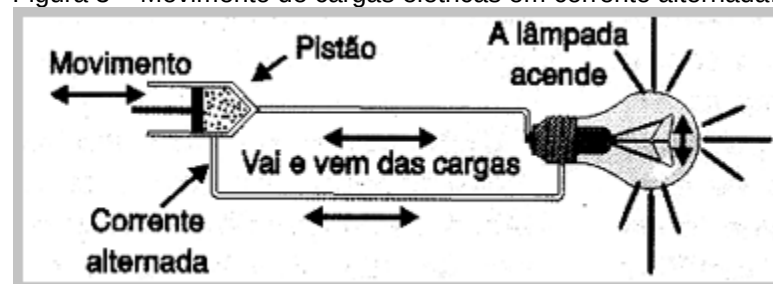


Fonte: Braga (2005).

Já na CA, os elétrons se movem no circuito primeiro para um sentido, depois no sentido oposto, e mantem-se em uma oscilação de sentidos. Tal situação ocorre devido a uma alternância de polaridade da voltagem do gerador ou de outra fonte de voltagem (HEWITT, 2002).

Se em vez das cargas serem “bombeadas”, como na corrente contínua, elas forem movimentadas por um “vibrador” ou um “pistão” que as empurre e puxe pelo fio, o efeito final será o mesmo. Para Braga (2005) quando o vibrador ou pistão pressionar as cargas no sentido delas “irem” e passarem pela lâmpada, haverá entrega de energia e a lâmpada se acenderá. Quando o mesmo voltar e “puxar” as cargas de volta, elas passarão de novo pela lâmpada e deixarão a energia dispendida neste esforço, ou seja, as cargas irão se movimentar para frente e para trás de forma rápida, passando pela lâmpada. Assim, a corrente não é mais contínua, pois inverte constantemente seu sentido ou polaridade, tornando-se alternada. A figura 3 ajuda a ilustrar essa situação:

Figura 3 – Movimento de cargas elétricas em corrente alternada.



Fonte: Braga (2005).

A corrente alternada é a forma mais eficiente de transmissão de energia elétrica tratando-se de grandes distâncias, pois ela possui facilidade para ter o valor da sua tensão alterado por equipamentos chamados transformadores. É dessa forma que ocorre a transmissão de energia elétrica das grandes companhias até os centros

residenciais e comerciais (SILVA, [20--]).

A grande maioria dos circuitos residenciais e comerciais do mundo utiliza-se dos circuitos de corrente alternada. Ao chegar ao local de consumo, a voltagem é reduzida para um valor adequado onde a energia será usada. Na América do Norte normalmente a voltagem é de 120 volts, já a Europa utiliza o padrão de 220 volts, uma vez que a transmissão de potência é mais eficiente quando realizada com altos valores de voltagem (HEWITT, 2002). De acordo com a ANEEL, no Brasil utilizam-se ambos os padrões de voltagem para transmissão da energia elétrica.

Nos domicílios, a energia se comporta da seguinte maneira: a cada instante os polos de uma tomada de energia se alternam entre positivos e negativos, de modo que a corrente "vai e vem" por qualquer aparelho que seja alimentado por ela (BRAGA, 2005).

2.3 TENSÃO

De acordo com Wesley (2002), no Brasil costuma-se empregar o termo "tensão elétrica" ou somente "tensão" para se referir à diferença de potencial. Para melhor entendê-la, pode-se fazer um comparativo com calor e diferença de temperatura. Quando se observa extremidades de um material condutor com temperaturas diferentes, a energia térmica flui da parte mais quente para a mais fria, cessando o fluxo quando ambas chegam a mesma temperatura. De forma parecida, quando as extremidades de um material condutor elétrico estão em diferentes potenciais elétricos, a carga (ou seja, as partículas carregadas) flui de uma extremidade para outra. Assim como com a temperatura, o fluxo das cargas se mantém enquanto houver uma diferença de potencial (WESLEY, 2002).

Para obter um fluxo ininterrupto de carga em um condutor é necessário que um arranjo seja feito, a fim de manter uma diferença de potencial enquanto as cargas fluem de uma extremidade para outra (WESLEY, 2002).

Os níveis de tensão podem ser constantes ou mudarem ao longo do tempo (tensão alternada), oscilando entre valores positivos, acima do eixo dos tempos, e negativos, abaixo do eixo dos tempos (NETTO, 1999).

2.3.1 Tensão alternada senoidal

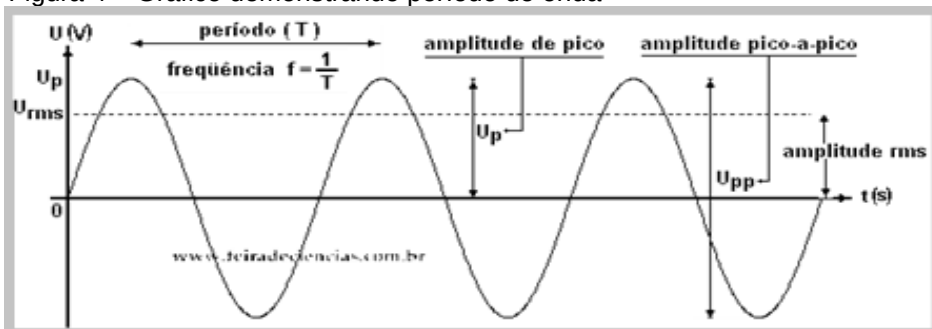
As tensões alternadas senoidais podem ser geradas por diversas fontes, sendo a mais comum aquela utilizada nas residências, fornecida por uma usina geradora, que por sua vez pode ser alimentada por quedas-d'água, óleo, gás ou fissão nuclear. Em todos os casos, um gerador CA, também chamado de alternador (que pode ser uma usina geradora, um gerador CA portátil, ou um gerador eólico, por exemplo) é o componente mais importante do processo de conversão da energia. A energia produzida na fonte é utilizada para girar um rotor envolvido pelos rolamentos de um estator (a parte estacionária do gerador), induzindo uma tensão nos rolamentos deste último. Dessa forma, os terminais de saída recebem uma tensão alternada senoidal que pode ter sua amplitude aumentada consideravelmente para ser distribuída aos consumidores por meio das linhas de transmissão (BOYLESTAD, 2011).

2.4 FREQUÊNCIA

Frequência f é o número de ciclos completos contidos na unidade de tempo. Como cada ciclo se realiza no intervalo de tempo T (período), pode-se dizer que a frequência é o número de períodos necessários para preencher a unidade de tempo, conforme mostrado na figura 4. No Sistema Internacional de Unidades a unidade de tempo é o segundo, e a unidade de frequência é o hertz (Hz). Desse modo, $1 Hz$ é igual a 1 ciclo por segundo (NETTO, 1999).

$$f = \frac{1}{T} \quad (2)$$

Figura 4 – Gráfico demonstrando período de onda



Fonte: Netto (1999).

Na rede elétrica brasileira a frequência da energia elétrica distribuída pela rede pública é de 60Hz, ou seja, ocorrem 60 ciclos de onda por segundo (MARTINHO, 2010).

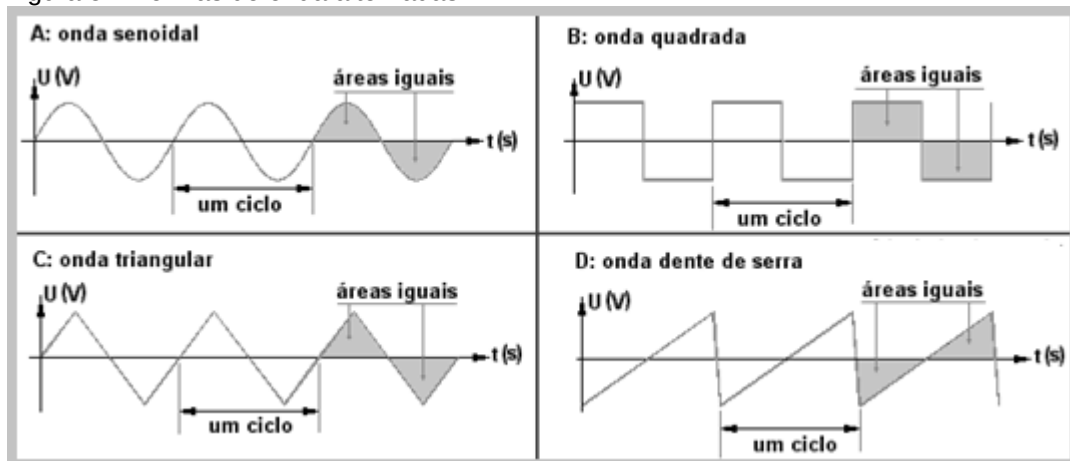
2.5 FORMAS DE ONDA DA CORRENTE ALTERNADA

Nos circuitos de Corrente Alternada a intensidade da fonte varia de forma definida. Essa tensão variante, que é fornecida pelas empresas geradoras de energia, normalmente é chamada de tensão CA. Os geradores encontrados comercialmente podem gerar diversos tipos de ondas alternadas.

As formas de onda alternadas mais comuns são a onda quadrada, encontrada principalmente em no-breaks para computadores, a onda dente de serra, utilizada geralmente em receptores de televisão e radar, a onda triangular e a onda senoidal (BUSNARDO, 1999).

No estudo da eletricidade, a onda senoidal é a de maior importância, visto que é gerada nas usinas de Energia Elétrica de todo o mundo, além de ser usada em vários sistemas elétricos, eletrônicos, de comunicação e industriais. A figura 5 traz exemplos das principais formas de onda alternadas.

Figura 5 – Formas de onda alternadas.



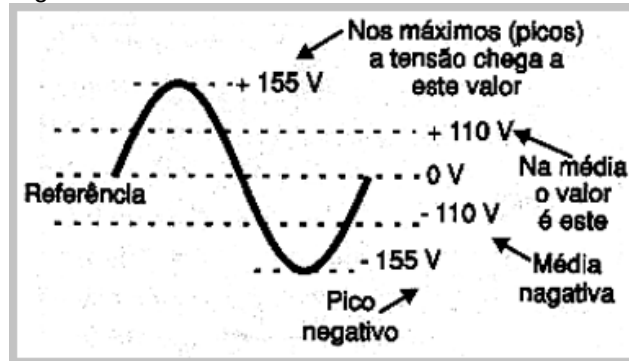
Fonte: Netto (1999).

2.5.1 Onda senoidal

Em um circuito de potência de Corrente Alternada a forma da onda mais utilizada é a onda senoidal, representada por uma curva suave que demonstra como

ocorrem as variações, conforme figura 6. No entanto, ela pode se apresentar de outras formas como, por exemplo, a onda triangular, a onda pulsante e a onda quadrada (SILVA, [20--]).

Figura 6 – Forma de onda senoidal



Fonte: Braga (2005).

A senóide é a única forma de onda alternada cuja formato não se altera ao ser aplicada a um circuito contendo resistores, indutores e capacitores. Ou seja, se a tensão (ou corrente) em um resistor, indutor ou capacitor é senoidal, a corrente resultante (ou a tensão) em cada um também terá características senoidais. Isso não aconteceria com qualquer outro tipo de onda alternada, como as ondas quadradas ou triangulares (BOYLESTAD, 2011).

3 QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

O termo “Qualidade da Energia” (QE), que passou a ganhar maior destaque nos últimos anos, envolve fatores desde a geração, transmissão e distribuição até o consumo da energia elétrica produzida, passando por diversos problemas ligados ao funcionamento de equipamentos, telefonia, dados, entre outros. A QE abrange qualquer variação de amplitude, frequência ou deformação da forma da onda das grandezas elétricas, seja de forma permanente ou transitória, que prejudique o funcionamento de um equipamento elétrico. Os distúrbios da qualidade da energia elétrica acabam, de uma forma ou de outra, prejudicando a produtividade, a segurança de pessoas e até a economia de energia, gerando aumento de custos do produto (MARTINHO, 2010).

A sensibilidade de equipamentos eletrônicos mais modernos aos fenômenos relacionados à QEE preocupa consumidores, concessionárias e distribuidoras de energia. Tal situação ocorre devido a diversos fatores, dentre eles, a variação da forma de onda da tensão encontrada nas instalações elétricas, que pode diminuir a vida útil dos equipamentos; aos componentes de certos equipamentos que são mais sensíveis aos distúrbios e a crescente preocupação pelo uso racional da energia elétrica (BARROS et al, 2011).

Com a evolução da tecnologia, as cargas com características resistivas e reativas puderam ser substituídas por cargas controladas. Os equipamentos elétricos chamados não lineares distorcem a forma de onda de tensão e corrente. O contrário ocorre com as cargas resistivas, indutivas ou capacitivas que, devido ao seu comportamento, são denominados cargas lineares. Nesses casos, embora possa estar defasada da tensão, a corrente na carga linear não altera a forma de onda (BARROS et al, 2011).

Os equipamentos eletrônicos constituem cargas não lineares, pois não são compostos apenas de resistências ôhmicas, indutâncias e capacitâncias e possuem semicondutores. Tomando como exemplo a curva de tensão X corrente de um semicondutor, observa-se descontinuidades em determinados valores de corrente. As correntes presentes nos semicondutores tem formas de onda muito diferentes da tensão aplicada, o que não ocorre com cargas lineares. Como consequência, ocorre a deformação do sinal senoidal entregue à carga, formando os distúrbios (BARROS et al, 2011).

Atualmente, a QE é associada à sustentabilidade do planeta, uma vez que em certos casos o problema causado por uma má qualidade de energia pode gerar o desperdício da mesma, o que provoca preocupações com relação ao excesso da demanda versus escassez de energia. Apesar do grande impacto na indústria, a preocupação com a QE começa a atingir também o comércio e as residências, uma vez que o crescimento da automação está atingindo essas áreas, trazendo ao uso equipamentos sensíveis aos distúrbios (MARTINHO, 2010).

Segundo Martinho (2010), a avaliação dos distúrbios da energia elétrica devem ser estudados em conjunto, pois “podem ser causados por outro distúrbio que, se tratado, pode solucionar o primeiro problema detectado”.

A qualidade da energia elétrica também pode ser percebida de diversas maneiras, dependendo das necessidades de cada usuário. As concessionárias utilizam análises e estatísticas para medir a confiabilidade do suprimento elétrico. Certos fabricantes de equipamentos entendem energia de qualidade como aquela fornecida com níveis de tensão dentro dos parâmetros para os quais seu equipamento melhor funcione. Já o usuário preza a continuidade do serviço. Muitos usuários, em busca da otimização dos trabalhos, utilizam-se cada vez mais de equipamentos de alta eficiência que necessitam maior qualidade no fornecimento da energia elétrica. Além disso, o mercado de meios de comunicação também é um setor preocupante, pois pode ser afetado por estes problemas (MARTINHO, 2010).

Devido ao alto grau de automação, o setor industrial ainda é o que mais se preocupa com a qualidade da energia recebida. Uma falha no fornecimento pode causar a parada ou até queima de equipamentos, gerando grandes prejuízos financeiros. Devido a isso, as equipes de manutenção das empresas estão atentas a certas alterações tais como variação de tensão e presença de harmônicas. No caso do comércio, apesar de possuir nível de automação bem menor do que na indústria, faz uso maciço de computadores e alguns setores, como bancos e telemarketing, podem sofrer graves prejuízos se houver danos em seus sistemas (MARTINHO, 2010).

Quanto ao segmento residencial, a busca por segurança, conforto e facilidades, tem feito com que a QE se torne também importante. O aumento de usuários que trabalham em casa (*home-office*), utilizando equipamentos eletrônicos como computadores, fax e telefonia os torna mais vulneráveis às alterações da rede elétrica. O uso de alarmes monitorados, acionamento elétrico de portas e portões e

centros de controle microprocessados, que cada vez mais fazem parte de casas e condomínios, também sofrem influência da QE (MARTINHO, 2010).

A qualidade da energia elétrica é afetada por diversos fatores, como a alteração do padrão de energia gerado, ou seja, quando há alteração da senóide de frequência constante (que é de 60Hz no Brasil), ruído, harmônica, que podem acarretar na falha ou mal funcionamento de aparelhos elétricos (MARTINHO, 2010).

A QEE também pode ser afetada por outros fatores, como descargas atmosféricas, chaveamentos de grandes cargas, curto circuito. Alguns efeitos podem até se propagar pela rede elétrica, atingindo outras instalações próximas (BARROS et al, 2011).

Assim como ocorre com diversas outras matérias primas, a energia elétrica pode passar por avaliações, como custos de consumo e de interrupção e impactos de poluição, proporcionando um produto de boa qualidade para os consumidores (AYELLO; BERNARDES, 2008).

Um Sistema de Monitoramento da Qualidade da Energia Elétrica (SMQEE) é um sistema centralizado que obtém em tempo real informações de diversos pontos de uma instalação elétrica. Sua base é composta por multimedidores digitais, espalhados ao longo dos circuitos elétricos, uma ou mais estações de trabalho remotas, *software* amigável e uma rede de comunicação, que pode ser desde uma rede telefônica até sistema de rádio ou micro-ondas. As informações devem ser centralizadas para serem interpretadas adequadamente e, assim, monitorar a qualidade da energia detectando intercorrências tanto na rede da concessionária quanto no sistema do próprio usuário (AYELLO; BERNARDES, 2008).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é uma autarquia vinculada ao Ministério de Minas e Energia, criada em 1996, com a função de regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização da energia elétrica no Brasil dentro das políticas e diretrizes do governo federal, onde é responsável pela criação, aplicação e atualização dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST).

O PRODIST, caracteriza-se por ser uma coleção de documentos elaborados com a participação dos agentes de distribuição e de outras entidades e associações do setor elétrico nacional, que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica. Seus principais objetivos são:

- a) garantir que os sistemas de distribuição operem com segurança, eficiência, qualidade e confiabilidade;
- b) propiciar o acesso aos sistemas de distribuição;
- c) disciplinar os procedimentos técnicos para as atividades relacionadas ao planejamento da expansão, à operação dos sistemas de distribuição, à medição e à qualidade da energia elétrica;
- d) assegurar o fluxo de informações adequadas à ANEEL;
- e) disciplinar os requisitos técnicos na interface com a Rede Básica, complementando de forma harmônica os Procedimentos de Rede.

O Módulo 8 do PRODIST segundo a ANEEL (2012), trata da qualidade da energia elétrica. Traz a terminologia, fenômenos, parâmetros e valores de referência relativos à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações na forma de onda de tensão, o que determina mecanismos que possibilitam à ANEEL fixar padrões para os indicadores de QEE. Determina ainda, a metodologia para apuração dos indicadores de continuidade e dos tempos de atendimento, definindo limites e responsabilidades, além da metodologia de monitoramento automático dos indicadores de qualidade. O PRODIST considera alguns aspectos para verificação da qualidade da energia:

- a) tensão em regime permanente;
- b) fator de potência;
- c) harmônicos;
- d) desequilíbrio de tensão;
- e) flutuação de tensão;
- f) variações de tensão de curta duração;
- g) variação de frequência.

Abordam-se na sequência, alguns dos temas anteriormente citados que tratam de assuntos relativos a qualidade da energia elétrica segundo o PRODIST, começando pelos fatores que influenciam no momento da “saída” da energia para distribuição aos consumidores.

3.1 GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO – ASPECTOS RELATIVOS A QUALIDADE

A geração da energia elétrica é o ponto inicial no que diz respeito a qualidade, pois se não estiver dentro dos parâmetros mínimos, poderá acarretar em um efeito cascata chegando com problemas até o consumidor final (MARTINHO, 2010).

A eletricidade pode ser gerada por meio de fontes renováveis de energia (a força das águas e dos ventos, o sol e a biomassa), ou não-renováveis (como combustíveis fósseis e nucleares). No Brasil, onde é grande o número de rios, a energia hidráulica é mais utilizada e apenas uma pequena parte é gerada a partir de combustíveis fósseis, em usinas termelétricas (AES ELETROPAULO, 2010).

Desde a década de 1990, quando os investimentos em geração de energia elétrica começaram a decair, renunciando uma futura falta da mesma no país, muitas regras foram modificadas objetivando remodelar o setor elétrico. A princípio as empresas, antes verticalizadas, foram desmembradas em distribuidoras, transmissoras, geradoras e uma nova categoria, as comercializadoras. Após isso, iniciou-se um programa de privatização (BARROS et al, 2011).

Independente de como a energia é gerada, ela deve seguir os parâmetros de qualidade de energia, que são baseados, por exemplo, no nível de tensão gerado (que pode variar entre certos valores máximos e mínimos) e na forma de onda (na grande parte dos casos deve ser a onda senoidal). A avaliação da frequência também é fundamental para garantir que equipamentos e dispositivos interligados funcionem de forma adequada. No Brasil, a frequência gerada é de 60Hz, podendo variar 5% para mais ou para menos (MARTINHO, 2010).

Já a transmissão da energia é a forma como a mesma é levada do local de geração, através de linhas de alta tensão, até a distribuidora. Nesse momento também se faz importante o cuidado com a manutenção da qualidade, uma vez que as linhas de transmissão muitas vezes precisam atravessar longas distâncias, em sistemas interligados, com vários acidentes geográficos até chegar ao local desejado. Durante a transmissão o principal critério a ser controlado é a manutenção do nível de tensão (MARTINHO, 2010).

As concessionárias, responsáveis pela distribuição da energia elétrica, também detêm a obrigação de manter parâmetros de qualidade. Esta etapa é

fundamental, pois interliga ao consumidor, que sentirá os efeitos de uma energia de baixa qualidade.

Quanto aos problemas encontrados nas distribuidoras, pode haver aqueles relacionados à transmissão, como efeitos da natureza (descargas atmosféricas, queda de árvores) e muitas vezes aqueles gerados pelo próprio consumidor, que também pode influenciar na transmissão, repassando determinados distúrbios para a rede de distribuição e desta para outros consumidores (MARTINHO, 2010).

3.2 RUÍDOS ELÉTRICOS

O ruído elétrico é um dos distúrbios mais difíceis de ser tratado, pois pode se originar a partir de várias fontes e afetar um equipamento de forma significativa. Na avaliação da Qualidade da Energia Elétrica o conceito de ruído elétrico é fundamental. Para Capelli (2010), este é entendido como um sinal de baixa amplitude, normalmente sem frequência estabelecida e que se soma à forma de onda original. De acordo com Martinho (2010, p. 57), pode-se explicar esse fenômeno como:

um sinal elétrico com frequência menor que 200kHz, superpondo-se ao sinal de potência, seja corrente ou tensão, que circula pelos condutores fase ou neutro de uma instalação elétrica, causando problemas na rede. O ruído também pode ocorrer em uma linha de sinais, causando problemas maiores ainda.

Normalmente sistemas que trabalham com valores de tensão muito baixos, como os sistemas de aquisição de dados, podem ter grande prejuízo com distúrbios desse tipo (MARTINHO, 2010).

O ruído pode ser de natureza interna, quando já vem incorporado ao sinal que foi transmitido, ou pode surgir por influências externas, como a indução de um motor, o chaveamento de cargas diretas e até a presença de um equipamento eletromagnético próximo ao sistema. O aterramento, quando mal projetado ou executado, também pode causar ruído elétrico. Os efeitos do ruído podem ser minimizados utilizando-se técnicas adequadas, como melhoria do aterramento, blindagem eletromagnética dos equipamentos e acoplamentos de sinais (indutivo e capacitivo) (MARTINHO, 2010).

Uma forma de ruído elétrico é o *flicker* (ou cintilação), que resulta principalmente das flutuações rápidas de pequena amplitude de tensão, causadas pela flutuação da potência absorvida por equipamentos e pelo chaveamento de cargas de elevada potência (BARROS et al, 2011). Seu efeito mais comum é o tremular da

intensidade de luz, principalmente nas fluorescentes, mas pode causar danos em equipamentos sensíveis, queda de rendimento e oscilação de torque e potência em motores elétricos, além de causar interferências em sistemas de proteção. As principais fontes geradoras de *flicker* são, entre outros, fornos a arco e fornos de indução, laminadores, máquinas de solda e elevadores de grande porte (MARTINHO, 2010).

3.3 DISTÚRBIOS DA REDE ELÉTRICA

Para avaliar as condições operativas de um sistema, duas grandezas elétricas importantes podem ser empregadas: tensão e frequência. No Brasil, a frequência no sistema interligado é de 60Hz. No caso da tensão três características principais devem ser observadas: a forma da onda (que deve ser o mais próxima da forma senoidal), a simetria do sistema elétrico e as magnitudes das tensões dentro dos limites aceitáveis (BARROS et al, 2011).

3.3.1 Variação de tensão

Variação pode ser definida como uma modificação no ponto de origem, ou de algo definido como padrão. No caso da tensão, pode-se entender sua variação como sendo uma alteração do valor de tensão originalmente definido como padrão, podendo variar para mais ou para menos (MARTINHO, 2010).

Toda variação de tensão deve ser compreendida dentro de um período de tempo, o que vai determinar o tipo de variação de tensão existente. Quando a variação de tensão ocorre entre 0,5 ciclo e um minuto, é chamada de variação de curta duração. Já a variação de tensão de longa duração é aquela que acontece por um período maior do que um minuto (MARTINHO, 2010).

A variação de tensão geralmente é expressa pelo valor de porcentagem ou por unidade (Pu) do valor nominal e definida como variação de tensão dentro de determinados limites. Em alguns países há definição da variação de tensão permitida, visto que muitos equipamentos e dispositivos possuem seu funcionamento prejudicado quando a tensão se torna muito alta ou muito baixa. No Brasil a resolução nº 505 da ANEEL especifica os valores permitidos de oscilações. Os parâmetros

máximos de variação de tensão autorizados às concessionárias de energia são em média entre 95 e 105% do valor nominal (MARTINHO, 2010).

3.3.1.1 Spikes

É um evento muito rápido, na ordem de nano segundos. Apresenta-se como uma abrupta elevação da tensão, que pode atingir várias vezes o valor de pico da rede, seguido por queda, também muito rápida. A principal causa de sua ocorrência é o chaveamento de cargas indutivas (motores, contadores, bobinas). Pode ocorrer como um evento único ou cíclico (CAPELLI, 2010).

Martinho (2010) afirma que essa elevação da tensão é causada principalmente por descargas atmosféricas e pode causar um surto induzido (indireto) ou um surto conduzido (direto). No primeiro caso, as descargas elétricas atingem as linhas de transmissão ou distribuição de energia, ou através de indução da descarga em elementos próximos da rede (como árvores ou estruturas metálicas), colocando em risco a rede elétrica. Já no surto conduzido a descarga atmosférica atinge diretamente a instalação ou pontos muito próximos da edificação.

A ocorrência de *spikes* pode causar vários problemas, tais como, queima de semicondutores na etapa de potência, travamento de CPU, corrupção de dados, perda de memória e operações errôneas (CAPELLI, 2010).

3.3.1.2 SAG (Subtensão de curta duração)

É um distúrbio que se caracteriza pela diminuição da tensão de alimentação abaixo do limite mínimo normal, cuja duração não ultrapasse dois segundos, geralmente um a três ciclos de senóide (BARROS et al, 2011).

Em 70% dos casos esse distúrbio ocorre por problemas na própria instalação, mas pode ocorrer também por fatores externos, como uma variação vinda da própria concessionária de energia elétrica. Seu maior efeito é sentido nos equipamentos de tecnologia da informação. Podem acontecer inicializações errôneas (o chamado boot), quebra do ritmo produtivo e até afetar a segurança de determinados sistemas (CAPELLI, 2010).

3.3.1.3 Subtensão

Diferente da SAG, nesse distúrbio a subtensão permanece por um tempo bem maior, podendo durar de alguns minutos a horas. Normalmente ocorre nos períodos do dia em que há maior carregamento da rede elétrica, das 18 às 21 horas, fora do horário de verão, e das 19 às 22 horas no horário de verão. Nestes períodos, há maior consumo de energia devido à iluminação pública e residencial, além do maior uso de chuveiro e eletrodomésticos (CAPELLI, 2010).

3.3.1.4 Swell

É uma rápida elevação da tensão nominal, que dura dois ou três ciclos de senóide. Sua principal causa é a manobra de cargas na rede, como por exemplo, o desligamento de uma carga de baixa impedância em um ramal. Com a ausência dessa carga, por um momento a rede se desestabiliza, formando o *swell* (CAPELLI, 2010).

3.3.1.5 Sobretensão

Em sobretensão, diferente do que ocorre em um *swell*, o aumento da tensão dura mais do que um minuto, podendo chegar até horas. Nesse caso, o valor ultrapassa 10% do valor nominal de tensão, sendo comum chegar a 20% (MARTINHO, 2010).

Esse distúrbio pode causar, dentre outros, sobreaquecimento de motores, queima de placas eletrônicas e acionamento de sistemas de proteção (como disjuntores e fusíveis). Uma boa solução para o problema é o uso de estabilizadores de tensão (CAPELLI, 2010).

3.4 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

Ao contrário de muitos distúrbios de qualidade de energia, que são temporários, a harmônica é de natureza constante. É uma alteração causada por cargas não lineares, que começou a surgir na década de 1980 quando as indústrias passaram a utilizar a automação de forma mais intensa. Com o aumento do número de equipamentos não lineares, percebeu-se que as formas de onda não estavam mais

senoidais, fazendo com que os equipamentos alimentados pela rede começassem a funcionar de forma inadequada, pois dependiam da senóide para se alimentar e esta, vinha deformada (MARTINHO, 2010).

O termo harmônica é utilizado para representar a distorção de uma forma de onda senoidal, ou seja, uma senóide com frequência fundamental de 60Hz, se distorcida ou descaracterizada, pode conter componentes harmônicos. De forma mais clara, pode-se tomar como exemplo uma onda senoidal de frequência fundamental 60Hz, que se somada a ondas de frequências diferentes tem sua forma inicial distorcida, deixando de ser uma senóide, transformando-se simplesmente em um sinal periódico (MARTINHO, 2010).

Baptiste Fourier demonstrou que qualquer forma de onda pode ser gerada a partir da soma de senóides, desde que utilizadas amplitudes e frequências apropriadas. Assim, uma onda complexa também pode ser decomposta nas senóides que a geram (CAPELLI, 2010).

De acordo com Barros et al (2011, p. 39), a distorção harmônica:

mede a perturbação do sinal na saída, após ele passar por todo o equipamento, em relação ao sinal aplicado na entrada do aparelho. A distorção do sinal é gerada pelo acréscimo de frequências múltiplas do sinal fundamental que surgem devido a não linearidade de alguns componentes presentes nos circuitos.

Segundo Capelli (2010), podem ser classificadas de acordo com sua ordem sendo, o número que expressa a deformação da forma de onda, múltiplos da frequência fundamental. Pode chegar até a ordem do infinito, porém a partir da 13ª ordem considera-se como desprezível, pois não gera influências significativas.

As distorções harmônicas podem gerar diversos problemas, tais como disparo de dispositivos de proteção (como disjuntores e relés térmicos), ressonância, queda na tensão eficaz e do fator de potência e interferências eletromagnéticas, que podem ser transmitidas por fios e cabos ou irradiadas pelo ar (CAPELLI, 2010). Além desses, Barros et al (2011) afirma que podem ocorrer ainda sobrecarga dos condutores neutro devido à presença de harmônicas de 3ª ordem que se somam algebricamente no neutro, sobrecarga, envelhecimento e queima de capacitores e fusíveis e perturbação das redes de comunicação e linhas telefônicas.

O Módulo 8 do PRODIST da ANEEL apresenta os valores limites globais para a distorção harmônica. Tais valores devem ser considerados como referência

para planejamento elétrico em termos de qualidade de energia elétrica (BARROS et al, 2011).

Os efeitos das harmônicas podem causar um impacto econômico relevante, pois provocam o envelhecimento precoce dos materiais utilizados, sobrecarga na rede obrigando ao aumento da potência podendo acarretar em um custo adicional pela contratação do serviço de fornecimento de energia, deformações da corrente provocando disparos súbitos ou até parada das instalações de produção (SCHNEIDER; PROCOBRE, 2003).

3.5 FATOR DE POTÊNCIA

O desenvolvimento tecnológico, juntamente com o crescimento da indústria e do mercado consumidor mudou a característica do sistema elétrico, com a introdução cada vez mais intensa de motores e reatores que consomem um tipo de energia chamada reativa (BARROS et al, 2011).

Um consumo racional de energia elétrica pode ocorrer quando há a compensação da energia reativa pela correção do fator de potência, mesmo quando não se pode aplicar os ajustes da tarifa. Assim, pode-se economizar energia utilizando-se a capacidade máxima das instalações elétricas em função da redução da energia reativa consumida do sistema (BARROS et al, 2011).

As formas de onda da corrente e da tensão podem apresentar-se de formas diferentes em função do tipo de carga alimentada. As cargas existentes podem ser classificadas como resistivas, indutivas e capacitivas (BARROS et al, 2011).

- a) **cargas resistivas:** a resistência elétrica R é definida como a oposição que o circuito condutor oferece à circulação da corrente. É representada por:

$$R = \frac{V}{i} \quad (3)$$

Onde (V) é a Tensão em volt e (i) corresponde a Corrente, medida em ampère, quando ocorrem cargas resistivas as senóides da tensão e da corrente passam pelos pontos máximo, zero e mínimo ao mesmo tempo. Neste caso as senóides estão em fase (BARROS et al, 2011).

- b) **cargas indutivas:** ao circular por uma bobina, a corrente alternada provoca a autoindução, ou seja, induz tensão em si mesma. A tensão auto induzida retarda a circulação da corrente elétrica. Essa resistência à circulação da corrente é chamada de reatância indutiva (XL), medida em ohm e expressa por:

$$XL = \omega L = 2\pi fL \quad (4)$$

Sendo que f é a frequência medida em *hertz*, L corresponde a indutância da bobina e $\omega = 2\pi f$, diz respeito a frequência angular representada em [rad/s].

- c) **cargas capacitivas:** os capacitores são elementos do circuito que acumulam eletricidade e impõem resistência à circulação da corrente alternada. Essa situação é chamada de reatância capacitiva, representada por XC , como demonstrado abaixo:

$$XC = \frac{1}{\omega C} \quad (5)$$

Onde C corresponde a capacitância em farad, $\omega = 2\pi f$ é a frequência angular em [rad/s] e f frequência medida em Hz.

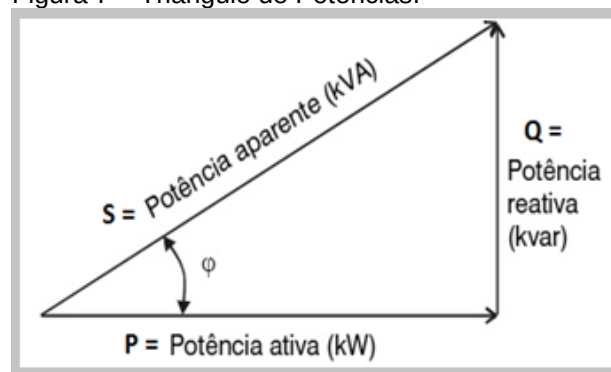
- d) **potência:** a potência absorvida por uma carga é representada pelo produto da tensão pela corrente. Nas cargas resistivas toda a potência absorvida da rede é transformada em trabalho. Em um circuito resistivo ocorre uma potência ativa, cujo produto da tensão pela corrente é sempre positivo (BARROS et al, 2011). Essa potência é medida em W ou kW. Já as cargas com comportamento reativo (sejam indutivas ou capacitivas), precisam de uma corrente e de uma potência chamada reativa, que é absorvida pela rede e não realiza trabalho (MARTINHO, 2010). É expressa em VAR ou kVAR. Esse tipo de potência provém do consumo de corrente que circula pelos condutores elétricos e ocupa um espaço no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa (BARROS et al, 2011).

De acordo com Wolski (2007), a maioria das cargas existentes nas unidades consumidoras consome energia reativa indutiva (como motores e transformadores). As cargas indutivas utilizam dois tipos de potência:

- a) potência ativa (P): aquela que realmente realiza trabalho, produzindo calor, luz, entre outros;
- b) potência reativa (Q): utilizada somente para manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas.

Fator de potência é a razão entre a potência ativa e a potência aparente - ou reativa. Quanto maior o fator de potência, maior a eficiência energética. Para se entender o fator de potência, é utilizado um triângulo retângulo que representa as potências e as relações que ocorrem entre elas, como representado na figura 7.

Figura 7 – Triângulo de Potências.



Fonte: Barros et al (2011).

Observa-se que o fator de potência também pode ser representado pelo cosseno do ângulo entre a potência ativa e a aparente, sendo esta na verdade, a potência total do circuito WOLSKI (2007). Quando a potência reativa é muito pequena, o ângulo ϕ se aproximará de 0° . O cosseno de 0° é 1, então quanto menos cargas reativas mais próximo de um (1) será o fator de potência (BARROS et al, 2011).

Pode ser visto como o fator pelo qual a potência aparente é multiplicada para se obter a potência real. Seu valor varia entre zero e um. Um fator de potência adiantado quer dizer que a corrente está adiantada em relação à tensão, o que gera uma carga capacitiva. Já um fator de potência atrasado significa que a corrente está atrasada, gerando uma carga indutiva (ALEXANDER; SADIKU, 2003).

Segundo Martinho (2010), os países buscam estabelecer valores mínimos de fator de potência a que um circuito pode operar, a fim de que os sistemas sejam melhor aproveitados. Segundo a resolução 414 da ANEEL, o Brasil estabeleceu um

valor de 0,92, e determina que a concessionária pode cobrar uma espécie de multa para valores abaixo do estabelecido (ANEEL, 2000).

O fator de potência influencia no valor da conta de energia elétrica. Muitos eletrodomésticos são indutivos e funcionam com um baixo fator de potência atrasado. Mesmo que a natureza indutiva da carga não possa ser alterada, pode-se aumentar seu fator de potência. Para que esse valor seja aumentado sem mudar a tensão ou corrente utiliza-se a correção do fator de potência, através da instalação deliberada de um capacitor em paralelo com a carga (ALEXANDER; SADIKU, 2003).

A correção do fator de potência pode trazer vários pontos positivos, dentre eles a redução das perdas por aquecimento nos transformadores e circuitos, diminuição de custos da utilização de energia elétrica e aumento dos níveis de tensão, podendo corrigir possíveis distorções (BARROS et al, 2011).

De acordo com a concessionária de energia elétrica de Santa Catarina Celesc (2013), o fator de potência e o fator de carga são índices que demonstram se a utilização da energia é eficiente e se existem possibilidades de melhoria. Para melhorar o FP deve-se reduzir o consumo de energia reativa, ou seja, solicitar menos energia reativa da concessionária. Também indica duas alternativas para sua correção:

- a) adoção de medidas operacionais a fim de manter o correto dimensionamento e utilização de motores, transformadores ou outros equipamentos.
- b) instalação de capacitores.

É importante destacar que embora a eliminação de parte das distorções com as devidas medidas operacionais não seja, o suficiente para melhorar o FP a níveis desejados, a mesma deve ser sempre utilizada antes da opção pela alternativa da instalação de capacitores, devido a razões econômicas e de segurança. Torna-se possível com estas medidas a redução cobrança da energia e demanda reativa excedentes, redução das perdas de energia elétrica, redução do aquecimento de condutores, redução das variações de tensão, redução da sobrecarga dos transformadores (CELESC, 2013).

4 TRABALHOS CORRELATOS

Diversas pesquisas são realizadas na área da tecnologia aplicada. Dentre estas, relacionaremos nos tópicos subsequentes algumas que compreendem assuntos relacionados ao trabalho proposto. Neste item serão apresentados alguns trabalhos encontrados, ou que foram utilizados em experimentos, que se enquadram de alguma forma com o tema monitoramento da qualidade de energia elétrica.

4.1 PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE HARDWARE E SOFTWARE PARA CONTROLE DA QUALIDADE DA ENERGIA NA REDE ELÉTRICA

Trata-se de um Trabalho de Conclusão de Curso, escrito por Daniel Busnardo, submetido à Universidade Federal de Blumenau, no ano de 1999, descreve o desenvolvimento de um equipamento objetivando o controle de qualidade da energia da rede elétrica. Trata-se de um aparelho formado por *hardware* e *software*, criado para coletar dados sobre a energia na rede elétrica. Foi desenvolvido também um *software* em ambiente Delphi a fim de receber as informações colhidas por meio da porta serial de um microcomputador e fazer um tratamento destas informações, gerando dados referentes à QEE verificada.

Com as medições realizadas pelo equipamento desenvolvido, pode-se avaliar a qualidade da energia elétrica e possíveis melhorias em suas instalações, além de outras utilizações, como alterações do mesmo para acionamento de um mecanismo de segurança quando houver oscilações de energia (BUSNARDO, 1999).

O autor justifica o desenvolvimento do trabalho devido à necessidade de equipamentos para controle da QEE e a experiência adquirida durante sua construção, podendo ser voltada para a automação industrial. Seus objetivos principais, além do desenvolvimento do equipamento microcontrolado, foram estudar a integração entre *hardware* e *software* e desenvolver uma técnica de medição do controle de qualidade da energia.

O equipamento criado pode avaliar a distorção da forma de onda, armazenando, dessa forma, somente as informações mais relevantes, o que não ocorre em aparelhos semelhantes. Tal aparelho também tem por função registrar o nível da tensão da energia elétrica quando existe alteração da mesma. Como o

equipamento avalia os dados antes de armazená-los, ele utiliza uma porção menor de memória, ampliando sua capacidade de armazenamento (BUSNARDO, 1999).

O sistema é formado por um coletor de dados (*hardware* que realiza a verificação da rede elétrica) e por um *software* que é executado em um microcomputador. O coletor é ligado a uma tomada da rede elétrica e após algum tempo verificando as oscilações, é ligado ao computador, para onde são transmitidas as informações colhidas. Assim, pode-se visualizar as leituras realizadas, como tensão máxima, mínima e média (BUSNARDO, 1999).

O *hardware* usado no coletor de dados é formado basicamente pelos seguintes itens: um microcontrolador para gerenciar o sistema, uma memória externa ao microcontrolador, um conversor analógico-digital - ADC (para realizar a leituras de tensão) e um sistema para compatibilizar a comunicação serial entre o microcontrolador e o computador (BUSNARDO, 1999).

Segundo Busnardo (1999), os resultados finais foram satisfatórios, uma vez que o equipamento funcionou quase 100% dentro do que era esperado. Uma das dificuldades encontradas foi com relação à escassez de bibliografia que trouxesse metodologia para o desenvolvimento do *hardware* integrado com o *software*. Outra questão foi relacionar a funcionalidade do circuito integrado sem elevar o custo do *hardware*.

4.2 SISTEMA AUTOMÁTICO DE DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE DISTÚRBIOS ELÉTRICOS EM QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

Artigo escrito por Danton Diego Ferreira, Augusto Santiago Cerqueira, Cristiano Augusto Gomes Marques, Carlos Augusto Duque e Moisés Vidal Ribeiro, publicado na Revista Controle & Automação / Vol. 20 no. 1 do ano de 2009, trata que, o aumento do uso de dispositivos computadorizados e sensíveis às perturbações da rede elétrica tem exigido cada vez mais rigor na QEE. No Brasil o governo se empenha para regulamentar os padrões de qualidade de energia elétrica, principalmente no que diz respeito à transmissão e distribuição.

Dentre os problemas da rede elétrica trazidos nesse artigo, destacam-se a interrupção do processo de produção e baixa velocidade nas redes de computadores, que pode gerar prejuízos principalmente para a indústria. Diante disso, o desenvolvimento e aperfeiçoamento de sistemas de monitoramento da QEE,

principalmente para a detecção e classificação de distúrbios, justifica a elaboração deste trabalho.

A detecção aparece como primeira etapa no sistema de monitoramento da QEE, acarretando uma correta análise do problema e sua adequada classificação. Diversas técnicas fundamentadas na transformada wavelet, FFT (*Fast Fourier Transform*) e inteligência computacional têm sido utilizadas na detecção de distúrbios em QEE. Neste trabalho é proposto um sistema de detecção e classificação de distúrbios em QEE (FERREIRA et al, 2009).

Tal sistema se baseia na utilização de parâmetros de estatísticas de ordem superior (EOS), tanto para detectar quanto para classificar os distúrbios elétricos abordados. Este tipo de abordagem foi escolhido porque as EOS não são afetadas pelo ruído, resultando em um elevado desempenho, já observado em aplicações anteriores QEE (FERREIRA et al, 2009).

Para validação do sistema proposto foram utilizados 3500 eventos simulados, divididos de forma igual entre as seguintes classes: afundamentos de tensão, elevações de tensão, *spikes*, *notches*, harmônicos, transitórios oscilatórios e sinais sem distúrbios.

Esta aplicação se destaca pois o método proposto pode ser muito útil em aplicações com alto nível de ruído, uma vez que é imune aos parâmetros EOS utilizados. Outra vantagem deste sistema é sua utilidade em aplicações em tempo real (*on line*) em razão do pequeno número de operações matemáticas necessárias na fase de operação (FERREIRA et al, 2009).

Segundo os autores do trabalho, os resultados gerais demonstram que o sistema proposto é apropriado para avaliação da QEE, pois apresenta índices de 100% de detecção com 0,2% de falso alarme e uma eficiência global de 100% para a classificação das classes de distúrbios considerados.

4.3 SISTEMA PARA O MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA EM CONJUNTO DE CONSUMIDORES EM BAIXA TENSÃO

Este trabalho desenvolvido por um grupo de pesquisadores da NESC - Núcleo de Engenharia em Supervisão e Controle de Sistemas no ano de 2001, teve sua pesquisa financiada pela concessionária CELPA – Centrais Elétricas do Pará por intermédio do Programa de P&D do Setor Elétrico, apresenta um sistema de

monitoramento da qualidade de energia em rede de distribuição urbana (BECERRA, et al, [20--]).

O sistema consiste em um conjunto de unidades monitoradoras, instaladas nas entradas dos consumidores, que avaliam os índices de continuidade individuais. Descreve-se também o *software* responsável pela comunicação entre as unidades monitoradoras, concentradores e Centro de Supervisão da Concessionária, permitindo avaliar os índices de continuidade do conjunto de consumidores (BECERRA, et al, [20--]).

O projeto consiste em dois subsistemas: Físico, *hardware* do instrumento de monitoramento de qualidade de energia elétrica, computador, circuitos e enlaces de comunicação; e Lógico *software* Analisador QE, escrito em *assembly* do microcontrolador 68HC11 que controla a operação do instrumento e o SOFTCOM, programa desenvolvido em Visual Basic 5.0, responsável pela aquisição, tratamento e transmissão remota das informações (BECERRA, et al, [20--]).

O instrumento desenvolvido tem a finalidade de coletar as informações necessárias para o cálculo dos índices estabelecidos no contrato de concessão de distribuição. Para medir a qualidade de energia de um conjunto de consumidores, onde os diversos instrumentos podem ser conectados, formando uma rede que deverá estar interligada a um concentrador principal. As informações recebidas constituirão ferramentas poderosas para o planejamento, operação e projeto da rede de distribuição (BECERRA, et al, [20--]).

A validação do funcionamento do programa SoftCom, mediante testes de todas as suas funções básicas foi realizada em laboratório. O sistema de monitoramento foi avaliado em projeto piloto com 24 consumidores residenciais, industriais e comerciais; com as unidades monitoradoras expostas ao tempo (BECERRA, et al, [20--]).

Segundo Becerra et al ([20--]), o SoftCom incorporou diversas funções que vão desde o cálculo dos indicadores de qualidade até o gerenciamento de uma rede de unidades monitoradoras, instaladas em diversas unidades consumidoras. O desempenho destas tarefas foi testado por meio de simulações experimentais em laboratório, mostrando-se satisfatório. Apesar de não existirem até o momento regulamentações por parte da ANEEL quanto à conformidade de tensão, o *software* desenvolvido permite a avaliação das variações sustentadas de tensão bem como a

determinação dos níveis de distorção harmônica no nível de tensão da concessionária.

5 SISTEMA PARA MONITORAMENTO DA REDE ELÉTRICA

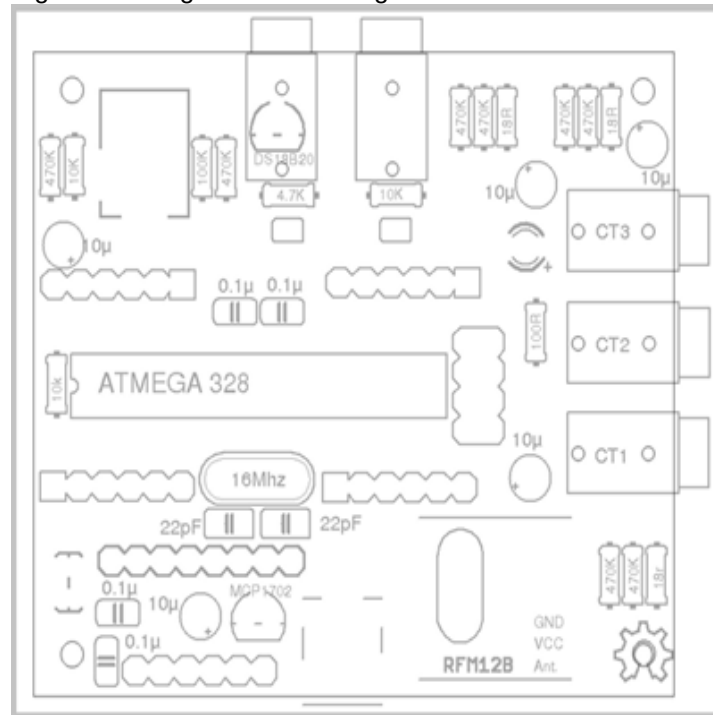
Este trabalho teve como finalidade propor o desenvolvimento de um sistema para monitorar a qualidade da energia elétrica. Para que fosse possível, foi preciso fazer uso de um *hardware* microcontrolado, o qual propicia uma leitura dos dados necessários, como por exemplo, corrente e tensão, objeto de estudo neste projeto de pesquisa.

Para o desenvolvimento do projeto em sua estrutura de *hardware*, utilizar-se-ia o módulo *emonTx*, pois é baseado no microcontrolador Atmega328, fabricado pela *Atmel* – o mesmo utilizado nos Arduino² atuais. Projetado para ter entradas de até 3 CT, que são sensores de transformação de corrente utilizados para medição de corrente alternada, e medidor de pulso de saída. Podendo ser alimentado por duas pilhas AA funcionando a 3.3V ou por meio de conexão USB/FTDI de 5V, o qual é utilizado também para fazer sua programação. O módulo *emonTx* é constituído basicamente por uma PCB, que é um "*Printed circuit board*", ou seja, placa de circuito impresso, um conjunto de resistores e capacitores cerâmicos e eletrolíticos, regulador de tensão, fonte de alimentação, modulo para comunicação *wireless*, conforme pode-se observar no diagrama de montagem apresentado pela figura 8.

Contudo, por tratar-se de um equipamento a ser adquirido no exterior, tornou-se inviável de obtê-lo, devido ao custo final do material necessário à montagem do módulo, acrescido de tributos alfandegários e entrega internacional, visto que um dos objetivos principais deste projeto, é a redução de custos. Outro fato determinante, foi o longo período de espera até que estes equipamentos originários da Inglaterra, chegassem até o destino. Soma-se ao tempo de espera, além do período de processamento compreendido entre compra e aprovação de pagamento, o destinado ao transporte internacional, mais período de retenção com a Aduana – Órgão oficial que trata de entrada e saída de mercadorias do exterior.

² Arduino é uma plataforma que foi construída para proporcionar a interação física entre o ambiente e o computador utilizando dispositivos eletrônicos de forma simples e baseada em *softwares* e *hardware* livres. Basicamente, consiste em uma placa de circuitos com entradas e saídas para um microcontrolador AVR, um ambiente de desenvolvimento e o *bootloader* que já vem gravado no microcontrolador (CAVALCANTE *et al*, 2011).

Figura 8 – Diagrama de montagem do módulo *emonTx*



Fonte: Chilton (2012).

Diante destas dificuldades, optou-se então, por produzir uma placa com características funcionais semelhantes. A placa concebida, é composta pelos componentes eletrônicos listados a seguir: microcontrolador PIC, isolador óptico, capacitores, resistores, diodos, cristal, regulador de tensão, transformador 220V para 2.5V, fonte de celular para alimentação da placa, equipamentos estes, os quais serão detalhados na sequência.

Pode-se citar alguns equipamentos semelhantes ao desenvolvido durante este trabalho, os quais se dispõem no mercado, como por exemplo, o Multimetro Avançado SEL-734, e SEL-735 fabricados pela *Schweitzer Engineering Laboratories*, empresa norte-americana sediada em Pullman, Washington teve sua fundação em 1982 por Edmund O. Schweitzer, atuante no ramo de equipamentos, soluções e engenharia elétrica.

Outro exemplo de equipamento é a família de analisadores PowerNET P-300, PowerNET P-600 e PowerNET PQ-600, homologados pela ANEEL, e fabricados pela IMS empresa brasileira, fundada em 1981 com sede em Porto Alegre/RS especializada em produtos para supervisão e controle da energia elétrica. Seus produtos monitoram a quantidade e a qualidade da energia utilizada, permitindo que seus clientes otimizem os gastos com energia elétrica.

Dentre outros no mercado, citamos aqui o CNTH 8800, fabricado pela Cennatech Ind e Comércio Ltda, empresa nacional fundada em 2007, sediada em Guarulhos/SP, propõe uma solução de medição de faturamento e Monitoramento da Qualidade de Energia, tendo como principal benefício a verificação dos valores de consumo/demanda, bem como verificar os índices de qualidade de energia, que dependendo da situação, podem afetar, significativamente, o perfil de funcionamento do processo industrial e produtivo.

5.1 METODOLOGIA

Para viabilizar o desenvolvimento deste projeto de pesquisa, inicialmente consistiu no levantamento do material bibliográfico necessário à elaboração do referencial teórico, em livros, artigos e publicações, por meio de pesquisas as bases científicas e biblioteca da UNESC.

Feito o levantamento preliminar, partiu-se para a elaboração do referencial teórico, onde foram abordados os principais fatores a serem considerados quando se propõe a realizar uma avaliação da qualidade da energia elétrica, como por exemplo, frequência, tensão e corrente. Dentre os conceitos, abordados nesta pesquisa, citam-se os distúrbios mais comuns a afetar a qualidade da Energia Elétrica, como ruídos elétricos, variação de tensão e distúrbios das harmônicas, sendo que distorções harmônicas é o foco deste estudo e avaliação da qualidade da energia elétrica.

A etapa seguinte, baseou-se na fase da construção do *hardware* e implementação do sistema proposto, onde foram colocados em prática os conceitos abordados durante o projeto de pesquisa, ou seja, a parte prática deste trabalho de conclusão de curso. Como alavanque desta etapa, foram realizadas pesquisas no que diz respeito aos componentes que seriam utilizados, para que fosse possível desenvolver a placa proposta à captura dos dados relativos a rede elétrica para avaliação, bem como as metodologias empregadas, para possível viabilizá-la.

Também realizou-se o levantamento de requisitos funcionais e não funcionais do sistema, passo inicial que norteia a implementação da aplicação que foi desenvolvida.

5.1.1 Desenvolvimento do Hardware

Para que a placa proposta fosse desenvolvida, foram utilizados os materiais descritos abaixo, através da tabela 1, dentre os quais serão descritos brevemente alguns dos componentes utilizados no desenvolvimento do projeto de *hardware*.

Tabela 1 – Lista de materiais utilizados

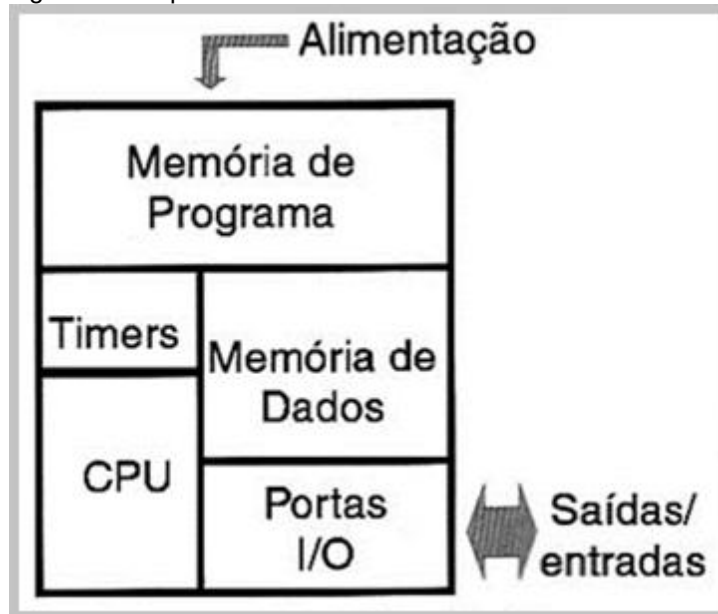
Quantidade	Descrição
1	Microcontrolador – PIC16F876A
1	Isolador óptico – OPTO TIL111
2	Capacitor 33pf
3	Capacitor 100nf
1	Resistor 10k
2	Resistor 22k
1	Resistor 100k
1	Resistor 150k
4	Diodo 1n4007
1	Cristal 12.8Mhz
1	Regulador de tensão 7805
1	Transformador 220v para 2.5v
1	Arduíno Uno

Fonte: Do autor

- a) microcontrolador – PIC: microcontroladores são *chips* inteligentes formados por um circuito processador que possui entradas, saídas e uma memória, conforme arquitetura representada na figura 9. O que será apresentado em suas saídas depende do tipo de sinal que é aplicado nas entradas e do programa que está gravado na sua memória. O que diferencia os diversos tipos de microcontroladores é a sua capacidade de memória, que pode variar de algumas centenas de *bytes* a centenas de milhares de *bytes*, dependendo da utilização, a arquitetura, a velocidade e a alimentação (BRAGA, [20-]). Dessa forma, para se elaborar o projeto foi necessário selecionar

um microcontrolador que possuísse as características necessárias para tal;

Figura 9 – Arquitetura de um Microcontrolador.



Fonte: Braga ([20--]).

- b) isolador óptico: consiste em um LED e um receptor que, dependendo da aplicação do dispositivo pode ser um foto-diodo ou um foto-transistor, por exemplo. Quando o LED recebe um sinal elétrico, transforma-o em luz, e transfere pelo espaço para o foto-sensor, sendo que pode atingir tensões muito altas, pois este não mantém contato elétrico. Pode ser usado de maneira analógica e digital. Na forma analógica, o sinal a ser transferido do LED para o sensor deve manter sua forma de onda e fase. Já na forma digital, o pulso de luz que o LED produz ao receber o comando externo representa um bit ou então simplesmente uma mudança do nível lógico que vai controlar um circuito externo (BRAGA, 2010);
- c) reguladores de tensão: mantém a tensão de saída constante mesmo havendo variações na tensão de entrada ou na corrente de saída. Podem ser implementados como componentes discretos ou obtidos na forma de circuito integrado. Os reguladores de tensão na forma de CI são mais precisos e tornam o circuito mais compacto, pois ocupam menos espaço. Existem vários tipos de reguladores de

tensão, entre eles os CI da série 78XX para tensão positiva e os da série 79XX para tensão negativa (WENDLING, 2009).

De acordo com Wendling (2009), as principais características dos reguladores de tensão da família 78XX são:

- máxima tensão de entrada: 35V;
- Tensão mínima de entrada deve ser aproximadamente 3V, acima da tensão de saída;
- Máxima corrente de saída: 1A
- Máxima potência dissipada: 15W.

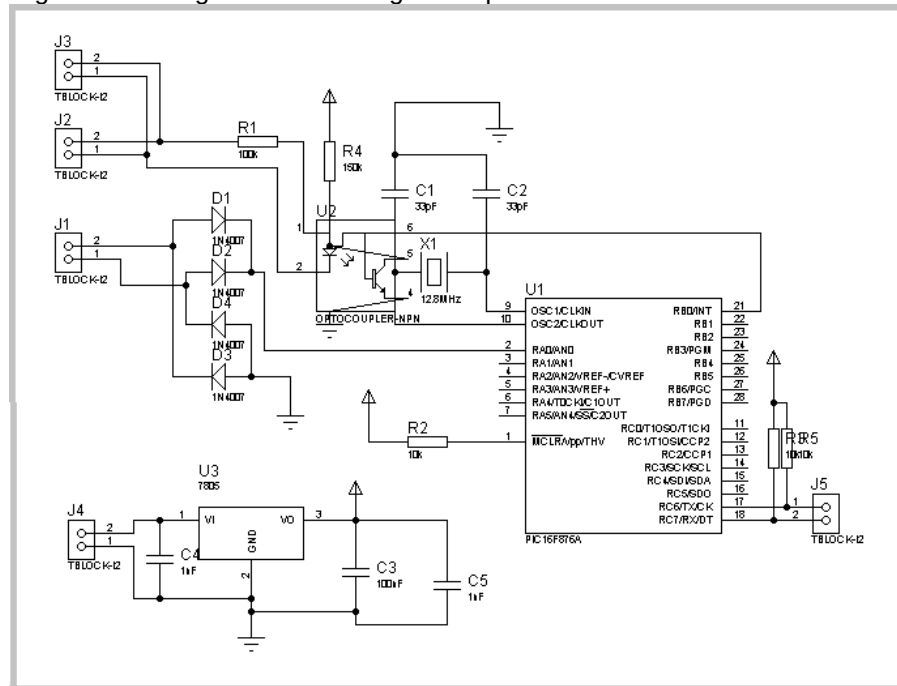
Porém, especificamente para o regulador 7805 tem-se:

- Tensão máxima a aplicar na entrada: 35V
- Tensão de saída regulada: 5V
- Corrente máxima na saída: 1A;

- d) cristais: são estruturas em que os átomos se dispõem de forma ordenada que se repete em toda sua extensão. A maioria dos cristais apresenta uma estrutura perfeitamente simétrica, o que significa que as forças de natureza elétrica manifestadas pelos átomos no seu interior são balanceadas, e nada de anormal ocorre ou é notado em termos de seu comportamento, assim sendo, um cristal sozinho pode não entrar em vibração, tornando-se necessário utilizar um oscilador. Desta forma os circuitos que produzem sinais com certas frequências e são controlados por cristais de quartzo, são denominados osciladores controlados por cristal ou simplesmente osciladores a cristal (BRAGA, 1994).

Além dos recursos citados, foram utilizados ainda uma fonte de celular, a qual propicia a alimentação da placa e um módulo Arduino UNO, com o qual é feita a comunicação do *hardware* com o sistema de monitoramento, construído conforme o diagrama esquemático apresentado pela figura 10, a qual será apresentada na sequência.

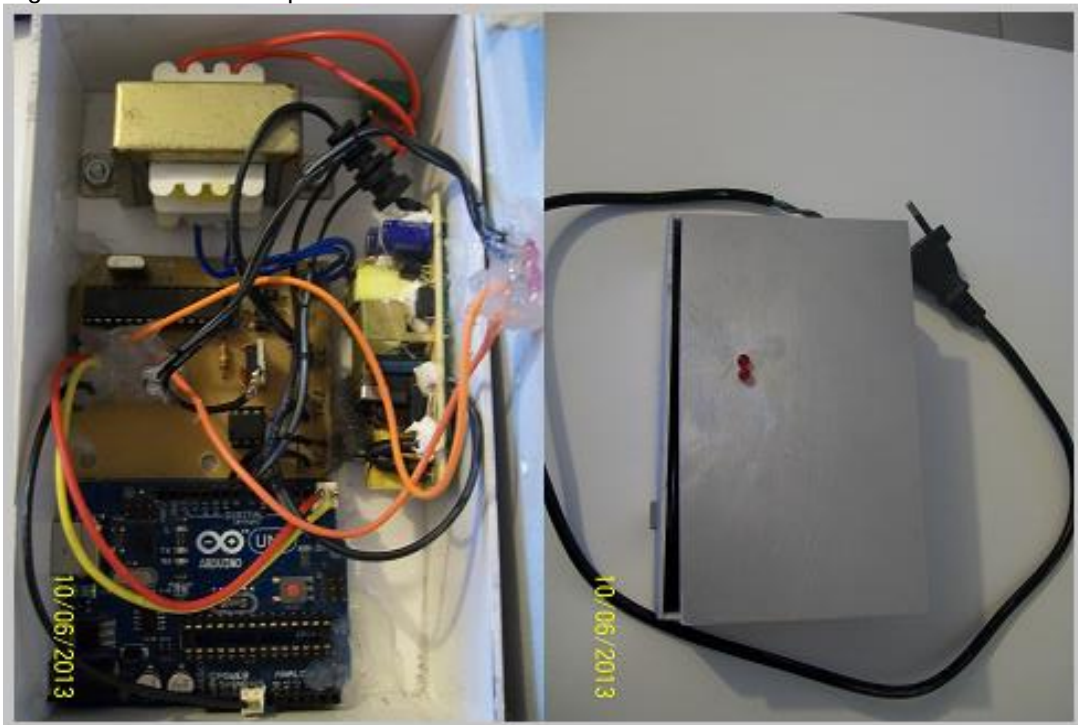
Figura 10 – Diagrama de montagem da placa concebida.



Fonte: Do autor.

Abaixo, apresenta-se o a placa de leitura da rede elétrica já construída, onde foi acoplada em uma caixa a fim de melhorar sua estética, representada na figura 11.

Figura 11 – Placa de captura dos dados de rede elétrica

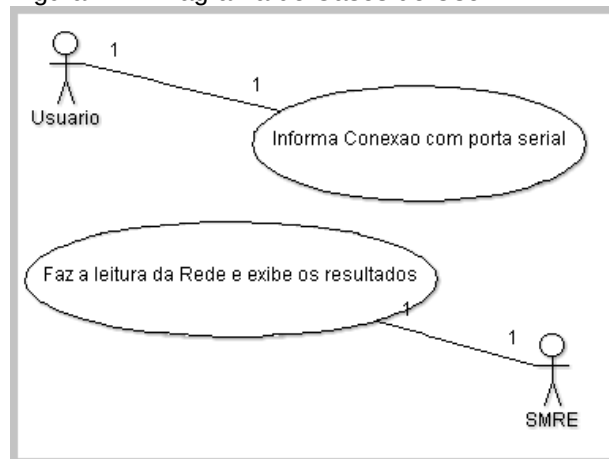


Fonte: Do autor

5.1.2 Modelagem do Sistema para Monitoramento da Qualidade da Energia Elétrica

Com a finalidade de direcionar o desenvolvimento do *software* proposto, nesta etapa do trabalho, desenvolveu-se a modelagem dos processos a serem contemplados pelo sistema, utilizando-se do padrão *Unified Modeling Language*³ (UML) o qual visa facilitar a compreensão de quais processos devem ser executados. Para tal, foram desenvolvidos os diagramas de caso de uso, atividades e sequência com auxílio da ferramenta *ArgoUML*⁴. Na sequência apresentam-se os diagramas desenvolvidos, onde o diagrama de casos de uso será representado pela figura 12, diagrama de atividade representado pela figura 13 e diagrama de sequência pela figura 14, respectivamente.

Figura 12 – Diagrama de Casos de Uso.



Fonte: Do autor.

O diagrama de casos de uso tem como objetivo fornecer uma visão geral do sistema, e seu comportamento. Sua modelagem é uma técnica utilizada para descrever funcionalidades do sistema por meio de atores e interações (FURTADO,

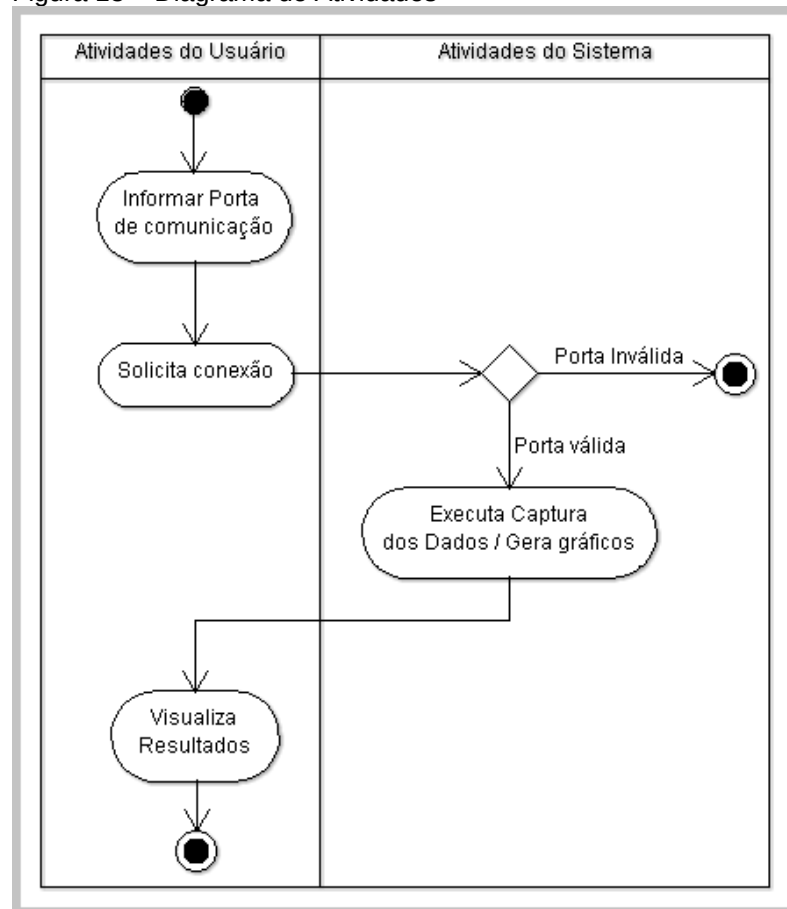
³ Segundo Booch, Rumbaugh e Jacobson (2005), a UML ou Linguagem de Modelagem Unificada é uma linguagem para especificação, documentação e construção de projeto, requisitos, arquitetura, código fonte e versões de sistemas de *software*, de forma gráfica. Proporciona uma forma padronizada para a preparação de planos da arquitetura de projetos de sistemas, incluindo aspectos conceituais, tais como processos de negócios e funções do sistema, além de itens concretos como classes escritas em determinada linguagem de programação, esquemas de bancos de dados e componentes de *software*.

⁴ Ferramenta disponível para *download* gratuitamente em (<http://argouml-downloads.tigris.org/>).

2002). Por meio dele, é possível identificar os parâmetros necessários a serem informados à execução do algoritmo, e o retorno esperado após esta execução.

Já o diagrama de atividades segundo Fowler (2005), é a sequência de estados que mostra o fluxo de atividades em uma determinada rotina. É importante para modelar o comportamento dinâmico do sistema. Ele destaca os caminhos condicionais no processo e atividades que podem ser executadas concorrentemente.

Figura 13 – Diagrama de Atividades



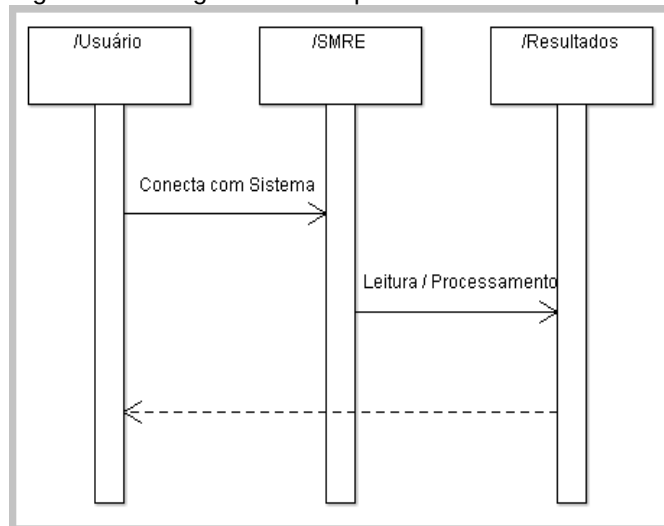
Fonte: Do autor

Como o auxílio do diagrama de atividades, é possível verificar a sequência das atividades desenvolvidas pelo usuário e pelo sistema de monitoramento da rede elétrica. O usuário informa a porta de comunicação, e na sequência solicita a conexão, sendo executadas as rotinas do sistema.

O diagrama de sequência, de acordo com Larman (2007), é utilizado para modelar a lógica de cenários de casos de uso, por meio da apresentação da informação entre objetos do sistema, a partir da execução do cenário específico. Tem-

se como objetivo, demonstrar sequencialmente as atividades executadas entre os objetos envolvidos, obedecendo a ordem temporal das atividades.

Figura 14 – Diagrama de Sequência.



Fonte: Do autor.

5.1.3 Implementação e Testes

Para que se tornasse possível realizar as leituras na rede elétrica desenvolveu-se uma aplicação, a qual é executado diretamente na memória do microcontrolador PIC. Para tal foi necessário o auxílio da IDE MPLAB v 8.905 e ferramenta High Tech Picc Lite em linguagem C. Através desta aplicação é verificada a posição em que encontra-se a senóide no determinado instante de leitura. Durante esta leitura da rede, são diversas capturas dentro de um ciclo de onda, onde os primeiros resultados correspondem a parte positiva do ciclo e a partir da passagem por zero, considera-se como a segunda metade do ciclo, ou seja, correspondendo a parte negativa. Através destes resultados, os quais são armazenados em um *array*, torna-se possível gerar gráficos em função do tempo de leitura.

A escolha por esta ferramenta justifica-se por propiciar a interação direta entre máquina e *software*, onde é possível definir e controlar quais entradas e saídas do microcontrolador serão utilizadas, oferecendo também diversos ambientes integrados para programação, simulação e gravação de microcontroladores. Oferece

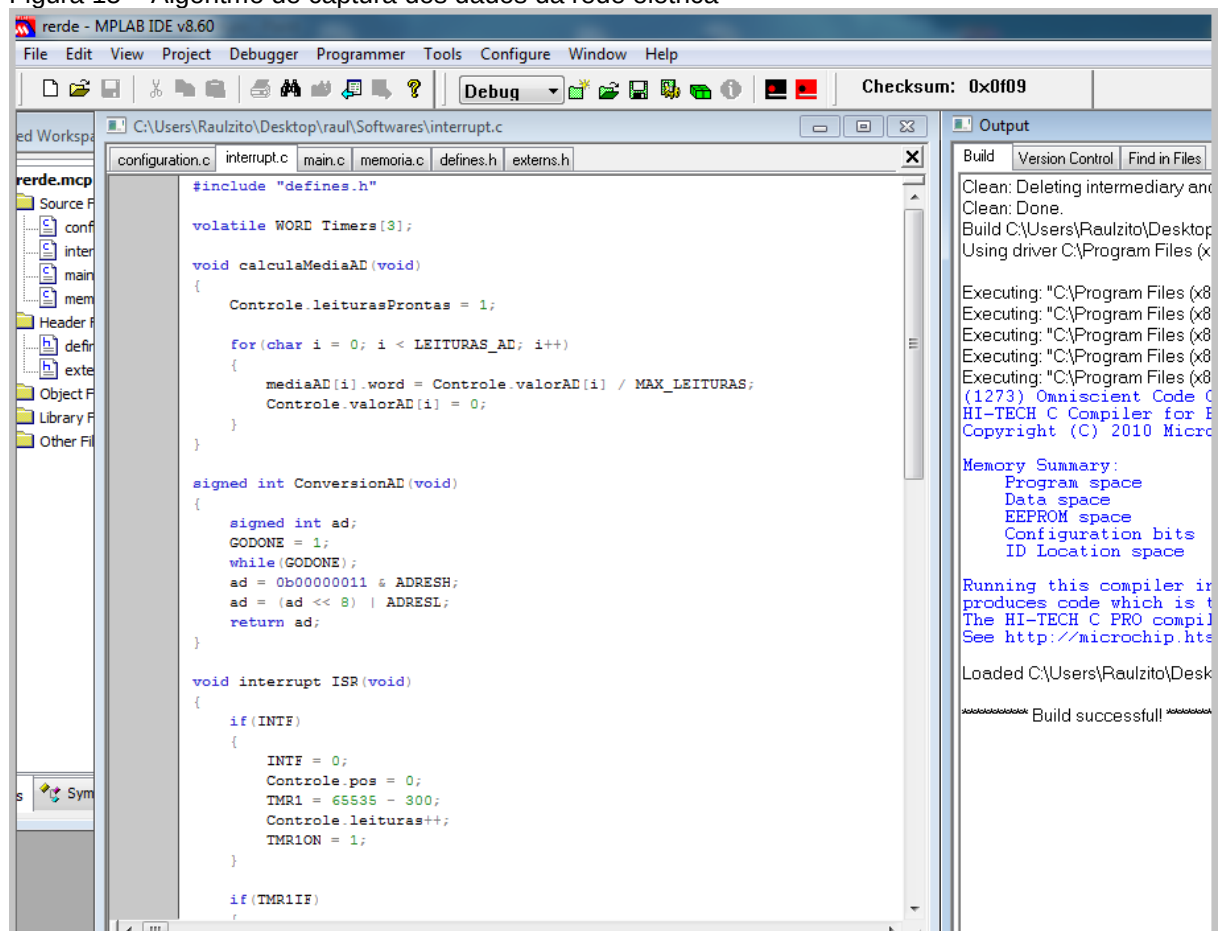
⁵ Ferramenta disponível para *download* gratuitamente em (<http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/mplabx/>).

ainda plug-ins para *softwares* externos, como por exemplo Proteus, o qual foi utilizado na fase de testes e será tratado *a posteriori*.

A partir do algoritmo desenvolvido, finalizando cada leitura são enviados os pacotes contendo os dados, a serem interpretados pelo SMRE. Ao final de cada leitura efetuada é realizada a espera de 200ms, até o início da próxima, a fim de que não ocorra envio de pacotes simultâneos, evitando com isso o travamento do sistema, ou até mesmo apresentando resultados incoerentes.

Na sequência apresenta-se com auxílio da figura 15, a IDE MPLAB e trecho do algoritmo desenvolvido para captura dos dados que devem ser analisados.

Figura 15 – Algoritmo de captura dos dados da rede elétrica

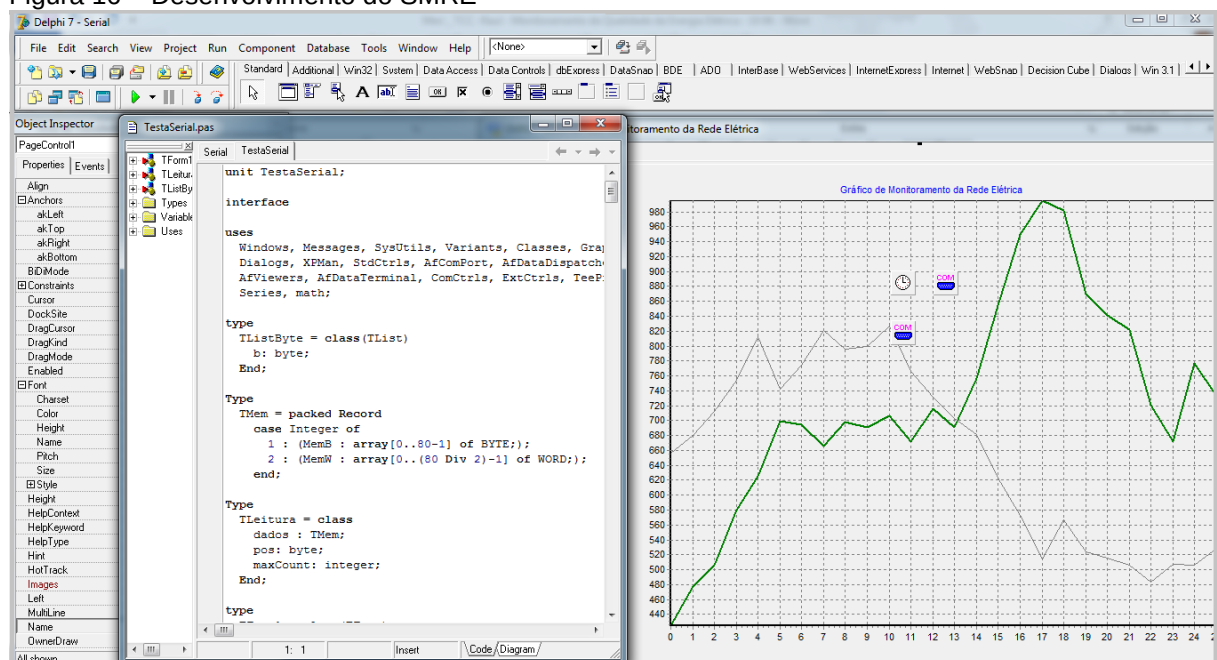


Fonte: Do Autor.

Para representação das leituras realizadas, com auxílio da aplicação apresentada, desenvolveu-se um protótipo para o sistema proposto utilizando-se

como ambiente de desenvolvimento a IDE Borland Delphi⁶ versão 7.0. Optou-se por esta linguagem de programação, devido ao conhecimento do autor na sua utilização, bem como pela facilidade em utilizar seus componentes para comunicação com portas seriais com auxílio da ferramenta *AsyncFree*⁷ versão 1.04 e plotagem de gráficos. Este conjunto de sistemas composto por aplicação trabalhando a nível de *hardware* em conjunto com sistema que apresenta os resultados após a leitura, recebeu o nome de SMRE – Sistema para Monitoramento da Rede Elétrica, o qual será apresentado a seguir com auxílio da figura 16 em sua etapa de desenvolvimento.

Figura 16 – Desenvolvimento do SMRE



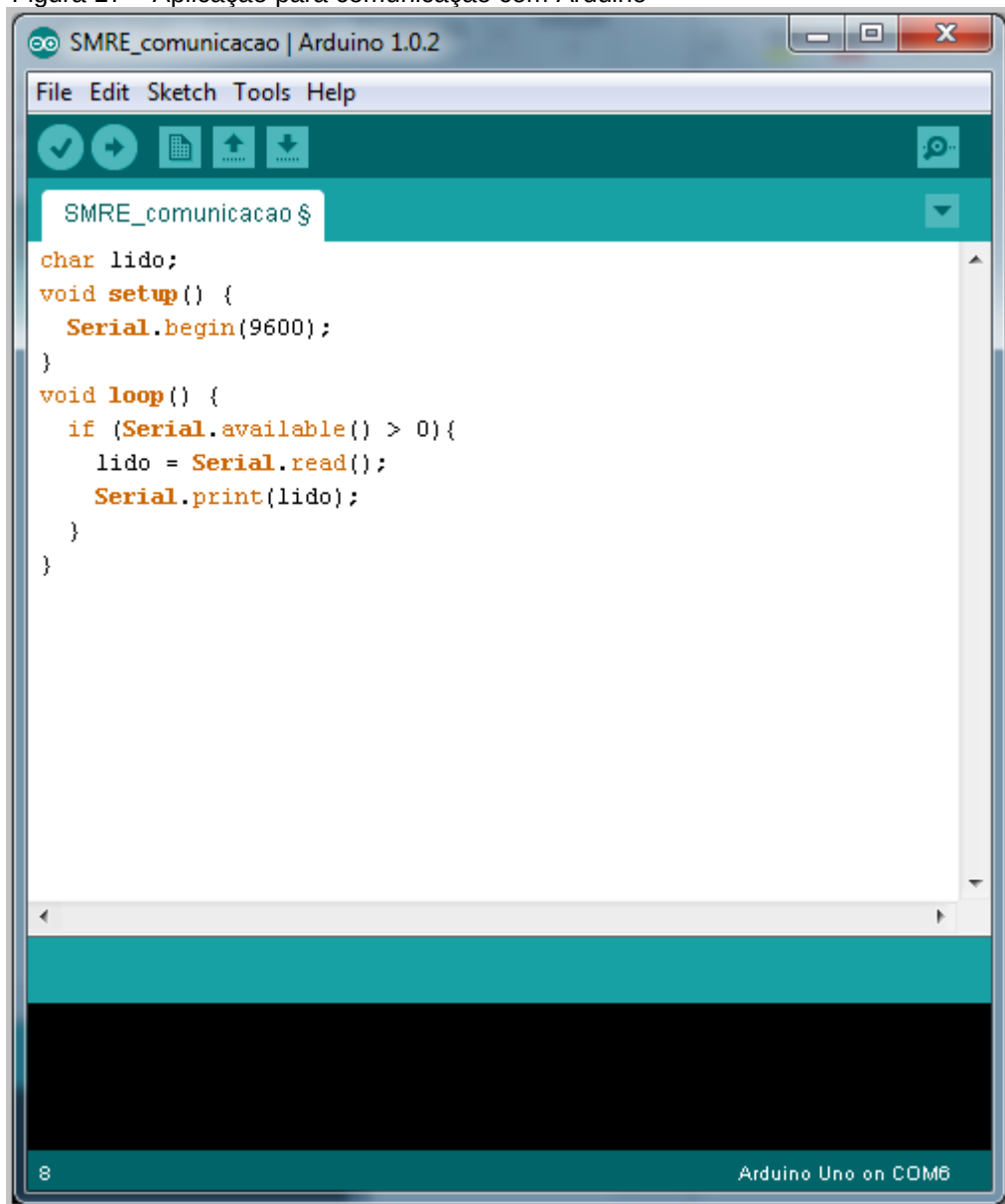
Fonte: Do Autor.

Para viabilizar a comunicação entre o sistema proposto utilizou-se o Arduino UNO, onde é executada uma aplicação simples que caracteriza-se por capturar os dados enviados pelo microcontrolador PIC, por meio de comunicação com porta serial e transmiti-la ao SMRE, a qual será representada por meio da figura 17.

⁶ Copyright 1983-2002 Borland Software Corporation. All rights reserved. (<http://www.borland.com/>).

⁷ Ferramenta disponível para download gratuitamente em (<http://asyncfree.soft112.com/>).

Figura 17 – Aplicação para comunicação com Arduino



Fonte: Do Autor

5.2 RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos, bem como dificuldades encontradas ao longo desta pesquisa, durante suas diversas etapas de desenvolvimento, desde fases iniciais como levantamento bibliográfico até a implementação e testes.

Inicialmente realizou-se o levantamento bibliográfico, onde evidenciou-se a importância do tema defendido. Já nesta etapa, uma das dificuldades que encontrou-se foi a pequena quantidade de material referente ao tema em linguagem vernácula.

Por se tratar algo que se necessita constantemente e todos os dias, a má Qualidade da Energia Elétrica fica evidente aos olhos atentos, até mesmo a olho nu, evidenciando-os ainda mais com o auxílio de um sistema voltado ao seu monitoramento.

Durante a etapa de pesquisa sobre os recursos de hardware, ou seja, o material a ser utilizado para realizar as leituras da rede elétrica, encontrou-se o módulo *emon-tx*, produzido pela organização Inglesa OpenEnergyMonitor, contendo suas peças vendidas isoladamente. Porém, como tornou-se inviável de obtê-lo, devido a dificuldades financeiras e pela questão de tempo optou-se por produzir uma placa que se assemelhasse, o que veio a contribuir significativamente no conhecimento adquirido na área de eletrônica.

Para construção do protótipo, reutilizaram-se componentes que até então seriam sucata tecnológica, como por exemplo fonte de celular para alimentação da placa, o que vem a contribuir para o movimento do TI verde, onde materiais podem ser reaproveitados ganhando uma nova funcionalidade. Outros porém tiveram de ser adquiridos ao longo do desenvolvimento projeto, de acordo com a necessidade. O projeto, dentro de seu propósito de reduzir custos, obteve êxito, pois conseguiu-se reduzir a uma média de 5% do valor dos equipamentos comercializados semelhantes.

Com base no valor dos equipamentos utilizados à montagem do hardware proposto, obteve-se a tabela 2, onde é apresentado um comparativo entre o custo total e o valor efetuado pelos equipamentos disponíveis no mercado, aos quais obteve-se acesso durante esta pesquisa. Para fins de cálculos utilizou-se o dólar na cotação do dia, a qual flutuava no valor de R\$2,25.

Tabela 2 – Comparativo materiais utilizados X Equipamentos existentes

Componente	Quantidade	Valor-R\$	Total-R\$	Equipamento	Valor-\$
Arduino UNO	1	89,00	89,00	SEL 734	1594,00
PIC 16F84A	1	8,65	8,65	SEL 735	1500,00
OPTO TIL111	1	0,99	0,99		
Capacitor 33pf	3	0,30	0,90	Equipamento	Valor-R\$
Resistor 10k	1	0,90	0,90		
Resistor 22k	2	1,00	1,00	SEL 734	3586,50
Resistor 100k	1	2,00	2,00	SEL 735	3375,00
Resistor 150k	1	3,00	3,00		
Diodo 1n4007	1	0,30	0,30		
Cristal 12.8Mhz	1	0,70	0,70		
Reg. de Tensão	1	16,00	16,00		

Fonte: Do Autor

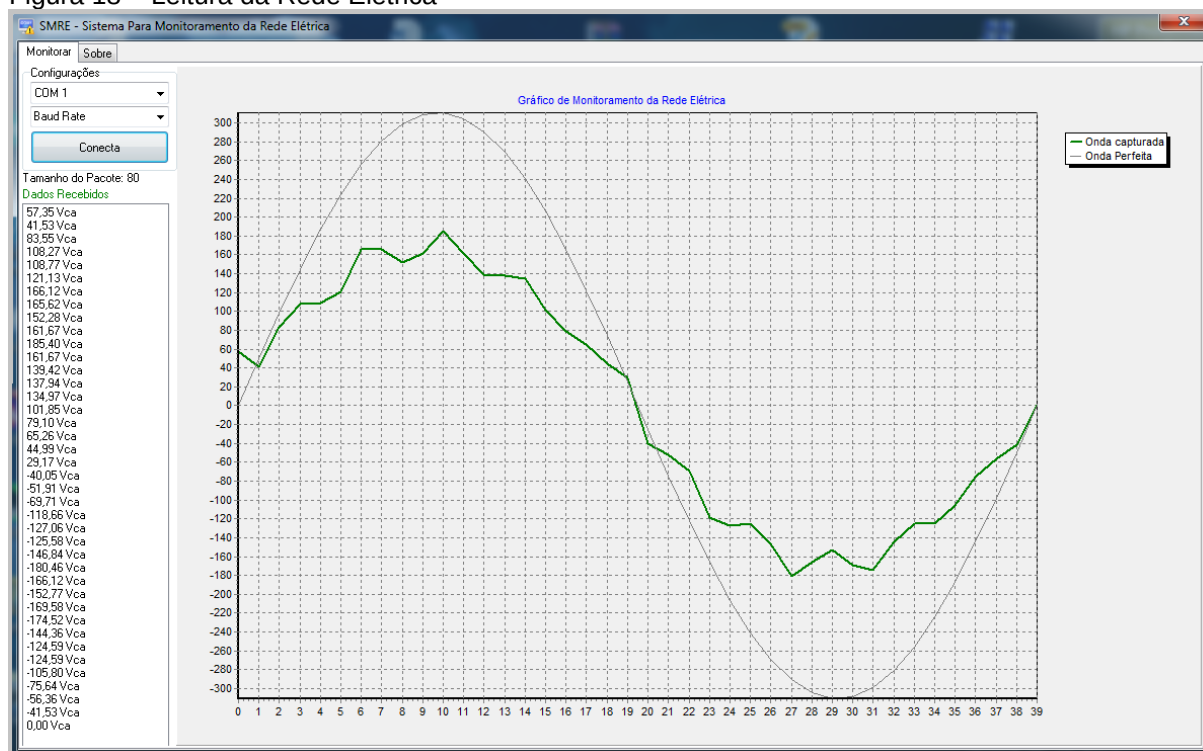
Já na fase de implementação buscaram-se ferramentas as quais seriam auxiliares no desenvolvimento do projeto, dentre elas podemos citar o software de desenvolvimento MPLAB IDE, o qual propiciou a programação no microcontrolador PIC, ferramenta esta que foi extremamente eficaz dentro do proposto. Já a ferramenta utilizada para comunicação com portas serias, mostrou-se eficiente e de fácil utilização dentro do projeto, porém sua integração e configuração no ambiente de desenvolvimento foi dificultada devido à ausência de tutoriais informativos de procedimentos acerca de sua utilização.

Inicialmente a execução dos testes deu-se com o auxílio da ferramenta Proteus⁸ versão 7, o qual consiste em um ambiente de simulação de circuitos eletrônicos e microprocessadores, bem como desenho de circuito impressos. Com seu auxílio, tornou-se possível reproduzir com alto grau de fidelidade o comportamento da rede de Energia Elétrica gerando como resultados ondas em que foram capturadas as distorções harmônicas de 3ª ordem aplicadas nestas, conforme pode ser observado na figura 18.

Contudo, convém salientar que em ambiente real, as variáveis a considerar são bem mais complexas, visto que nem tudo pode ser controlado 100% do tempo, estando suscetível a grande variação, porém o conjunto *hardware* e *software* manteve-se estável não apresentando falhas críticas.

⁸ Copyright 1989-2008 Labcenter Electronics. All rights reserved. (<http://www.labcenter.co.uk/>).

Figura 18 – Leitura da Rede Elétrica



Fonte: Do autor

6 CONCLUSÃO

O processo do avanço tecnológico traz vários benefícios a sociedade como um todo, isto é inegável. Porém com a evolução, fica-se refém destas tecnologias ao ponto de não saber mais como agir no caso de não tê-la ao alcance. Que a Energia Elétrica foi uma das descobertas mais importantes na história da humanidade, é fato sabido, pois foi o alavanque, ou seja, o que propiciou toda a evolução e o mundo como conhecemos hoje. Imaginar ficar sem usar o computador, por exemplo é algo indescritível para quem é da área da tecnologia da informação por exemplo, é inaceitável.

Porém, com toda esta evolução, apareceram problemas os quais não existiam, devido à grande interferência causada pelos equipamentos utilizados pelo mundo moderno, como por exemplo dimensionamento errado de motores que geram interferências e se propagam pela rede de distribuição afetando os demais usuários da rede, bem como a má qualidade dos serviços prestados pelas concessionárias e distribuidoras de energia elétrica, ou até mesmo pelas influências por causas naturais como queda de arvores em cima de fios e rede de distribuição, por exemplo.

Somam-se a isto, os prejuízos materiais que podem ser causados pela má qualidade do produto e dos serviços prestados pelas distribuidoras de energia elétrica, que em casos de consumidores residências podem ser não muito significativos, porém se ocorrerem em indústrias ou centros comerciais podem atingir somas incalculáveis.

Este trabalho, dentro do propósito de encontrar uma solução de baixo custo a fim de monitorar a qualidade da energia que está sendo entregue ao consumidor, obteve êxito, visto que conseguiu-se criar uma placa reutilizando determinados componentes eletrônicos, o que contribui ainda para a sustentabilidade do planeta, com a qual é possível capturar as informações referente a rede de energia, e gerar gráficos através dos resultados obtidos.

Com o desenvolvimento deste projeto foi possível colocar em prática os conhecimentos buscados ao longo desta pesquisa, bem como durante o curso de Ciência da Computação como um todo, visto que utilizou-se de vários conceitos abordados ao longo dos semestres de aula. Foi possível ainda entender como funciona o complexo e imenso sistema de geração e distribuição da energia elétrica, que tão importante a sociedade é.

Como fato determinante no aprendizado obtido, cita-se o estudo da integração entre *software* e *hardware*, o qual foi amplamente utilizado ao longo deste trabalho, bem como as técnicas de engenharia de *software* e gerenciamento de projetos empregadas para elaboração do sistema proposto, a fim de garantir que sua construção obtivesse êxito.

Com base no conhecimento adquirido durante esta pesquisa, como sugestão de trabalhos futuros, pode-se considerar a continuidade do mesmo, devido a relevância do tema, e ampla área de atuação, onde poderão ser aplicadas novas tecnologias visando aumentar a precisão dos resultados, por exemplo. Visando a continuidade do projeto, podemos destacar:

- a) inclusão de funcionalidades ao sistema, como por exemplo, cálculo da conta gerada ao final de determinado período de leitura de um equipamento específico;
- b) utilização de equipamentos como por exemplo sensor de corrente não invasivo para leitura da rede elétrica;
- c) cálculo do fator de potência gerado pelos equipamentos monitorados, e acréscimo na conta de energia;
- d) desenvolvimento da aplicação com tecnologias que propiciem acesso aos resultados através de dispositivos móveis e ou pela web;

REFERÊNCIAS

- AES ELETROPAULO. **Conceitos de energia elétrica**, 2010. Disponível em: <<https://www.aeseletropaulo.com.br/clientes/informacoes/Paginas/conceitosdeenergiaeletrica.aspx>>. Acesso em 10 de out. 2012.
- ALMEIDA, Gustavo Caetano de. **Sistema Controlador de Iluminação de Ambiente através de Interface Computadorizada**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.uniceub.br/bitstream/123456789/1011/1/20516217.pdf>> Acesso em 25 nov. 2012.
- ALVES, Carlos. **O que é eletricidade?** 2011. Disponível em: <http://www.selecoes.com.br/o_que_e_eletricidade_3143.htm>. Acesso em 10 de out. 2012.
- ANEEL. **Resolução ANEEL nº 414**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/REN_414_2010_atual_REN_499_2012.pdf>. Acesso em: 02 de jul. 2013.
- _____. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8_Revis%C3%A3o_4.pdf>. Acesso em 15 de mai. 2012.
- AYELLO, Fernando; BERNARDES, Renan. **SMQEE - Sistema de Monitoramento da Qualidade de Energia Elétrica**, 2008. Disponível em <http://www.selinc.com.br/art_tecnicos/SMQEE_SISTEMA_DE_MONITORAMENTO_DA_QUALIDADE_DE_ENERGIA.pdf>. Acesso em 16 ago. 2012.
- BARROS, Benjamin Ferreira de et al. **Gerenciamento de Energia: Ações Administrativas e Técnicas de Uso Adequado da Energia Elétrica**. São Paulo: Érica, 2011.
- BECERRA, U.H. et al. **Sistema para monitoramento da qualidade de energia elétrica em conjunto de consumidores em baixa tensão**, [20--]. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/Citenel2001/trabalhos%5C28.pdf>>. Acesso em 25 nov 2012.
- BOOCH, Grady; RUMBAUGH, James; JACOBSON, Ivar. **UML: Guia do usuário**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- BOYLESTAD, Robert L. **Introdução à análise de circuitos**. 11.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

BRAGA, Newton C. **Acopladores e chaves ópticas**, 2010. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/872-acopladores-e-chaves-opticas-art120.html>>. Acesso em 30 mai. 2013.

_____. **Cristais: O Ritmo da Eletrônica**. Revista Saber Eletrônica, São Paulo, no.263, 1994.

_____. **Conheça os Microcontroladores – PIC**, [20--]. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/microcontroladores/141-microchip-pic/1243-mic001.html>>. Acesso em 29 mai. 2013.

_____. **Instalações Elétricas sem Mistérios**, 2005. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/eletrica-domiciliar/2179-el006.html>>. Acesso em 3 set 2012.

BUSNARDO, Daniel. **Protótipo de um sistema de hardware e software para controle da qualidade da energia na rede elétrica**. Blumenau, 1999. Originalmente apresentado como trabalho de conclusão de curso submetido à Universidade Regional de Blumenau para obtenção dos créditos na disciplina do curso de Ciências da Computação. Disponível em: <<http://campeche.inf.furb.br/tccs/1999-II/1999-2danielbusnardovf.pdf>>. Acesso em 25 nov. 2012.

CAPELLI, Alexandre. **Energia elétrica para sistemas automáticos da produção**. 2.ed. São Paulo: Érica, 2010.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane Rodrigues Caetano, MOLISANI, Elio. **Física com Arduino para iniciantes**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, vol.33, no.4, 2011.

CELESC, Centrais Elétricas de Santa Catarina S/a. **Fator de Potência e Fator de Carga**. Florianópolis, 2013. Disponível em: <http://www.celesc.com.br/portal/grandesclientes/index.php?option=com_content&task=view&id=128&Itemid=220>

CHILTON, Ian. **emonTx V2.2 Build Guide**, [20--]. Disponível em <<http://openenergymonitor.org/emon/emontx/make/assemble/buildguide22>>. Acesso em 20 nov. 2012.

DECKMANN, Sigmar Maurer; POMILIO, José Antenor. **Avaliação da qualidade da energia elétrica**. UNICAMP/FEEC/DSCE. 2010. Disponível em: <www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/qualidade/a1.pdf>. Acesso em 15 de mai. 2012.

FERREIRA, Danton Diego et al. Sistema automático de detecção e classificação de

distúrbios elétricos em qualidade da energia elétrica. **Revista Controle & Automação**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, jan, fev e mar. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-17592009000100005&script=sci_arttext>. Acesso em 25 nov. 2012.

FOWLER, Martin. **UML essencial: um breve guia para a linguagem padrão de modelagem de objetos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

FURTADO, Vasco. **Tecnologia e Gestão da Informação na Segurança Pública**. Fortaleza: Garamond, 2002.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. 9.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

LARMAN, Craig. **Utilizando UML e Padrões**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2007

LEÃO, Ruth P. S. **GTD – Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica**, 2011. Disponível em: < <http://www.alvarestech.com/temp/eletronorte2011-Araujo/apostila/gtd-geracao-trasmissoao-distribuicao-energia-eletrica-2011.pdf>>. Acesso em 25 nov. 2012.

MARTINHO, Edson. **Distúrbios da energia elétrica**. 2.ed. São Paulo: Érica, 2010.

MEHL, Ewaldo, “**Qualidade de Energia Elétrica**” **Curso de pós-graduação, UFPR**, 2003. Disponível em: < www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf>. Acesso em 15 de mai. 2012.

NETTO, Luiz Ferraz. **Sinais Elétricos**, 1999. Disponível em: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala12/12_T12.asp>. Acesso em 20 de set. 2012.

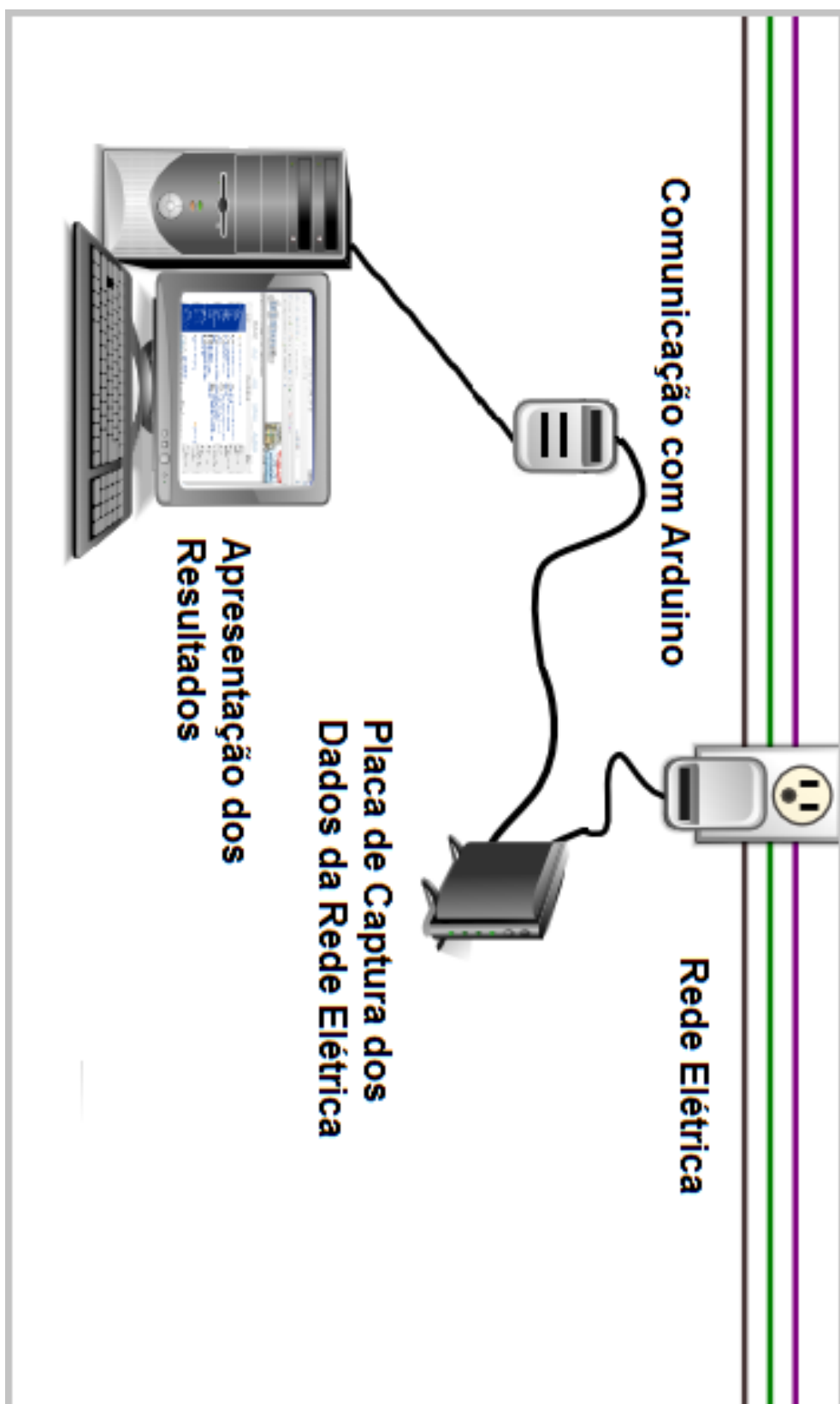
SÃO PAULO(SP). **Comissão Tripartite Permanente de Negociação do setor Elétrico. Energia Elétrica: Geração, Transmissão e Distribuição**. São Paulo, [20--] Disponível em: < http://www.fundacentro.gov.br/dominios/ctn/anexos/cdNr10/Manuais/M%C3%B3dulo01/333_1-%20INTRODU%C3%87%C3%83O%20A%20SEGURAN%C3%87A%20COM%20ELTRICIDADE.pdf> Acesso em 26 nov. 2012

SCHNEIDER, Electric; PROCOBRE, Instituto Brasileiro do Cobre. **Workshop Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Qualidade de Energia - Harmônicas**, 2003. Disponível em: <<http://www.schneider-electric.com.br/documents/cadernos-tecnicos/harmon.pdf>>. Acesso em 28 de mai. 2013.

SILVA, Marco Aurélio. **Brasil Escola**. [20--]. Disponível em < <http://www.brasilecola.com/fisica/corrente-alternada.htm>>. Acesso em 3 set. 2012.

APÊNDICE(S)

APÊNDICE A – DIAGRAMA DE COMUNICAÇÃO DO SMRE



APÊNDICE B – ARTIGO CIENTÍFICO

Proposta de Sistema para Monitoramento da Qualidade da Energia Elétrica com Hardware de baixo custo

Raul M. Alves¹, Sérgio Coral¹

¹Curso de Ciência da Computação – Unidade Acadêmica de Ciências, Engenharias e Tecnologias – (UnaCET) – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)
Av. Universitária, 1105 – Bairro Universitário – Criciúma – SC – Brasil

rauzitoalves@unesc.net, sergiocoral@unesc.net

Abstract. *The electric power, since its generation to distribution to the user, in most cases, is affected by various disturbances. Among these, we highlight the presence of harmonic distortion, which unlike other disturbances of nature is constant, and can be transmitted over the network. The control and quality assessment of electric power is necessary because the presence of harmonics can cause economic losses. This article has the purpose to present a proposal of a system for monitoring the quality of Electrical Energy, by the presence of harmonics in the network. For this was proposed to develop an application in Delphi and hardware based on PIC microcontroller to read the network electric.*

Resumo. *A Energia Elétrica, desde sua geração até a distribuição ao usuário, na maioria das vezes, é acometida por diversos distúrbios. Dentre estes, destacamos a presença das distorções harmônicas, que ao contrário de outros distúrbios é de natureza constante, e pode ser transmitida ao longo da rede. O controle e avaliação da qualidade da Energia Elétrica se faz necessário, pois a presença das harmônicas pode gerar prejuízos econômicos. Este artigo tem como propósito apresentar a proposta de um sistema para monitoramento da qualidade de Energia Elétrica, pela presença de harmônicas na rede. Para tal foi proposto o desenvolvimento de um aplicativo em linguagem Delphi e hardware baseado no microcontrolador PIC para leitura da rede.*

1. Introdução

A Energia Elétrica, desde sua geração, passando pela transmissão e distribuição até o usuário, percorre um longo caminho, o que possibilita o surgimento de diversos distúrbios, causados pelos mais variados motivos. A Qualidade da Energia Elétrica sempre foi alvo de preocupação tanto por parte das concessionárias como de seus consumidores. Tal preocupação, inicialmente se restringia à continuidade do fornecimento, atualmente compreende uma grande variedade de indicadores. Dessa forma, alguns tipos de falha na qualidade do fornecimento apenas são notados de forma indireta, pela falha no funcionamento de certos equipamentos.

Se tais problemas não forem resolvidos de forma adequada, poderá haver prejuízos materiais (redução da vida útil ou até queima de equipamentos), bem como ocorrer perturbações físicas nos usuários (incômodo visual ou auditivo), levando à diminuição da capacidade de produção tanto de equipamentos quanto de pessoas. Além

disso, existem as perdas financeiras, que podem chegar a grandes valores quando as falhas acontecem em grandes empresas, mesmo que estas tenham proteções e filtros distribuídos na rede elétrica.

A avaliação e monitoramento da qualidade da energia elétrica, por exemplo, pode ser realizada por meio dos multimedidores da família SEL, fabricados pela *Schweitzer Engineering Laboratories*, ou ainda pelos analisadores da família PowerNET, fabricados pela *IMS*. Porém estes equipamentos tem um custo alto, o que dificulta sua aquisição por parte dos consumidores.

A fim de viabilizar o monitoramento da qualidade da energia elétrica, foi proposto um sistema desenvolvido em ambiente de programação Delphi integrando a uma solução de hardware de baixo custo para captura dos dados, o qual executa o algoritmo de captura desenvolvido em linguagem C. Tal solução é baseada no microcontrolador PIC, pois propicia a execução do algoritmo de captura diretamente em sua memória, verificando no instante de leitura, em que posição encontra-se a onda, em relação a senóide com frequência fundamental de 60Hz.

Com seu desenvolvimento, conseguiu-se de realizar leituras da rede elétrica em ambiente controlado por meio de simulações. Para isto, utilizou-se de softwares que simulam a utilização da placa construída e do aplicativo proposto, onde foram aplicadas distorções de 3ª ordem nas harmônicas, por se tratar da comumente encontrada.

2. Qualidade da Energia Elétrica

O termo “Qualidade da Energia”, que passou a ganhar maior destaque nos últimos anos, envolve fatores desde a geração, transmissão e distribuição até o consumo da energia elétrica produzida, passando por diversos problemas ligados ao funcionamento de equipamentos, telefonia, dados, entre outros. A qualidade da energia abrange qualquer variação de amplitude, frequência ou deformação da forma da onda das grandezas elétricas, seja de forma permanente ou transitória, que prejudique o funcionamento de um equipamento elétrico. Os distúrbios da qualidade da energia elétrica acabam, de uma forma ou de outra, prejudicando a produtividade, a segurança de pessoas e até a economia de energia, gerando aumento de custos do produto.

A sensibilidade dos equipamentos eletrônicos mais modernos aos fenômenos relacionados à má qualidade da energia elétrica preocupa consumidores, concessionárias e distribuidoras de energia. Tal situação ocorre devido a diversos fatores, dentre eles, a variação da forma de onda da tensão encontrada nas instalações elétricas, que pode diminuir a vida útil dos equipamentos, aos componentes de certos equipamentos que são mais sensíveis aos distúrbios e a crescente preocupação pelo uso racional da energia elétrica.

Com a evolução da tecnologia, as cargas com características resistivas e reativas puderam ser substituídas por cargas controladas, onde os equipamentos elétricos chamados não lineares distorcem a forma de onda de tensão e corrente. O contrário ocorre com as cargas resistivas, indutivas ou capacitivas que, devido ao seu comportamento, são denominados cargas lineares. Nesses casos, embora possa estar defasada da tensão, a corrente na carga linear não altera a forma de onda.

Os equipamentos eletrônicos constituem cargas não lineares, pois não são compostos apenas de resistências ôhmicas, indutâncias, capacitâncias e possuem

semicondutores. Tomando como exemplo a curva de tensão X corrente de um semicondutor, observa-se descontinuidades em determinados valores de corrente. As correntes presentes nos semicondutores tem formas de onda muito diferentes da tensão aplicada, o que não ocorre com cargas lineares. Como consequência, ocorre a deformação do sinal senoidal entregue à carga, ocasionando distúrbios.

Atualmente, a qualidade da energia é associada à sustentabilidade do planeta, uma vez que em certos casos o problema causado por uma má qualidade de energia pode gerar um desperdício da mesma, o que gera preocupações com relação ao excesso da demanda versus escassez de energia. Apesar do grande impacto na indústria, a preocupação com a qualidade da energia começa a atingir também o comércio e as residências, uma vez que o crescimento da automação está atingindo essas áreas, trazendo ao uso equipamentos sensíveis aos distúrbios.

A qualidade da energia elétrica pode ser percebida de diversas maneiras, dependendo das necessidades de cada usuário. As concessionárias utilizam análises e estatísticas para medir a confiabilidade do suprimento elétrico. Certos fabricantes de equipamentos entendem energia de qualidade como aquela fornecida com níveis de tensão dentro dos parâmetros para os quais seu equipamento melhor funcione. Já o usuário preza a continuidade do serviço. Muitos usuários, em busca da otimização dos trabalhos, utilizam-se cada vez mais de equipamentos de alta eficiência que necessitam maior qualidade no fornecimento da energia elétrica. Além disso, o mercado de meios de comunicação também é um setor preocupante, pois pode ser afetado por estes problemas.

Devido ao alto grau de automação, o setor industrial ainda é o que mais se preocupa com a qualidade da energia recebida. Uma falha no fornecimento pode causar a parada ou até queima de equipamentos, gerando grandes prejuízos financeiros. Devido a isso, as equipes de manutenção das empresas estão atentas a certas alterações tais como variação de tensão e presença de harmônicas. No caso do comércio, apesar de possuir nível de automação bem menor do que na indústria, faz uso maciço de computadores e alguns setores, como bancos e telemarketing, podem sofrer graves prejuízos se houver danos em seus sistemas.

Quanto ao segmento residencial, a busca por segurança, conforto e facilidades, tem feito com que a qualidade da energia elétrica torne-se importante. O aumento de usuários que trabalham em casa (home-office), utilizando equipamentos eletrônicos como computadores, fax e telefonia os torna mais vulneráveis as alterações da rede elétrica. O uso de alarmes monitorados, acionamento elétrico de portas e portões e centros de controle microprocessados, que cada vez mais fazem parte de casas e condomínios, também sofrem influência da má qualidade da energia recebida.

A qualidade da energia elétrica é afetada por diversos fatores, como a alteração do padrão de energia gerado, ou seja, quando há alteração da senóide de frequência constante (que é de 60Hz no Brasil), ruído, harmônicas, que podem acarretar na falha ou mal funcionamento de aparelhos elétricos. Também pode ser afetada por outros fatores, como descargas atmosféricas, chaveamentos de grandes cargas, curto circuito. Alguns efeitos podem até se propagar pela rede elétrica, atingindo outras instalações próximas.

Assim como ocorre com diversas outras matérias primas, a energia elétrica pode passar por avaliações, como custos de consumo e de interrupção e impactos de poluição, proporcionando um produto de boa qualidade para os consumidores.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é uma autarquia vinculada ao Ministério de Minas e Energia, criada em 1996, com a função de regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização da energia elétrica no Brasil dentro das políticas e diretrizes do governo federal, onde é responsável pela criação, aplicação e atualização dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST), que caracteriza-se por ser uma coleção de documentos elaborados com a participação dos agentes de distribuição e de outras entidades e associações do setor elétrico nacional, que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica. Seus principais objetivos são:

- a) garantir que os sistemas de distribuição operem com segurança, eficiência, qualidade e confiabilidade;
- b) propiciar o acesso aos sistemas de distribuição;
- c) disciplinar os procedimentos técnicos para as atividades relacionadas ao planejamento da expansão, à operação dos sistemas de distribuição, à medição e à qualidade da energia elétrica;
- d) assegurar o fluxo de informações adequadas à ANEEL;

O Módulo 8 do PRODIST, trata da qualidade da energia elétrica. Traz a terminologia, fenômenos, parâmetros e valores de referência relativos à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações na forma de onda de tensão, o que determina mecanismos que possibilitam à ANEEL fixar padrões para os indicadores de qualidade de energia elétrica. Determina ainda, a metodologia para apuração dos indicadores de continuidade e dos tempos de atendimento, definindo limites e responsabilidades, além da metodologia de monitoramento automático dos indicadores de qualidade. O PRODIST considera alguns aspectos para verificação da qualidade da energia, dentre os quais destacamos:

- a) tensão em regime permanente;
- b) fator de potência;
- c) harmônicos;
- d) desequilíbrio de tensão;
- e) flutuação de tensão;
- f) variações de tensão de curta duração;
- g) variação de frequência.

Um sistema de monitoramento da qualidade da energia elétrica considerado ideal, é um sistema centralizado que obtém em tempo real informações de diversos pontos de uma instalação elétrica. Sua base é composta por multimedidores digitais, espalhados ao longo dos circuitos elétricos, uma ou mais estações de trabalho remotas, software amigável e uma rede de comunicação, que pode ser desde uma rede telefônica até sistema de rádio ou micro-ondas. As informações devem ser centralizadas para serem interpretadas adequadamente e, assim, monitorar a qualidade da energia detectando intercorrências tanto na rede da concessionária quanto no sistema do próprio usuário.

3. Proposta de Sistema para Monitoramento da Rede Elétrica

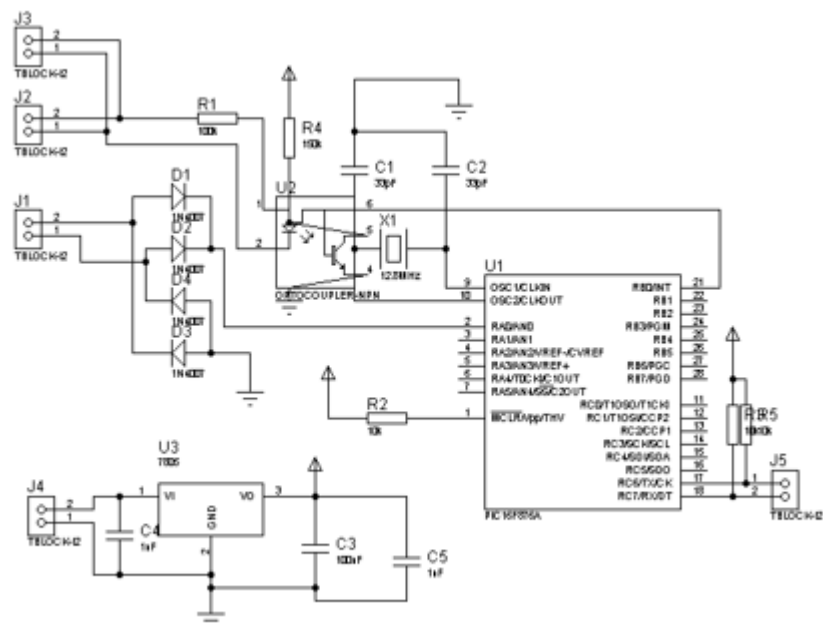
Inicialmente para o desenvolvimento do projeto, em sua estrutura de hardware, utilizar-se-ia o módulo emonTx, pois é baseado no microcontrolador Atmega328, fabricado pela Atmel – o mesmo utilizado nos Arduino atuais. Contudo, por tratar-se de um equipamento a ser adquirido na Inglaterra, tornou-se inviável de obtê-lo, devido ao custo final do material necessário à montagem do módulo, acrescido de tributos alfandegários e entrega internacional, visto que um dos objetivos principais deste, é a redução de custos.

Diante disso, optou-se então, por produzir uma placa com características funcionais semelhantes. A placa concebida, é composta pelos componentes eletrônicos listados pela (Tabela 1).

Tabela 1. Materiais utilizados no desenvolvimento do hardware

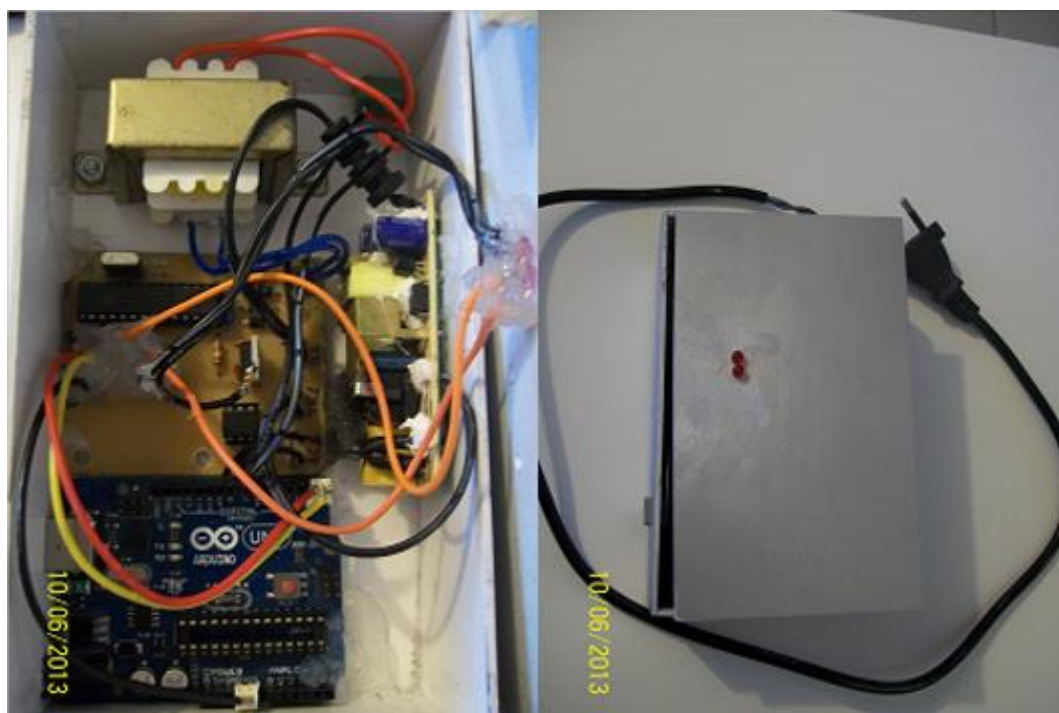
Quantidade	Descrição
1	<u>Microcontrolador</u> – PIC16F876A
1	Isolador óptico – OPTO TIL111
2	Capacitor 33pf
3	Capacitor 100nf
1	Resistor 10k
2	Resistor 22k
1	Resistor 100k
1	Resistor 150k
4	Diodo 1n4007
1	Cristal 12.8Mhz
1	Regulador de tensão 7805
1	Transformador 220v para 2.5v
1	<u>Arduino Uno</u>

Além dos recursos citados, foi utilizada ainda uma fonte de celular, a qual propicia a alimentação da placa, construída conforme o diagrama esquemático apresentado pela (Figura 1), onde seu custo total foi de aproximadamente R\$110,00.



1. Figura 1. Diagrama de Montagem da placa proposta

Por meio da (Figura 2), demonstra-se o protótipo da placa desenvolvida para leitura dos dados relativos a avaliação da qualidade da energia elétrica.



2. Figura 2. Protótipo da placa proposta à captura dos dados

Para que se tornasse possível realizar as leituras na rede elétrica foi desenvolvida uma aplicação, a qual é executado diretamente na memória do microcontrolador PIC. Para tal foi necessário o auxílio da IDE MPLAB e ferramenta High Tech Picc Lite em linguagem C. Através desta aplicação é verificada a posição em que encontra-se a senóide no determinado instante de leitura. Durante esta leitura da rede, são diversas capturas

dentro de um ciclo de onda, onde os primeiros resultados correspondem a parte positiva do ciclo e a partir da passagem por zero, considera-se como a segunda metade do ciclo, ou seja, correspondendo a parte negativa. Através destes resultados, os quais são armazenados em um array, tornou-se possível gerar gráficos em função do tempo de leitura.

A partir do algoritmo desenvolvido, ao final de cada leitura são enviados os pacotes contendo os dados relativos a leitura efetuada. Ao final de cada leitura é realizada a espera de 200ms, até o início da próxima, a fim de que não ocorra envio de pacotes simultâneos, evitando com isso a apresentação de resultados inconsistentes.

Para dar início ao desenvolvimento da aplicação, desenvolveram-se os diagramas de casos de uso, sequência e atividades utilizando-se do padrão UML. Para representação das leituras realizadas, com auxílio da aplicação descrita, desenvolveu-se o protótipo do sistema proposto utilizando-se como ambiente de desenvolvimento a IDE Borland Delphi. Optou-se por esta linguagem de programação, devido a facilidade de sua utilização, e de seus componentes para comunicação com portas Seriais com auxílio da ferramenta AsyncFree, e plotagem de gráficos. Este conjunto de sistemas composto por aplicação trabalhando a nível de hardware em conjunto com sistema que apresenta os resultados após a leitura recebeu o nome de SMRE.

4. Resultados Obtidos

Para o desenvolvimento do projeto de monitoramento da rede elétrica, realizou-se o levantamento bibliográfico, onde evidenciou-se a importância do tema defendido. Já nesta etapa, uma das dificuldades que encontrou-se foi a pequena quantidade de material referente ao tema em linguagem vernácula.

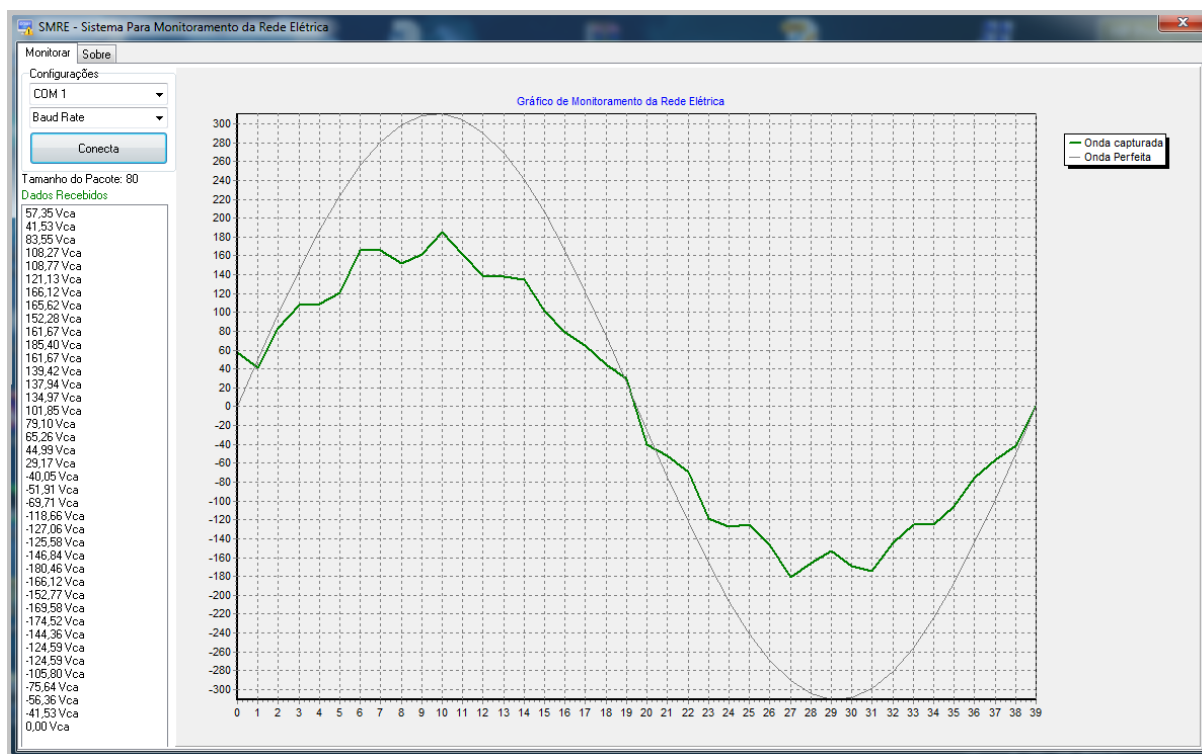
Por se tratar algo que se necessita constantemente e todos os dias, a má Qualidade da Energia Elétrica fica evidente aos olhos atentos, até mesmo a olho nu, evidenciando-os ainda mais com o auxílio de um sistema voltado ao seu monitoramento.

Para construção do protótipo, reutilizaram-se componentes que até então seriam sucata tecnológica, como por exemplo fonte de celular para alimentação da placa, o que vem a contribuir para o movimento do TI verde, onde materiais podem ser reaproveitados ganhando uma nova funcionalidade. Outros porém tiveram de ser adquiridos ao longo do desenvolvimento projeto, de acordo com a necessidade. O projeto dentro de seu propósito de reduzir custos, obteve êxito, pois conseguiu-se reduzir a uma média de 5% do valor dos equipamentos comercializados semelhantes.

Já na fase de implementação buscaram-se ferramentas as quais seriam auxiliares no desenvolvimento do projeto, dentre elas podemos citar o software de desenvolvimento MPLAB IDE, o qual propiciou a programação no microcontrolador PIC, ferramenta esta que foi extremamente eficaz dentro do proposto. Já a ferramenta utilizada para comunicação com portas seriais, mostrou-se eficiente e de fácil utilização dentro do projeto, porém sua integração e configuração no ambiente de desenvolvimento foi dificultada devido à ausência de tutoriais informativos de procedimentos acerca de sua utilização.

Inicialmente a execução dos testes deu-se com o auxílio da ferramenta Proteus, o qual consiste em um ambiente de simulação de circuitos eletrônicos e microprocessadores, bem como desenho de circuito impressos. Com seu auxílio, tornou-

se possível reproduzir com alto grau de fidelidade o comportamento da rede de energia elétrica gerando como resultados ondas em que foram capturadas as distorções harmônicas de 3º grau aplicadas nestas, conforme apresentado pela (Figura 3).



3. Figura 3. Plotagem do gráfico, com distorção harmônica de grau 3

5. Considerações Finais

O processo do avanço tecnológico traz vários benefícios a sociedade como um todo, isto é inegável. Porém com a evolução, fica-se refém destas tecnologias ao ponto de não saber mais como agir no caso de não tê-la ao alcance. Que a energia elétrica foi uma das descobertas mais importantes na história da humanidade, é fato sabido, pois foi o alavanque, que propiciou toda a evolução e o mundo como conhecemos hoje. Imaginar ficar sem usar o computador, por exemplo é algo indescritível para quem é da área da informática por exemplo, é inaceitável.

Porém, com toda esta evolução, aparecem problemas os quais não existiam, devido à grande interferência causada pelos equipamentos utilizados pelo mundo moderno, como por exemplo dimensionamento errado de motores que geram interferências e se propagam pela rede afetando os demais usuários da rede de distribuição, bem como a má qualidade dos serviços prestados pelas concessionárias e distribuidoras de energia elétrica, ou até mesmo pelas influências por causas naturais como queda de árvores em cima de fios do sistema distribuição elétrico, por exemplo.

Somam-se a isto, os prejuízos materiais que podem ser causados pela má qualidade do produto e dos serviços prestados pelas distribuidoras de energia elétrica, que em casos de consumidores residências podem ser não muito significativos, porém se ocorrerem em indústrias ou centros comerciais podem atingir somas incalculáveis.

Dentro do propósito de encontrar uma solução de baixo custo a fim de monitorar a qualidade da energia que está sendo entregue ao consumidor, obteve-se êxito, visto que conseguiu-se criar uma placa reutilizando determinados componentes eletrônicos, o que contribui ainda para a sustentabilidade do planeta, com a qual é possível capturar as informações referente a rede de energia, e gerar gráficos através dos resultados obtidos.

Com o desenvolvimento deste, foi possível colocar em prática os conhecimentos buscados ao longo desta pesquisa. Foi possível ainda entender como funciona o complexo e imenso sistema de geração e distribuição da energia elétrica, que tão importante a sociedade é.

Como fato determinante no aprendizado obtido, cita-se o estudo da integração entre software e hardware, o qual foi amplamente utilizado ao longo deste trabalho, bem como as técnicas de engenharia de software e gerenciamento de projetos empregadas para elaboração do sistema proposto, a fim de garantir que sua construção obtivesse êxito.

Referências

- Aneel. Resolução Aneel nº 414. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/REN_414_2010_atual_REN_499_2012.pdf>. Acesso em: 02 de jul. 2013.
- _____. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8_Revis%C3%A3o_4.pdf>. Acesso em 15 de mai. 2012.
- Ayello, Fernando; Bernardes, Renan. SMQEE - Sistema de Monitoramento da Qualidade de Energia Elétrica, 2008. Disponível em <http://www.selinc.com.br/art_tecnicos/SMQEE_SISTEMA_DE_MONITORAMENTO_DA_QUALIDADE_DE_ENERGIA.pdf>. Acesso em 16 ago. 2012.
- Becerra, U.H. et al. Sistema para monitoramento da qualidade de energia elétrica em conjunto de consumidores em baixa tensão, [20--]. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/Citene12001/trabalhos%5C28.pdf>>. Acesso em 25 nov 2012.
- Boylestad, Robert L. Introdução à análise de circuitos. 11.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.
- Capelli, Alexandre. Energia elétrica para sistemas automáticos da produção. 2.ed. São Paulo: Érica, 2010.
- Chilton, Ian. emonTx V2.2 Build Guide, [20--]. Disponível em <<http://openenergymonitor.org/emon/emontx/make/assemble/buildguide22>>. Acesso em 20 nov. 2012.
- Deckmann, Sigmar Maurer; pomilio, José Antenor. Avaliação da qualidade da energia elétrica. UNICAMP/FEEC/DSCE. 2010. Disponível em: <www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/qualidade/a1.pdf>. Acesso em 15 de mai. 2012.
- Ferreira, Danton Diego et al. Sistema automático de detecção e classificação de distúrbios elétricos em qualidade da energia elétrica. Revista Controle & Automação, Rio de

Janeiro, v. 20, n. 1, jan, fev e mar. 2009. Disponível em:<
http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-17592009000100005&script=sci_arttext.
>. Acesso em 25 nov. 2012.

Martinho, Edson. Distúrbios da energia elétrica. 2.ed. São Paulo: Érica, 2010.

Mehl, Ewaldo, “Qualidade de Energia Elétrica” Curso de pós-graduação, UFPR, 2003.
Disponível em: < www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf>.
Acesso em 15 de mai. 2012.

Netto, Luiz Ferraz. Sinais Elétricos, 1999. Disponível em:
<http://www.feiradeciencias.com.br/sala12/12_T12.asp>. Acesso em 20 de set. 2012.