

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE**  
**RECURSOS DA AMAZÔNIA**

**ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE**  
**ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RESIDENCIAL DE**  
**MANAUS A PARTIR DA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA**  
**ENERGIA**

**ARNILSON JORGE DA SILVA DAMASCENO**

**MANAUS**  
**2012**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
RECURSOS DA AMAZÔNIA**

**ARNILSON JORGE DA SILVA DAMASCENO**

**ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RESIDENCIAL DE  
MANAUS A PARTIR DA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA  
ENERGIA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos da Amazônia da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos da Amazônia.

Área de concentração: Energia.

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Elizabeth Ferreira Cartaxo**

**MANAUS  
2012**

Ficha Catalográfica  
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

D155e Damasceno, Arnilson Jorge da Silva

Estimativa do potencial de conservação de energia elétrica no setor residencial de Manaus a partir da avaliação da qualidade da energia/ Arnilson Jorge da Silva Damasceno.- Manaus: UFAM, 2012. 84.; il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos da Amazônia) — Universidade Federal do Amazonas, 2012.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elizabeth Ferreira Cartaxo

1.Energia Elétrica- Qualidade 2.Conservação de energia-Manaus 3. Energia- Consumidores residenciais I. Cartaxo, Elizabeth Ferreira (Orient.) II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

CDU (1997) 620.98(811.3)(043.3)

**ARNILSON JORGE DA SILVA DAMASCENO**

**ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RESIDENCIAL DE  
MANAUS A PARTIR DA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA  
ENERGIA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos da Amazônia da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos da Amazônia.

Área de concentração: Energia.

Aprovado em 17 de abril de 2012.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Elizabeth Ferreira Cartaxo - Orientadora  
Presidente

---

Prof. Dr. Willamy Moreira Frota  
Membro

---

Prof. Dr. Carlos Alberto Figueiredo  
Membro

## **AGRADECIMENTOS**

- A Deus pela oportunidade que me deu de ingressar, cursar e concluir o Curso Mestrado nesta universidade;

- A minha família, mãe, esposa, filhos, irmãos e amigos que de alguma forma me ajudaram na realização deste trabalho. Espero que todos me perdoem pelo tempo que tirei de vocês e me dediquei aos estudos no mestrado;

- A minha Orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elizabeth Ferreira Cartaxo, pelo acompanhamento na elaboração deste trabalho, além da amizade, apoio e pela disponibilidade na orientação.

- Aos Professores Doutores Willamy Moreira Frota e Carlos Alberto Figueiredo por se disporem a compor esta banca examinadora.

- A coordenação do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos da Amazônia, e a todos os demais professores e alunos do PPG-Engram.

- E a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas - FAPEAM, pelo apoio financeiro.

## RESUMO

Este trabalho tem como proposta um estudo da energia elétrica fornecida a consumidores residenciais da cidade de Manaus-AM. O trabalho trata de dois temas da área de energia elétrica: a conservação da energia e a qualidade da energia elétrica, tendo como objetivo estimar a energia elétrica que se pode economizar após a identificação dos distúrbios que afetam a qualidade da energia. Para este estudo de caso, foram selecionados três consumidores residenciais com perfis de cargas distintos de onde se coletaram dados referentes à qualidade da energia utilizada naquelas residências, com o auxílio de um analisador de qualidade de energia. Com base nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica da ANEEL, que prevê requisitos mínimos de qualidade da energia (tensão e frequência) são comparados os resultados da avaliação nos consumidores selecionados, onde, do ponto de vista da tensão e frequência da rede, os níveis mínimos previstos pela ANEEL são atendidos. Entretanto, são observados significativos níveis de distorção harmônica das correntes nos consumidores em estudo. Por fim, é mostrado o impacto causado por essas distorções na elevação do consumo e a estimativa de conservação de energia no setor residencial “extraíndo-se” as perdas por distorção harmônica de corrente.

**Palavras-chave:** Conservação de energia, Qualidade da energia elétrica, consumidores residenciais.

## **ABSTRACT**

This work aims a study of electricity supplied to residential customers of the city of Manaus, state of Amazonas. The paper deals with two topics in the field of electrical energy: energy conservation and power quality, aiming to estimate the power that can save after the identification of disorders that affect the quality of energy. For this case study, we selected three residential consumers with different load profiles from which data were collected regarding the quality of the energy used in those homes with the aid of a power quality analyzer. Based on the Procedures for Electric Energy Distribution of ANEEL, which sets minimum requirements for power quality (voltage and frequency) are compared the results of the evaluation in select consumers, where the point of view of the network voltage and frequency levels minimum set by ANEEL are met. However, they are observed significant levels of harmonic currents in the consumer study. Finally, it shows the impact of these distortions in increased consumption and the estimation of energy conservation in the residential sector “extracting” the losses by current harmonic distortion.

**Keywords:** Energy Conservation, Power Quality, residential consumers.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de consumo na Cidade de Manaus em 2010.....	13
Figura 2 - Participação por equipamentos no consumo residencial.....	14
Figura 3 - Curva de carga de um consumidor residencial.....	15
Figura 4 - PROCEL e seus subprogramas.....	19
Figura 5 - Selo PROCEL de Economia de Energia.....	21
Figura 6 - Etiqueta nacional de conservação de energia.....	21
Figura 7 - Forma de onda ideal de tensões trifásicas no sistema elétrico.....	30
Figura 8 - Afundamento de Tensão ( <i>DIP</i> ou <i>SAG</i> ).....	31
Figura 9 - Elevação de Tensão ( <i>SURGE</i> ou <i>SWELL</i> ).....	32
Figura 10 - Interrupção de Tensão.....	32
Figura 11 - Flutuação de tensão ( <i>Flicker</i> ).....	33
Figura 12 - Transitório Impulsivo.....	34
Figura 13 - Transitório Oscilatório.....	35
Figura 14 - Onda senoidal com nível de tensão contínuo.....	36
Figura 15 - Onda senoidal com distorção harmônica.....	36
Figura 15a - Onda distorcida com suas componentes harmônicas.....	37
Figura 16 - Onda senoidal com interharmônicas.....	37
Figura 17 - Onda senoidal com interharmônicas.....	38
Figura 18 - Onda senoidal com ruído.....	38
Figura 19 - Analisador de energia elétrica utilizada no trabalho.....	62
Figura 20 - Configuração de ligação do analisador de energia ao Consumidor 1.....	63
Figura 21 - Configuração de ligação do analisador de energia ao Consumidor 2.....	63
Figura 22 - Configuração de ligação do analisador de energia ao Consumidor 3.....	63
Figura 23 - Monitoramento da tensão do Consumidor 1.....	64
Figura 24 - Tensão monofásica - Consumidor 1.....	65
Figura 25 - Monitoramento da tensão do Consumidor 2.....	65
Figura 26 - Tensão bifásica - Consumidor 2.....	65
Figura 27 - Monitoramento da tensão do Consumidor 3.....	66
Figura 28 - Tensão trifásica - Consumidor 3.....	66
Figura 29 - Monitoramento da frequência no Consumidor 1.....	67
Figura 30 - Monitoramento da frequência no Consumidor 2.....	67



Figura 31 - Monitoramento da frequência no Consumidor 3.....	68
Figura 32 - Fator de Potência observado no Consumidor 1.....	68
Figura 33 - Fator de Potência observado no Consumidor 2.....	69
Figura 34 - Fator de Potência observado no Consumidor 3.....	69
Figura 35 - Espectro harmônico de tensão no Consumidor 1.....	69
Figura 36 - Espectro harmônico de tensão no Consumidor 2.....	70
Figura 37 - Espectro harmônico de tensão no Consumidor 3.....	70
Figura 38 - Distorção harmônica de tensão THDv no Consumidor 1.....	71
Figura 39 - Distorção harmônica de tensão THDv no Consumidor 2.....	71
Figura 40 - Distorção harmônica de tensão THDv no Consumidor 3.....	72
Figura 41 - Desequilíbrio de tensão no Consumidor 3 no início da medição.....	72
Figura 42 - Desequilíbrio de tensão no Consumidor 3.....	73
Figura 43 - Corrente no Consumidor 1.....	73
Figura 44 - Corrente no Consumidor 2.....	74
Figura 45 - Corrente no Consumidor 3.....	74
Figura 46 - Espectro harmônico de corrente no Consumidor 1.....	74
Figura 47 - Espectro harmônico de corrente no Consumidor 2.....	75
Figura 48 - Espectro harmônico de corrente no Consumidor 3.....	75
Figura 49 - Distorção Harmônica de Corrente THDi no Consumidor 1.....	75
Figura 50 - Distorção Harmônica de Corrente THDi no Consumidor 2.....	75
Figura 51 - Distorção Harmônica de Corrente THDi no Consumidor 3.....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumidores residenciais por tipo de ligação à rede de baixa tensão.....	14
Tabela 2 - Resultados e Investimentos obtidos pelo PROCEL (adaptação do Procel 2010)	19
Tabela 3 - Indicadores de Qualidade da Energia 2010 – Manaus.....	41
Tabela 4 - Parâmetros para medição de QEE conforme a norma EN 50160.....	46
Tabela 5 - Parâmetros para medição de harmônicas conforme a norma EN 50160.....	47
Tabela 6 - Distorções harmônicas de corrente (IEEE-519).....	48
Tabela 7 - Distorções harmônicas de tensão (IEEE 519).....	48
Tabela 8 - Valores de referencia para variação de tensão.....	50
Tabela 9 - Terminologia dos valores de referência para distorções harmônicas.....	51
Tabela 10 - Valores de referência para distorções harmônicas.....	52
Tabela 11 - Valores de distorções harmônicas individuais.....	52
Tabela 12 - Terminologia aplicável às formulações de cálculo de desequilíbrio de tensão..	53
Tabela 13 - Terminologia aplicável às formulações de cálculo de sensação de cintilação...	54
Tabela 14 - Valores de Referência para $P_{st}$ e $Plt$ .....	55
Tabela 15 - Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração.....	56
Tabela 16 - Carga instalada no consumidor 1/Ligação monofásica.....	58
Tabela 17 - Carga instalada no consumidor 2/Ligação bifásica.....	59
Tabela 18 - Carga instalada no consumidor 3/Ligação trifásica.....	59
Tabela 19 - Datas de monitoramento da energia em cada consumidor.....	63
Tabela 20 - Amostra inicial da THDv para os três consumidores.....	70
Tabela 21 - Corrente por fase e Distorção Harmônica Total de corrente.....	76
Tabela 22 - Relação entre Distorção de corrente THDi e acréscimo de corrente.....	76
Tabela 23 - Corrente sem perdas por Distorção Harmônica Total de corrente (THDi).....	77
Tabela 24 - Potência consumida considerando as perdas por THDi.....	77
Tabela 25 - Potência consumida desprezando as perdas por THDi.....	77
Tabela 26 - Custo da energia considerando as perdas por THDi.....	78
Tabela 27 - Custo da energia desprezando as perdas por THDi.....	78
Tabela 28 - Custo total evitado extraindo as perdas por distorção harmônica de corrente...	78

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	12
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1 Perfil do consumidor residencial de Manaus .....	13
1.2 Motivação e contribuição deste trabalho .....	15
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	17
<b>CONSERVAÇÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR RESIDENCIAL</b> .....	17
2.1 Uso racional da energia elétrica .....	17
2.2 Programas de conservação de energia elétrica .....	18
2.3 Conservação da energia elétrica no uso final .....	22
2.3.1 Iluminação residencial .....	22
2.3.2 Refrigeração residencial .....	23
2.3.3 Condicionamento do ar .....	24
2.3.4 Equipamentos eletrônicos .....	26
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	27
<b>DISTÚRBIOS DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA</b> .....	27
3.1 Condições ideais de operação de um sistema elétrico .....	28
3.2 Variações de tensão de curta duração .....	30
3.3 Variações de tensão de longa duração .....	32
3.4 Desequilíbrios de tensão .....	33
3.5 Flutuação de tensão .....	33
3.6 Transitórios Impulsivos e Oscilatórios .....	33
3.7 Distorção na forma de onda .....	35
3.8 Variação na frequência do sistema .....	39
3.9 Qualidade do Serviço .....	39

<b>CAPÍTULO 4</b> .....	42
<b>NORMALIZAÇÃO SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA E METODOLOGIA</b> .....	42
4.1 Norma IEC 61000-4-30 - Métodos de medição de Qualidade da Energia. ....	42
4.1.1 Parâmetros da qualidade da energia elétrica .....	43
4.2 Norma EN 50160 – Padrões de Qualidade de Energia.....	45
4.3 IEEE 519 - Recomendações práticas e requisitos no controle de Harmônicos no Sistema Elétrico de Potência .....	47
4.4 IEEE 1159 - Recomendações para monitoramento da qualidade da energia .....	48
4.5 Normalização brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica .....	49
4.6 Metodologia e procedimentos adotados na observação da qualidade da energia.....	57
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	61
<b>MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA</b> .....	61
5.1 Medidores de Qualidade da Energia.....	61
5.2 Resultados encontrados nas medições .....	62
5.2.1 Tensão em regime permanente.....	64
5.2.2 Variação da Frequência.....	67
5.2.3 Fator de Potência.....	68
5.2.4 Harmônicos .....	69
5.2.5 Desequilíbrio de Tensão.....	72
5.2.6 Corrente consumida e Harmônicos de corrente .....	73
5.3 Medidas de mitigação e redução de consumo de energia elétrica .....	79
<b>CONCLUSÃO</b> .....	81
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	83

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

A utilização da energia elétrica em baixa tensão na cidade de Manaus se dá por meio de unidades consumidoras (residências, comércios, pequenas indústrias e outros). Este insumo, hoje disponibilizado pela concessionária Eletrobrás Amazonas Energia incrementa tanto a qualidade de vida da população quanto possibilita o crescimento e o desenvolvimento econômico da cidade de Manaus e dos demais municípios do estado. Entretanto, com o passar dos anos, à medida que os consumidores tornaram-se mais sofisticados do ponto de vista tecnológico, diversos fatores vêm sendo questionados quanto à energia elétrica a eles fornecida. Não apenas em relação aos índices de confiabilidade no fornecimento, ou seja, a qualidade do serviço de distribuição da energia, mas também quanto à qualidade do *produto* energia elétrica fornecida a tais consumidores. Tem-se observado diversos eventos prejudiciais ao consumidor residencial, quando da utilização da energia elétrica, tais como queima de aparelhos eletroeletrônicos sem motivo aparente, cintilação luminosa, interferências, aumento no consumo de energia elétrica medido, além das interrupções no fornecimento do serviço.

Este estudo pretende analisar a qualidade da energia elétrica fornecida a consumidores residenciais de energia elétrica na cidade de Manaus. Serão observados e avaliados os tipos de distúrbios presentes na energia elétrica, com destaque para os fenômenos descritos nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - *PRODIST: Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica* (ANEEL, 2011). São eles:

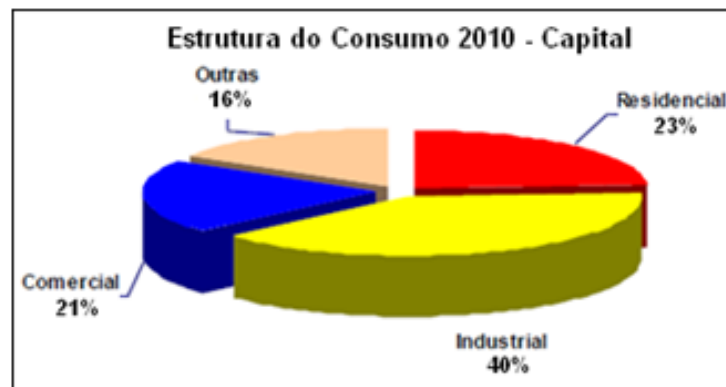
- *Tensão em regime permanente;*
- *Fator de Potência;*
- *Harmônicos;*
- *Desequilíbrio de Tensão;*
- *Flutuação de Tensão;*
- *Variações de Tensão de curta duração*
- *Variações de Frequência da rede.*

Com bases nos resultados obtidos das medições, a primeira ação tomada será verificar se o produto energia elétrica fornecida atende aos requisitos mínimos propostos pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, em seus procedimentos de distribuição de energia. Uma vez identificados os distúrbios da qualidade da energia, será então estimado o potencial de conservação de energia nos pontos observados, permitindo dessa forma traçar um perfil do desperdício de energia devido à ocorrência dos fenômenos impactantes na qualidade da energia. Posteriormente se pretende propor medidas de mitigação e controle de desperdícios de energia atuando nos distúrbios observados.

Este trabalho está delimitado no setor residencial, de onde se pretende observar três tipos de consumidores diferentes conforme o perfil de carga instalada e respectiva ligação ao sistema elétrico de baixa tensão da cidade. Preliminarmente é necessário conhecer como se apresenta o consumo de energia elétrica no setor residencial da cidade de Manaus.

### 1.1 Perfil do consumidor residencial de Manaus

Segundo o Relatório de Administração da Concessionária Eletrobrás Amazonas Energia – ano base 2010, no que se refere à classe residencial, o consumo de energia elétrica no ano de 2010 representou 23% do consumo total da energia na capital, ou seja 933 GWh de energia elétrica, apresentando um aumento de 5,58% no consumo médio residencial em relação ao ano anterior (884 GWh). A Figura 1 mostra a estrutura de consumo na capital Manaus no ano de 2010.



Fonte: Eletrobrás Amazonas Energia, 2010.

Figura 1 - Estrutura de consumo na Cidade de Manaus em 2010.

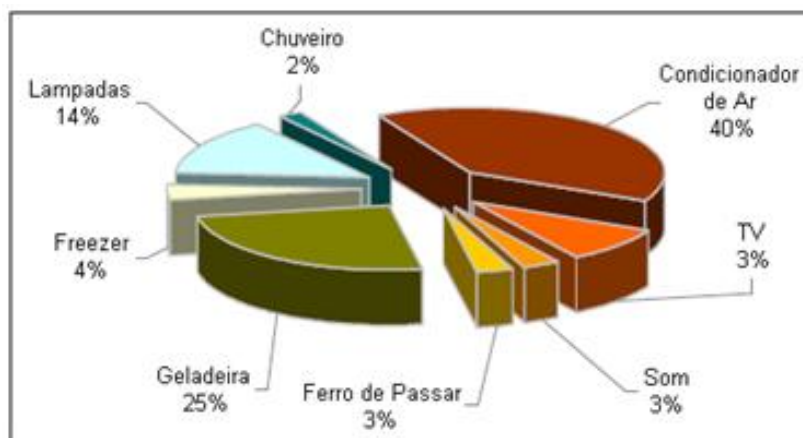
Este estudo tomou por base a subclasse *residencial I*, conforme descrita no artigo 5º da Resolução 414 da ANEEL, as demais subclasses residenciais – baixa renda, indígena, quilombola, residencial assistência social – não estão inclusas neste trabalho. A subclasse residencial I, alvo deste estudo, no ano de 2010 representava 408.291 unidades consumidoras. A tabela 1 apresenta a subclasse residencial I da cidade de Manaus, distribuída por tipo de ligação da unidade à rede elétrica.

Tabela 1 - Consumidores residenciais por tipo de ligação à rede de baixa tensão

MANAUS	TIPO DE LIGAÇÃO			TOTAL
	MONOFÁSICA	BIFÁSICA	TRIFÁSICA	
CONSUMIDORES POR TIPO DE LIGAÇÃO	282.235 (69,1%)	87.901 (21,5%)	38.155 (9,4%)	408291 (100%)

Fonte: Eletrobrás Amazonas Energia, 2010.

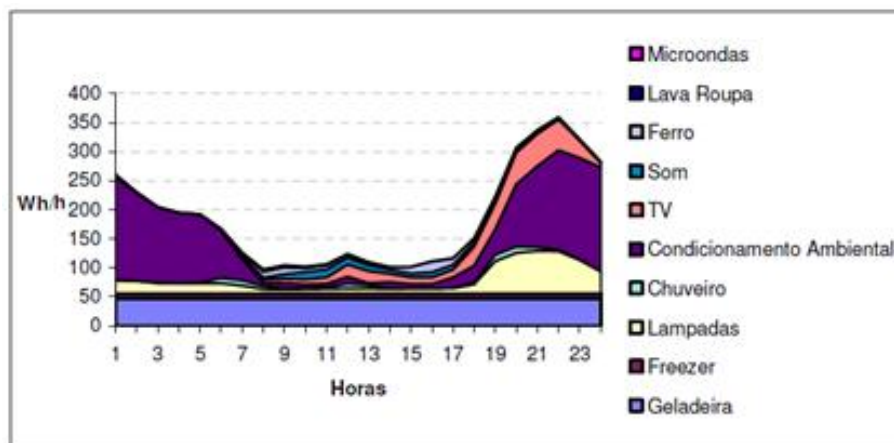
Por meio da pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso realizada em 2007 pelo Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica - PROCEL, pode-se observar a participação dos equipamentos mais importantes no que se refere ao consumo médio residencial. Segundo dados dessa pesquisa de campo, coordenada pela Eletrobrás, por meio do PROCEL, verificou-se (figura 2) como é consumida a energia elétrica na classe residencial, onde a utilização de geladeiras e freezers aparece como responsável por 29% desse consumo. No que se refere ao condicionamento de ar, o percentual chega a 40% do consumo. A iluminação residencial representa 14%, os demais aparelhos apresentam parcelas menores de consumo nessa classe. Esses dados se referem à média extraída de uma amostra de consumidores da região norte, sendo adotada como padrão de consumo de energia elétrica residencial em Manaus.



Fonte: PROCEL, 2007.

Figura 2 - Participação por equipamentos no consumo residencial.

A curva de carga apresentada na figura 3 mostra a carga de um consumidor hipotético da região norte, esta curva foi obtida por meio da divisão da carga diária residencial da região norte pelo número de consumidores atendidos. Este gráfico reflete o consumo diário de energia elétrica de um consumidor residencial, considerando as frações dos equipamentos possuídos e os hábitos de consumo obtidos conforme pesquisa de amostragem. Este trabalho tomará como referência este perfil de consumidor.



Fonte: PROCEL, 2007.

Figura 3 - Curva de carga de um consumidor residencial.

O perfil típico do consumidor residencial de energia elétrica na cidade se apresenta com predominância de consumo na utilização de equipamentos de climatização do ambiente (condicionadores de ar), o que se justifica devido ao clima quente da região. Em seguida se observa a significativa contribuição da iluminação no consumo, em destaque no período noturno. Consumo constante se vê em geladeiras e freezers que funcionam 24 horas por dia. A contribuição da TV também é significativa, como mostra o gráfico, principalmente no período noturno. Os demais aparelhos mostrados na curva de carga apresentam menor participação no consumo residencial total.

## 1.2 Motivação e contribuição deste trabalho

A motivação deste trabalho foi encontrada na possibilidade de investigação de problemas ainda desconhecidos por parte da população, os chamados distúrbios da energia elétrica. Estudar a qualidade da energia elétrica e sua associação ao tema conservação e eficiência energética despertou interesse, tendo em vista que qualidade/conservação andam



lado ao lado, uma vez que defeitos de qualidade da energia influenciam diretamente no aproveitamento da energia elétrica. A inexistência de trabalhos nesta área na cidade de Manaus também contribuiu para o interesse por esse campo de pesquisa.

Como contribuição este trabalho disponibilizará informações referentes à qualidade da energia na cidade de Manaus. Serão informações que a concessionária local não dispõe, pois esta ainda não realizou nenhuma campanha de medição de qualidade da energia prevista na resolução normativa 345/2008 que instituiu o PRODIST/ANEEL - Módulo 8: Qualidade da energia elétrica. Na área da eficiência energética, serão apresentados meios para redução dos impactos que os distúrbios de qualidade da energia proporcionam, otimizando assim o consumo da energia e evitando desperdícios decorrentes de tais distúrbios.

## **CAPÍTULO 2**

### **CONSERVAÇÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR RESIDENCIAL**

“A conservação de energia, como conceito socioeconômico, tanto no uso final como na oferta de energia, está apoiada em duas ferramentas para conquistar sua meta: mudança de hábitos e eficiência energética” (ELETROBRÁS/PROCEL EDUCAÇÃO, 2006). Este trabalho está focado no segundo caso, as ações de eficiência energética, como medida de conservação de energia elétrica.

Para se ter idéia “o consumo de energia elétrica na classe residencial da Cidade de Manaus, no ano de 2010, apresentou um crescimento de 5,58% em relação ao ano anterior, representando 23% da energia consumida na cidade” (ELETROBRÁS AMAZONAS ENERGIA, 2010). Este percentual representou 933 GWh de energia elétrica consumida na classe residencial naquele ano, equivalente a cerca de um quarto da energia consumida na cidade de Manaus.

#### **2.1 Uso racional da energia elétrica**

A energia elétrica tem um grande papel no desenvolvimento econômico de uma sociedade. Devido ao consumo crescente, devem-se buscar alternativas para o crescimento do fornecimento de energia no lado da oferta, e o uso racional dessa energia no lado da demanda através de ações de conservação e eficiência energética. A alternativa apresentada por muitos países, no que diz respeito à conservação de energia, se dá por meio de campanhas de combate ao desperdício e pelo investimento em ações visando o aumento da eficiência no uso final.

Para Oliveira (2009), a aplicação de programas de uso eficiente e racional de energia apresenta custos e tempo de retorno de investimentos relativamente pequenos e os resultados quanto à redução de consumo são imediatos, tornando esta uma boa solução em curto prazo. O uso racional da energia elétrica no consumidor final tem como vantagens, a redução do gasto com energia elétrica, a otimização da sua instalação elétrica e a preservação ambiental.

No Brasil, as medidas de eficiência energética só se efetivaram a partir do Programa Nacional de Conservação de Energia, o PROCEL, que será discutido a seguir.

## **2.2 Programas de conservação de energia elétrica**

As medidas em eficiência energética adotadas em nível mundial vêm sendo aplicadas desde a década de setenta, motivadas pela crise do petróleo. Após este evento, surgiram iniciativas em vários países para conscientizar os consumidores sobre o uso racional e eficiente da energia.

No Brasil, a primeira ação do governo federal em relação à conservação de energia se deu em 1981, por meio do Programa *Conserve*, que tinha como objetivo estimular a conservação e substituição de óleo combustível utilizado na indústria, visando à promoção da eficiência energética, ao desenvolvimento de produtos e processos energeticamente mais eficientes, estimulando a substituição de energéticos importados. Entre 1981 e 1985, 79% das ações realizadas pelo *Conserve* foram de substituição energética, ou seja, estímulo à intensificação do uso da eletricidade em substituição ao óleo combustível utilizado na indústria (ALVAREZ, 1998).

Os ganhos do Programa *Conserve* foram significativos, porém com a substituição do óleo combustível por eletricidade nos processos industriais, verificou-se que, na verdade, ocorreu uma transferência da responsabilidade sobre a conservação de energia para o setor elétrico. Como o crescimento da demanda por energia elétrica cresceu consideravelmente, a estratégia foi implementar uma política de conservação de energia elétrica. Então, em 1985, é criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, o primeiro programa do governo federal destinado à conservação e uso eficiente da energia elétrica.

O objetivo do PROCEL é promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais. O Programa utiliza recursos da Eletrobrás e da Reserva Global de Reversão (RGR), este último é um fundo federal constituído por recursos das concessionárias, proporcionais ao investimento de cada uma. Utiliza, ainda, recursos de entidades internacionais.

A tabela 2 apresenta os resultados do PROCEL, período de 1986 a 2007. Observa-se que a energia economizada foi de 28,52 TWh. Considerando a demanda de energia prevista para o estado do Amazonas de 8.216 GWh (em 2010), a energia economizada daria para suprir o estado do Amazonas por mais de 3 anos.

Tabela 2 - Resultados e Investimentos obtidos pelo PROCEL (adaptação do Procel 2010).

Ações e Resultados	1986/ 2003	2004	2005	2006	2007	TOTAL
Investimentos Eletrobrás/Procel (R\$ milhões). <sup>(a)</sup>	252,01	27,18	37,17	29,24	13,62	359,22
Investimentos RGR (R\$ milhões).	412,00	54,00	44,60	77,80	39,16	627,56
Investimentos do Projeto de Eficiência Energética do Brasil (R\$ milhões).	2,09	12,97	16,23	6,20		37,49
Investimentos Totais Realizados (R\$ milhões).	666,08	94,15	98,02	113,24	52,78	1024,27
Energia Economizada (TWh/ano).	17,22	2,37	2,16	2,84	3,93	<b>28,52</b>
Redução de Demanda na Ponta (MW).	4.633	622	585	772	1.357	7969,00
Usina Equivalente (MW). <sup>(b)</sup>	4.033	569	518	682	942	6744,00
Investimentos Postergados (R\$ bilhões).	10,65	2,50	1,77	2,23	2,76	19,91

Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2010.

(a) Refere-se somente aos recursos orçamentários do PROCEL efetivamente realizados em cada ano, não sendo considerados os salários do pessoal ELETROBRÁS/PROCEL;

(b) Obtida a partir da energia economizada, considerando um fator de capacidade médio típico de 56% para usinas hidrelétricas e incluindo 15% de perdas na transmissão e distribuição na parcela conservação de energia.

O PROCEL estabelece metas de redução de conservação de energia que são consideradas no planejamento do setor elétrico, dimensionando as necessidades de expansão da oferta e da transmissão de energia. Dentre elas, destacam-se:

- Redução nas perdas técnicas das concessionárias;
- Racionalização do uso da energia elétrica;
- Aumento da eficiência energética em aparelhos elétricos.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL é constituído de vários Subprogramas, que atuam em diferentes áreas, como mostra a Figura 4 a seguir:



Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2010.

Figura 4 - PROCEL e seus subprogramas.

“Se for mantida a estrutura atual de uso da energia, projeta-se uma necessidade de suprimento, em 2015, em torno de 780 TWh/ano” (SOUZA et al, 2009). Diminuindo-se os desperdícios, estima-se uma redução anual de até 130 TWh - produção aproximada de duas usinas de Itaipu.

Com a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, a chamada “Lei de Eficiência Energética”, regulamentada pelo Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001, foram estabelecidos os procedimentos para a adoção de níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País. Essa lei contribuiu significativamente para o fortalecimento do PROCEL, mas ela ainda continua em fase gradativa de implantação, todavia já foram regulamentados os índices mínimos de eficiência para motores elétricos trifásicos, lâmpadas fluorescentes compactas, refrigeradores e congeladores, condicionadores de ar, fogões, fornos a gás e aquecedores de água a gás.

## **SELO PROCEL DE ECONOMIA DE ENERGIA**

Um subprograma do PROCEL que tem contribuído significativamente para ações de conservação de energia por parte do consumidor final é o SELO PROCEL DE ECONOMIA DE ENERGIA ou simplesmente SELO PROCEL. Este selo foi instituído por Decreto Presidencial em 8 de dezembro de 1993 - que dispôs sobre a criação do Selo Verde de eficiência energética. É um produto desenvolvido e concebido pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia – MME.

O SELO PROCEL (figura 5) tem por objetivo orientar o consumidor no ato da compra, indicando os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria, proporcionando assim economia na sua conta de energia elétrica. Também estimula a fabricação e a comercialização de produtos mais eficientes, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e a preservação do meio ambiente.



Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2010.

Figura 5 - Selo PROCEL de Economia de Energia.

No processo de concessão do Selo Procel, a Eletrobrás conta com a parceria do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO, executor do Programa Brasileiro de Etiquetagem-PBE, cujo principal produto é a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE (mostrada na figura 6), sendo também a Eletrobrás, parceira do INMETRO no desenvolvimento do PBE. Os produtos contemplados com o Selo Procel são caracterizados pela faixa “A” da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

<b>Energia</b> (Elétrica)		REFRIGERADOR	→ Indica o tipo de equipamento
Fabricante	ABCDEF	XYZ(Logo)	→ Indica o nome do fabricante
Marca			→ Indica a marca comercial ou logomarca
Tipo de degelo	ABCAutomático		
Modelo/tensão(V)	IPQR/220		→ Indica o modelo/tensão
<b>Mais eficiente</b>		<b>A</b>	→ A letra indica a eficiência energética do equipamento / Veja a tabela correspondente na coluna ao lado
<b>Menos eficiente</b>			
<b>CONSUMO DE ENERGIA (kWh/mes)</b> <small>(adotado no teste clima tropical)</small>		<b>XY,Z</b>	→ Indica o consumo de energia em kWh/mês
Volume do compartimento refrigerado (l)		000	
Volume do compartimento do congelador (l)		000	
Temperatura do congelador (°C)		-18	
<small>Regulamento Específico Para Uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia Lista de Fabricadores e Assinaturas - REC/001-16/F Instruções de instalação e recomendações de uso, leia o Manual do aparelho.</small>			

Fonte: INMETRO, 2010.

Figura 6 - Etiqueta nacional de conservação de energia.

Para ser contemplado com o SELO PROCEL, o produto deve ser submetido a ensaios específicos em laboratório idôneo, indicado pelo PROCEL. Os parâmetros a serem avaliados para cada equipamento constam nos Critérios Específicos para Concessão do Selo Procel, que consta no *Regulamento do Selo Procel de Economia de Energia - 2010*. A adesão das empresas ao Selo Procel é voluntária.

Dessa forma, o SELO PROCEL configura-se como um importante instrumento para o combate ao desperdício de energia elétrica, estimulando os fabricantes à constante evolução do desempenho energético dos seus equipamentos. A cada ano, novas categorias de equipamentos são incluídas, incentivando cada vez mais a oferta de bens energeticamente eficientes e de melhor qualidade, contribuindo com a formação, nos consumidores, de uma cultura de permanente preocupação com o uso eficiente da energia e seus impactos ambientais.

### **2.3 Conservação da energia elétrica no uso final**

Após passar por diversos processos de conversão, transporte e distribuição, a energia, já na forma de eletricidade é então disponibilizada ao consumidor final. A energia elétrica consumida pelos equipamentos é o que chamamos de energia de uso final. Contudo, o desperdício devido ao uso inadequado desses equipamentos tem proporcionado significativas perdas ao uso final da energia elétrica.

No caso dos consumidores residenciais, a energia elétrica fornecida é destinada a diferentes usos finais, são eles, iluminação, climatização, refrigeração, equipamentos eletrônicos e eletrodomésticos. A partir de uma análise dos usos finais da energia é possível a identificação dos pontos de maior consumo de energia e, com o auxílio de medidas de eficiência energética, é possível reduzir o desperdício de energia associado.

#### **2.3.1 Iluminação residencial**

No que diz respeito uso final, a iluminação residencial é de extrema importância na avaliação do padrão de consumo residencial, pois na iluminação podem-se realizar ações simples, como troca ou substituição de lâmpadas, mas que contribuem para a conservação de energia e verificação de resultados em curto prazo. Além disso, “a iluminação tem uma grande participação no consumo global do setor residencial, respondendo por, aproximadamente, 14% do consumo de energia elétrica neste setor” (ALVAREZ, 1998).

Nos sistemas de iluminação, a eficiência energética está associada às características técnicas, à eficiência e ao rendimento de um conjunto de elementos, onde se destacam:

- Lâmpadas;
- Luminárias;
- Reatores.

Os equipamentos de iluminação residencial se apresentam com grande variedade e diferentes características, podendo ser empregados em ambientes internos e externos. Os principais tipos de lâmpadas empregadas na iluminação residencial são as do tipo incandescentes, fluorescentes tradicionais e compactas, e nos últimos anos as lâmpadas a LED (diodo emissor de luz) embora ainda pouco empregadas.

A substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas tem sido uma solução interessante do ponto de vista da eficiência energética, devido à significativa redução de consumo de energia elétrica para uma eficiência luminosa equivalente. Exemplo disso é o que as concessionárias de energia elétrica do Brasil e do mundo estão promovendo, através de subsídios, a substituição em massa das lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas. O que tem sido um ótimo negócio para as concessionárias, pois “o investimento necessário que seria feito por essas empresas para a ampliação da capacidade de geração de uma usina gira em torno de 1 a 4 milhões de dólares por MW instalado, enquanto que para se reduzir 1 MW através da substituição de lâmpadas são necessários apenas 500 mil dólares” (ELETROBRÁS/PROCEL, 2010).

### **2.3.2 Refrigeração residencial**

Nas residências, os equipamentos responsáveis pela refrigeração são geladeiras e *freezers*. Conforme já citado anteriormente, o consumo da refrigeração residencial representa em média 29%. Com relação às características desses equipamentos, ambos têm basicamente o mesmo princípio de funcionamento diferindo somente na temperatura interior, pois ambos têm o objetivo de retirar o calor existente no seu interior e fornecer a temperatura adequada para conservação ou congelamento de alimentos.

Dessa forma, para se melhorar a eficiência nos sistema de refrigeração, as concessionárias de energia elétrica recomendam as seguintes ações de modo a reduzir o consumo de energia:

- Deverão ser verificadas periodicamente as borrachas de vedação das portas de geladeiras e freezers. O sistema de vedação é fundamental na redução do consumo do



equipamento, pois devido à perda de ar frio do equipamento, o sistema não consegue alcançar a temperatura necessária ao desligamento do compressor, ficando este em constante funcionamento, elevando o consumo de energia;

- O equipamento deverá ser instalado em ambiente ventilado, fora do alcance dos raios solares e distante de fogão;

- Não se deve utilizar a parte traseira para secar panos, pois isso dificulta a troca de calor do gás refrigerante, fazendo o compressor trabalhar mais;

- Não abra a geladeira com muita frequência, crie o hábito de colocar e retirar alimentos e bebidas de uma só vez;

- Não coloque alimentos quentes na geladeira, pois a troca de calor permanecerá por mais tempo, forçando o compressor por mais tempo.

- Verifique se a temperatura do congelador e o volume interno são adequados às suas necessidades e regule o termostato adequadamente em períodos frios do ano (conforme o manual do fabricante).

Como fora demonstrado acima, as medidas de conservação de energia em equipamentos de refrigeração estão concentradas em mudança de comportamento dos usuários ou em pequenas ações técnicas, como a substituição da borracha de vedação do refrigerador quando esta não mais estiver cumprindo a função de vedação, ou na troca do aparelho por outro energeticamente mais eficiente.

### **2.3.3 Condicionamento do ar**

“O condicionamento de ar é um processo que visa o controle simultâneo, num ambiente delimitado, da pureza, umidade, temperatura e movimentação do ar” (ELETROBRÁS/PROCEL EDUCAÇÃO, 2006). No ambiente residencial, sua principal finalidade é o controle da temperatura para propiciar conforto aos moradores.

Conforme foi mostrado anteriormente, o consumidor residencial da região gasta aproximadamente 40% da energia elétrica somente com a climatização de ambientes. Os equipamentos utilizados são condicionadores de ar do tipo *janela* e do tipo *split-system*, aquele com um custo inicial relativamente baixo quando comparados a este. Mas independente do sistema, os condicionadores de ar são equipamentos que ainda apresentam um alto consumo de energia elétrica e impactam sobremaneira nas faturas de energia das residências, mesmo aqueles com etiqueta da classe “A” do PROCEL.

Para efeito de comparação, tomando-se um aparelho tipo janela, classe “A”, de um determinado fabricante, com capacidade de 18.000 BTU/h, tensão de operação de 220V, se utilizado uma hora por dia durante um mês o consumo deste equipamento seria de 37,8 kWh. Quando comparado com um aparelho *split-system*, classe “A”, do mesmo fabricante, de 18.000 BTU/h, tensão de operação de 220V, funcionamento o mesmo período, seu consumo será de 35,7 kWh. Então, para uma mesma capacidade, dois aparelhos novos, nas mesmas condições de instalação, percebe-se que um aparelho do tipo *split-system* consome em torno de 5,5% a menos que o do tipo janela, no caso desse fabricante em especial (SILVA, 2008).

Diversas iniciativas e programas de redução do consumo foram realizados nos últimos anos. Na cidade de Manaus se pode destacar o PROJETO CAEMA – Condicionadores de Ar, Energia e Meio Ambiente. Trata-se de um Programa de Eficiência Energética executado pelo Núcleo Interdisciplinar de Energia, Meio Ambiente e Água – NIEMA da Universidade federal do Amazonas - UFAM em parceria com a Eletrobrás Amazonas Energia.

Segundo Cartaxo (2004), o Projeto CAEMA foi responsável pela substituição de 500 condicionadores de ar ineficientes por condicionadores com alta eficiência energética (classe “A”). Nesse projeto foi possível avaliar o desempenho técnico-econômico de condicionadores de ar com alta eficiência no setor residencial. Em pesquisa realizada após a implementação deste projeto, 93,96% dos domicílios participantes do projeto perceberam redução de consumo de energia nos meses subsequentes após a troca do aparelho. Como resultado do Projeto CAEMA, verificou-se uma redução média de potência de aproximadamente 491W por aparelho trocado e uma redução média de energia de 232.788 MWh/ano.

Como se pode ver, a substituição de um aparelho do tipo janela antigo por outro mais moderno e eficiente ou por um tipo *split* deve ser considerada como uma boa opção, contudo deve ser levado em conta o retorno do investimento, que está diretamente ligado ao número de horas de utilização do aparelho.

Outra questão que tem peso significativo na conservação de energia elétrica residencial nesse uso final é o dimensionamento do equipamento para o ambiente desejado, que, quando realizado de forma correta, permite diminuir o desperdício de energia.

Como medidas técnicas e comportamentais para aumento da eficiência no uso de condicionadores de ar podemos destacar as seguintes:

- Deve-se proteger a unidade condensadora dos equipamentos *split*, da insolação direta, pois a incidência de raios solares causa elevação da temperatura de condensação do fluido circulante do condensador, o que leva à redução no rendimento e na vida útil do aparelho;

- O aparelho deverá ser dimensionado adequadamente para o tamanho do ambiente;
- Deve-se evitar o excesso de frio, regulando o termostato;
- Mantenha as janelas e portas fechadas quando o aparelho estiver em funcionamento;
- Não tape a saída de ar do aparelho e mantenha os filtros limpos para circulação do ar.

### **2.3.4 Equipamentos eletrônicos**

Quando se trata dos equipamentos eletrônicos, as dicas de conservação de energia no uso residencial são de mudança comportamental ou de aquisição de equipamentos mais eficientes, são elas:

- Evite deixar os aparelhos no modo stand-by, pois segundo o PROCEL este modo chega a representar até 12% do consumo do aparelho;
- No caso dos televisores, os de tela LED e LCD consomem menos energia que os de Plasma.

Como visto, os atuais programas de conservação de energia, adotados pelos diversos organismos governamentais (PROCEL – Eletrobrás - Universidades) e não governamentais (ESCOS – Empresas de consultoria em Energia), são elaborados e executados considerando-se que o sistema elétrico de potência esteja trabalhando sob condições senoidais, com níveis de tensão e frequência dentro de valores estabelecidos por normas. Desta forma, os problemas associados com a qualidade da energia elétrica não são levados em consideração (ELETROBRÁS/PROCEL EDUCAÇÃO, 2006). O capítulo seguinte apresenta esses problemas que hoje já são conhecidos.

## CAPÍTULO 3

### DISTÚRBIOS DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

A qualidade da energia elétrica, necessária ao uso final, está condicionada às diversas etapas de um sistema de energia elétrica, que vai desde a geração, transmissão, distribuição até o consumo final desta energia. “Na essência, o termo Qualidade da Energia é usado para caracterizar qualquer variação de amplitude, de frequência e/ou qualquer deformação da forma de onda das grandezas elétricas, quer sejam em condições de regime transitório ou permanente num sistema elétrico de energia que pode causar a falha ou mau funcionamento dos equipamentos elétricos” (MARTINHO, 2009).

De acordo com Dugan *et al* (2004), a definição de problemas relacionados à qualidade de energia elétrica é: “qualquer problema de energia manifestado na tensão, corrente ou nas variações de frequência que resulte na falha ou má operação de equipamentos dos consumidores”.

Ressalta-se que qualidade de energia pode apresentar definições diferentes, de acordo com as necessidades e anseios de cada grupo. No caso das concessionárias, a qualidade de energia é tratada como um indicador de confiabilidade do suprimento elétrico sendo este indicador avaliado por meio de análises e estatísticas. Já os fabricantes de equipamentos definem qualidade de energia como a energia elétrica com níveis de tensão e frequência dentro de parâmetros com os quais os equipamentos continuam trabalhando satisfatoriamente. Para o usuário final, a qualidade da energia está associada com a continuidade do serviço de fornecimento ininterrupto, lhe permitindo a utilização sempre que desejar. Independente da definição aplicada à qualidade da energia elétrica é sabido que a má qualidade da energia é uma preocupação em todos os seguimentos envolvidos com energia elétrica e que precisa ser tratada de modo a reduzir seus efeitos em qualquer grupo a ser considerado.

Este capítulo trata dos distúrbios mais frequentes que influenciam diretamente a qualidade da energia elétrica, tais distúrbios podem ser originados na geração da energia nas concessionárias, nas redes elétricas do sistema de transmissão/distribuição ou nas instalações do próprio consumidor. A seguir, serão classificados os principais distúrbios de acordo com

suas características, são eles: variações de tensão de longa duração, variações de tensão de curta duração, desequilíbrios de tensão, flutuação de tensão, distorção na forma de onda, variação na frequência do sistema e transitórios impulsivos e oscilatórios. Contudo, serão mostradas primeiramente, as condições ideais de um sistema elétrico como citado por Oliveira (2009):

### 3.1 Condições ideais de operação de um sistema elétrico

Agora serão descritas as condições que um sistema elétrico trifásico ideal deve satisfazer na operação em regime permanente, as quais garantem o atendimento adequado de qualquer carga a ele ligada.

#### Forma de onda senoidal

A função senoidal garante a reversibilidade do processo de conversão eletromagnética, associada à lei de indução de Faraday, preservando as formas de onda do fluxo e da tensão. Matematicamente a tensão senoidal fica caracterizada como na equação (1.1).

$$v(t) = A \sin(2\pi ft + \theta) \quad (3.1)$$

Onde:

$A$ : amplitude da onda senoidal (V);

$f$ : frequência da onda (Hz);

$\theta$ : ângulo de fase relativo à referência temporal (rad);

#### Amplitude constante

A amplitude da tensão determina o nível de isolamento requerido e o nível de corrente para uma dada potência ou para uma dada impedância. Portanto, para certo tipo de isolamento, é a amplitude da tensão constante que garante a potência desejada para cargas passivas de impedância constante.

## Frequência constante

Há a necessidade de um controle de frequência contínuo e rigoroso para manter o sistema operando em condições estáveis, pois é a frequência da tensão que determina o balanço entre as potências geradas e as consumidas pelas cargas, a estabilidade da operação dos geradores síncronos e o sincronismo entre os vários geradores interligados.

## Fases equilibradas

Em sistemas trifásicos, além das características de forma de onda citadas é preciso que a potência se distribua igualmente entre as fases, para assegurar um sistema equilibrado, no qual para cada fase as cargas devem ter as mesmas características elétricas e magnéticas e as tensões as mesmas amplitudes e defasagens. Estas condições são satisfeitas para as tensões dadas nas equações a seguir.

$$va(t) = A \sin(2\pi ft + \theta) \quad (3.2)$$

$$vb(t) = A \sin(2\pi ft + \theta - 2\pi/3) \quad (3.3)$$

$$vc(t) = A \sin(2\pi ft + \theta + 2\pi/3) \quad (3.4)$$

Prova-se que para um sistema equilibrado o fluxo de potência total é unidirecional e constante, indo da fonte para a carga, garantindo a não circulação de potência desnecessária (perdas) ou a sobrecarga de uma fase em relação às outras.

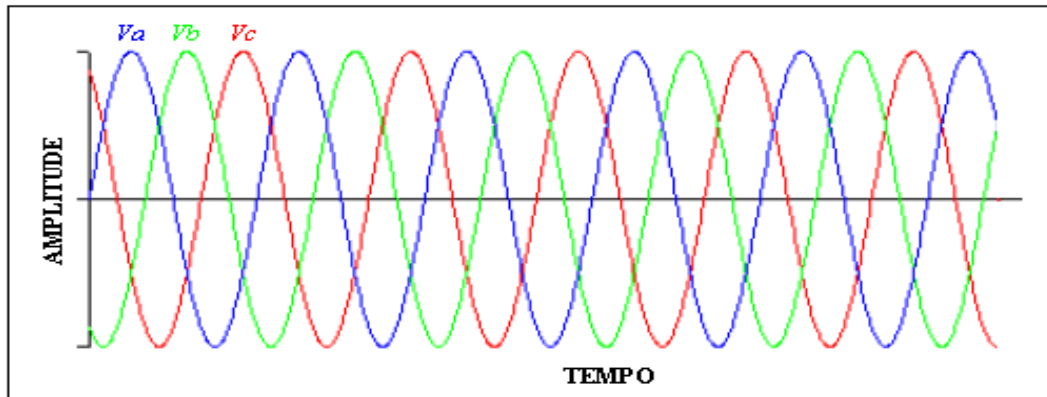
## Fator de potência unitário

A operação com fator de potência unitário propicia vantagens como o fluxo de potência mínimo na linha para uma determinada carga, já que não há a necessidade de transmissão de potência reativa, perdas de transmissão mínimas e melhora da capacidade de regulação de tensão.

## Condições reais de operação

Em sistemas elétricos reais estas condições dificilmente são satisfeitas, já que a rede está sempre sujeita a falhas ou perturbações. Entretanto é interessante adotar as condições de

operação de um sistema ideal como referência na avaliação da qualidade de energia de um sistema real. A figura 7 mostra uma forma de onda que atende às condições ideais. Nas seções seguintes são apresentados os principais distúrbios da energia elétrica, conforme citado em Oliveira, 2009, p.6-12.



Fonte: Oliveira, 2009.

Figura 7 - Forma de onda ideal de tensões trifásicas no sistema elétrico.

### 3.2 Variações de tensão de curta duração

A variação de tensão é uma modificação do valor de tensão originalmente definido como padrão, também chamado de valor nominal, sendo possível a variação deste valor para mais ou para menos. Porém, toda variação de tensão deve estar integrada a uma unidade de tempo que define o tipo de variação de tensão existente.

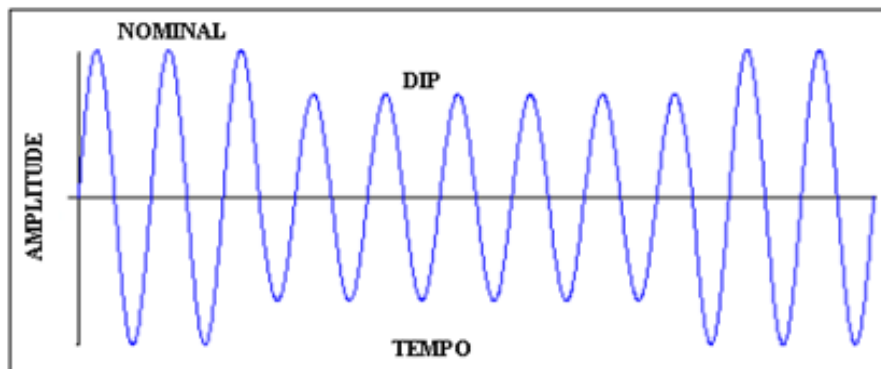
Nesta seção será discutida a *Variação de Tensão de Curta Duração* que se caracteriza pelo fenômeno de aumento ou redução da tensão em relação à tensão nominal da rede, durante um período entre 1/2 Ciclo e um minuto. Quando se trata de um afundamento de tensão, a variação de curta duração é conhecida como *DIP* ou *SAG*, quando a variação de curta duração se apresentar como elevação de tensão, é comumente chamada de *SURGE* ou *SWELL*.

#### Afundamento de Tensão de Curta Duração

É definido como sendo uma redução no valor eficaz da tensão, entre 0,1 a 0,9 pu (por unidade) na frequência fundamental, com duração entre 1/2 ciclo e um minuto. Como

principais causas de afundamentos de tensão de curta duração, destacam-se as faltas ocorridas nas redes e a alimentação de cargas de potências elevadas.

Afundamentos de tensão menores que 10% do valor nominal da tensão eficaz, não são levadas em consideração, tendo em vista que quedas de tensão menores que 10% são toleradas pela maioria dos equipamentos elétricos. A figura 8 a seguir ilustra esse tipo de distúrbio.



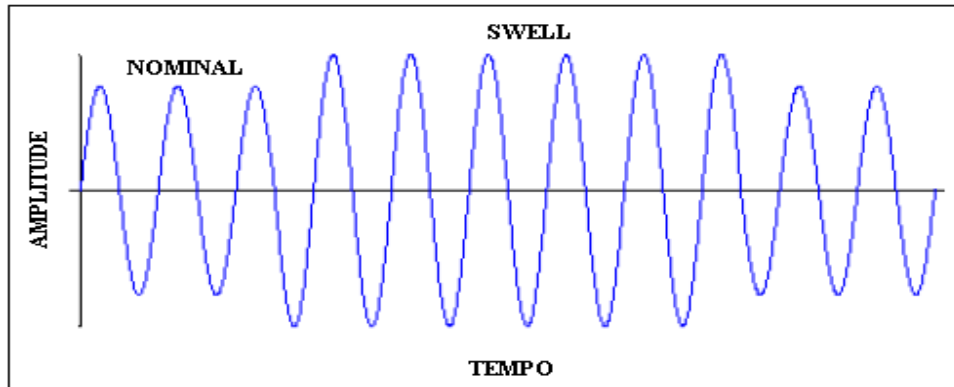
Fonte: Oliveira, 2009.

Figura 8 - Afundamento de Tensão (*DIP* ou *SAG*).

### **Elevação de Tensão de Curta Duração**

A Elevação de tensão de curta duração, também conhecida como *SURGE* ou *SWELL*, é definida como um aumento entre 1,1 e 1,8 pu da tensão eficaz, com duração entre 1/2 ciclo e um minuto. As elevações de tensão também estão associadas com as condições de falta no sistema de distribuição, mas também podem ocorrer quando cargas de potências elevadas são desligadas bruscamente. Segundo Martinho (2009), descargas atmosféricas induzidas também podem gerar uma elevação de tensão. A figura 9 mostra uma elevação de tensão de curta duração.





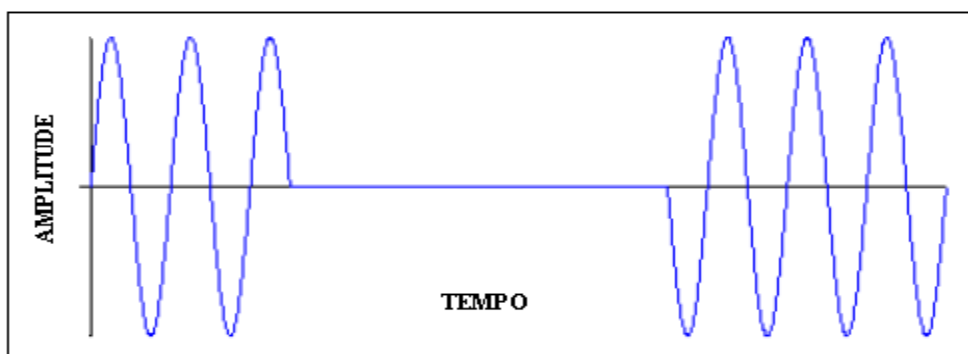
Fonte: Oliveira, 2009.

Figura 9 - Elevação de Tensão (*SURGE* ou *SWELL*).

### 3.3 Variações de tensão de longa duração

Nesta seção será abordada a *variação de tensão de longa duração*, que segundo Martinho (2009), é a variação de tensão que ocorre por um período maior do que um minuto. Tais variações poderão se apresentar de três formas: Subtensão, Sobretensão e Interrupção sustentada.

A Subtensão é um tipo de afundamento de tensão prolongado (por um período maior que um minuto), a subtensão ou *undervoltage*, caracteriza-se pela redução da amplitude da tensão a valores inferiores a 90% do valor nominal da tensão. A sobretensão ou *overvoltage* ocorre quando a elevação da tensão ultrapassa 10% do seu valor nominal. A interrupção é caracterizada por valores de tensão menores que 10% da tensão nominal da rede, podendo chegar à ausência total de tensão de alguns ciclos até vários minutos. A figura 10 mostra uma interrupção de tensão.



Fonte: Oliveira, 2009.

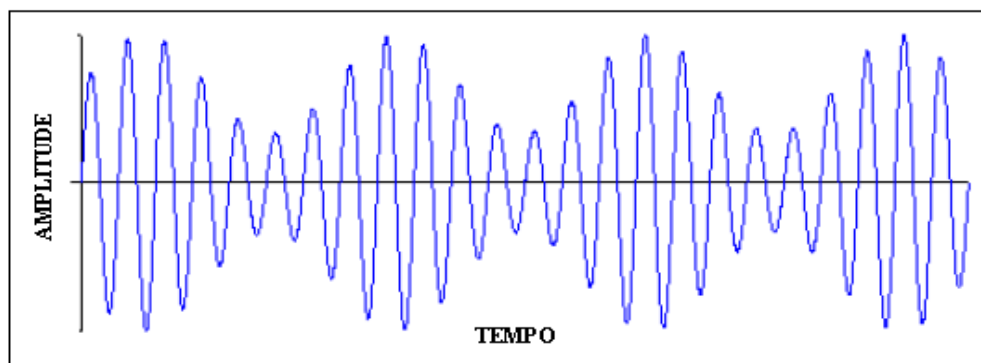
Figura 10 - Interrupção de Tensão.

### 3.4 Desequilíbrios de tensão

O desequilíbrio de tensão é a variação desigual na amplitude das tensões de um sistema elétrico trifásico. Os desequilíbrios de tensão são comuns nos sistemas trifásicos de distribuição de energia, contudo, podem ocorrer nas instalações elétricas internas do usuário. Isso ocorre porque a inserção de cargas monofásicas mal distribuídas geram correntes desequilibradas no sistema elétrico.

### 3.5 Flutuação de tensão

A Flutuação de tensão, também conhecida como *flicker*, é a variação sistemática do valor eficaz de tensão de suprimento dentro da faixa compreendida entre 0,95 e 1,05 pu. É causada por variações de carga, como fornos a arco, elevadores, bombas e compressores. No sistema elétrico estas flutuações causam oscilações de potência e de torque em motores elétricos, queda de rendimento de equipamentos elétricos, interferência em sistemas de proteção e o efeito de cintilação luminosa ou *flicker*. O fenômeno *flicker* consiste no efeito mais comum provocado pela flutuação de tensão, tal fenômeno é perceptível ao olho humano em lâmpadas incandescentes devido às variações da intensidade luminosa.



Fonte: Oliveira, 2009.

Figura 11 - Flutuação de tensão (*Flicker*).

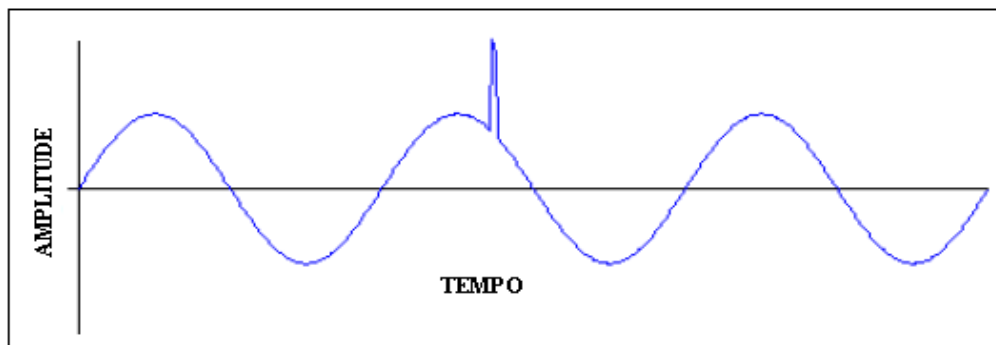
### 3.6 Transitórios Impulsivos e Oscilatórios

Como define Dugan (2004), transitório ou transiente são fenômenos eletromagnéticos oriundos de alterações súbitas nas condições de operação do sistema elétrico, sendo este termo usado para denotar um evento indesejado e de natureza momentânea. Há duas

categorias de transitórios, os *Impulsivos* que ocorrem devido a descargas atmosféricas e os *Oscilatórios* ocasionados pelo chaveamento de cargas.

### Transitórios Impulsivos

Esse fenômeno aparece com a incidência de uma descarga atmosférica, causando uma alteração repentina nas condições de regime permanente das tensões e correntes de um sistema, caracterizando-se por apresentar impulsos unidirecionais em polaridade e nível de frequência bastante diferenciado com relação à frequência da rede elétrica. A figura 12 ilustra um típico transitório impulsivo oriundo de uma descarga elétrica.



Fonte: Oliveira, 2009.

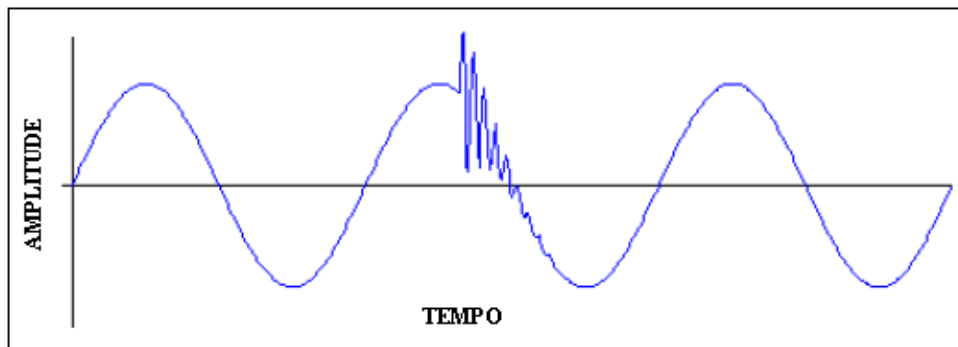
Figura 12 - Transitório Impulsivo.

Nos sistemas de distribuição o caminho mais provável para as descargas atmosféricas é através de um condutor fase, causando altas sobretensões no sistema. Uma descarga direta geralmente causa alta sobretensão na linha, próximo ao ponto de incidência e pode gerar não somente um transitório impulsivo, mas também uma falta acompanhada de afundamentos de tensão de curta duração e interrupções. Sobretensões transitórias podem também ser geradas por descargas que fluem ao longo do condutor terra. Os principais problemas relacionados com a qualidade da energia causados pelas correntes no sistema de aterramento são:

- Elevação do potencial de terra no local em relação a outros pontos de aterramento;
- Indução de altas tensões nos condutores fase, quando as correntes passam pelos cabos de aterramento em direção a terra.

## Transitórios Oscilatórios

Os transitórios oscilatórios se caracterizam por alterações repentinas nas condições de regime permanente da tensão, da corrente ou ambas, caracterizado por oscilações com polaridade positiva e negativa. Suas principais causas são: a energização de linhas, a eliminação de faltas, o chaveamento de capacitores ou de transformadores. A característica de sua forma de onda é dada pela frequência, duração e magnitude, como mostra a figura 13.



Fonte: Oliveira, 2009.

Figura 13 - Transitório Oscilatório.

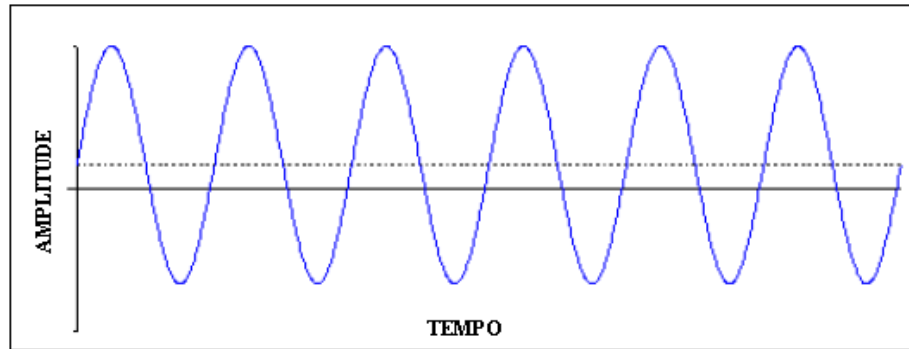
### 3.7 Distorção na forma de onda

Uma distorção na forma de onda é um desvio, em regime permanente, da forma de onda puramente senoidal, na frequência fundamental, e é caracterizada por seu conteúdo espectral. As principais distorções na forma de onda são as seguintes:

- Nível contínuo;
- Harmônicas;
- Interharmônicas;
- Recortes de comutações e;
- Ruídos.

#### Nível contínuo

Nível contínuo ou nível CC corresponde à presença de uma tensão ou corrente contínuas em um sistema elétrico alternado CA, como na figura 14. Pode ocorrer como resultado de distúrbios magnéticos ou assimetrias de conversores de eletrônica de potência.

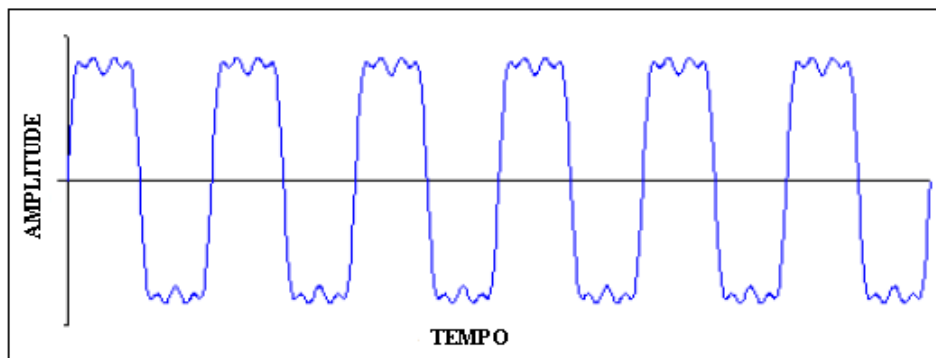


Fonte: Oliveira, 2009.

Figura 14 - Onda senoidal com nível de tensão contínuo.

## Harmônicas

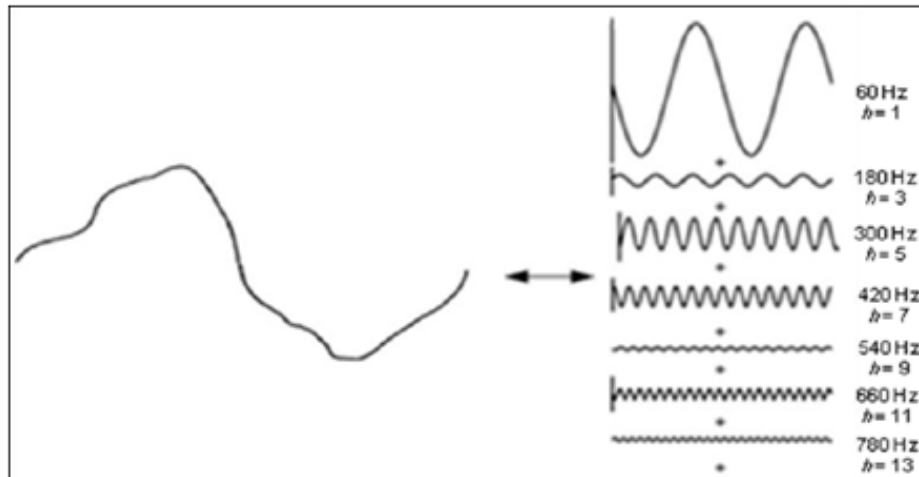
As Harmônicas são tensões ou correntes senoidais com frequências múltiplas inteiras da frequência de operação do sistema elétrico (frequência fundamental). Têm como fonte cargas não lineares, tais como, ponte de retificadores, compensadores controlados a tiristores, cicloconverters, inversores e outros. A figura 15 mostra uma forma de onda senoidal com harmônicas.



Fonte: Oliveira, 2009.

Figura 15 - Onda senoidal com distorção harmônica.

A Figura 15a mostra a distorção harmônica da forma de onda, em um sistema elétrico de corrente alternada. Esta se caracteriza pela presença, não só da componente fundamental, mas também por sinais senoidais com frequências múltiplas e inteiras da frequência fundamental. Enquanto as harmônicas são frequências múltiplas inteiras da frequência fundamental, denominam-se inter-harmônicas as frequências que não são múltiplas inteiras da fundamental (DUARTE, 2010).

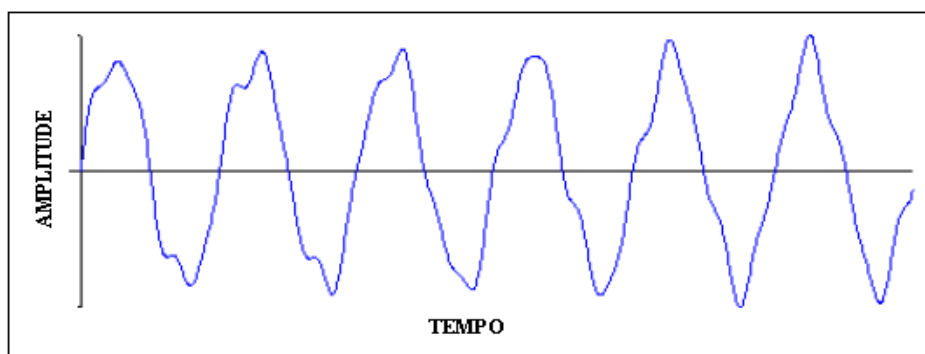


Fonte: Duarte, 2010.

Figura 15a - Onda distorcida com suas componentes harmônicas.

### Interharmônicas

Interharmônicas são tensões ou correntes com frequências não múltiplas inteiras da frequência fundamental do sistema. A figura 16 apresenta uma onda senoidal com interharmônicas. Conversores estáticos de potência, cicloconversores, motores de indução e equipamentos a arco são exemplos de fontes geradoras de interharmônicas.



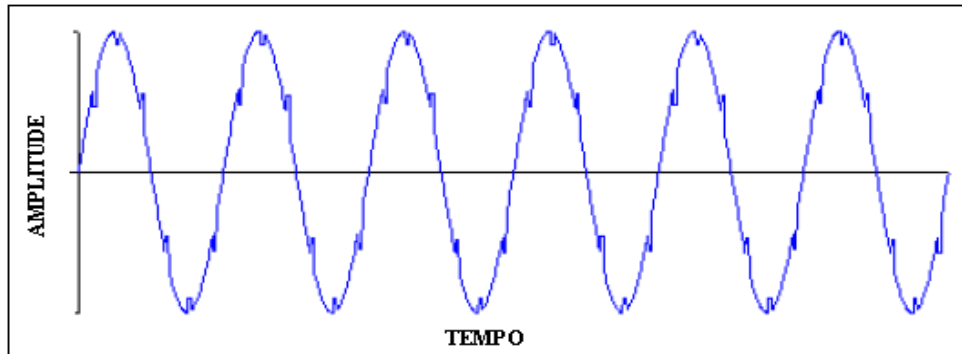
Fonte: Oliveira, 2009.

Figura 16 - Onda senoidal com interharmônicas.

### Recortes de comutações

Recortes de comutações, também conhecidos como *notching*, são transições sucessivas e bruscas de tensão ou corrente entre diferentes níveis, sendo um distúrbio periódico de tensão causado pela operação de equipamentos de eletrônica de potência quando

a corrente é comutada de uma fase para outra. Este fenômeno pode ser detectado através do conteúdo harmônico da tensão afetada, cujas componentes de frequência são de alto valor. A figura 17 mostra uma forma de onda com *notching*.

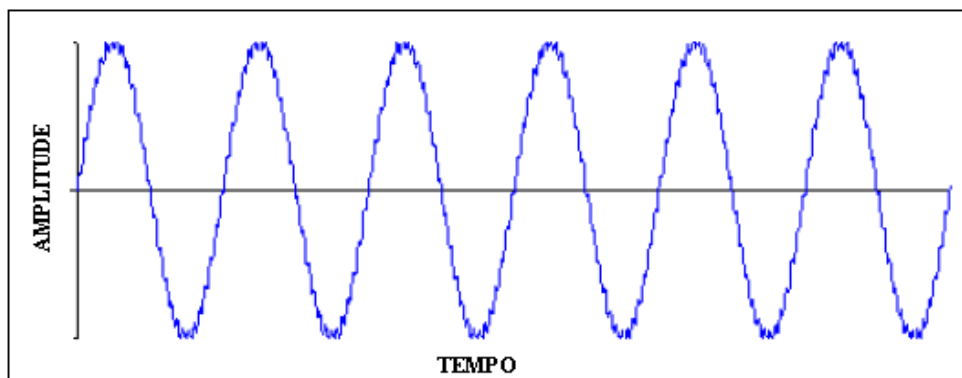


Fonte: Oliveira, 2009.

Figura 17 - Onda senoidal com interharmônicas

## Ruídos

Ruído é definido como um sinal elétrico indesejado, contendo uma larga faixa espectral com frequências menores que 200 kHz, que são superpostas às tensões ou às correntes de fase, ou encontradas em condutores de neutro. Pode ser causado por equipamentos de eletrônica de potência, circuitos de controle, equipamentos a arco, fontes chaveadas e normalmente ocorre devido a aterramentos incorretos. A figura 18 ilustra o ruído.



Fonte: Oliveira, 2009.

Figura 18 - Onda senoidal com ruído.

### 3.8 Variação na frequência do sistema

As variações de frequência de um sistema elétrico são definidas como sendo desvios no valor da frequência fundamental deste sistema (no caso brasileiro 60 Hz).

As instalações de geração conectadas ao sistema de distribuição devem garantir que a frequência retorne para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, no prazo de 30 (trinta) segundos após sair desta faixa, quando da ocorrência de distúrbios no sistema de distribuição, para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração (ANEEL, 2011).

Variações de frequência que ultrapassam os limites para operação normal em regime permanente podem ser causadas por faltas em sistemas de transmissão, saída de um grande bloco de carga ou pela saída de operação de uma grande fonte de geração.

### 3.9 Qualidade do Serviço

Além dos indicadores da qualidade do produto energia elétrica, a ANEEL estipula indicadores de qualidade do serviço de fornecimento de energia. Tais indicadores são calculados a cada mês, trimestre e anualmente e divulgados pelas distribuidoras, são eles:

Indicadores Coletivos de continuidade:

- Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (*DEC*):

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^k Ca(i) \times t(i)}{Cc} \quad (3.5)$$

- Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (*FEC*):

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^k Ca(i)}{Cc} \quad (3.6)$$

Onde:

*DEC* = duração equivalente de interrupção por unidade consumidora, expressa em horas e centésimos de hora;



$FEC$  = frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora, expressa em número de interrupções e centésimos do número de interrupções;

$Ca(i)$  = número de unidades consumidoras, *atendidas em BT ou MT*, interrompidas em um evento (i), no período de apuração;

$t(i)$  = duração de cada evento (i), no período de apuração;

$i$  = índice de eventos ocorridos no sistema que provocam interrupções em uma ou mais unidades consumidoras;

$k$  = número máximo de eventos no período considerado;

$Cc$  = número total de unidades consumidoras faturadas, do conjunto considerado, no período de apuração.

Os indicadores de continuidade individuais são:

- Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ( $DIC$ ):

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i) \quad (3.7)$$

- Frequência de Interrupção individual por Unidade Consumidora ( $FIC$ ):

$$FIC = n \quad (3.8)$$

- Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora ( $DMIC$ ):

$$DMIC = t(i) \max \quad (3.9)$$

Onde:

$DIC$  = duração de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora;

$FIC$  = frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão, expressa em número de interrupções;

$DMIC$  = duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora;

$i$  = índice de interrupções da unidade consumidora, no período de apuração, variando de 1 a  $n$ ;

$n$  = número de interrupções da unidade consumidora considerada, no período de apuração;

$t(i)$  = tempo de duração da interrupção (i) da unidade consumidora considerada ou ponto de conexão, no período de apuração;

$t(i) \text{ máx.}$  = valor correspondente ao tempo da máxima duração de interrupção contínua (i), no período de apuração, verificada na unidade consumidora considerada, expresso em horas e centésimos de horas.

No Relatório de administração 2010, da Eletrobrás Amazonas Energia, a concessionária admite que os indicadores de qualidade no fornecimento de energia elétrica, *DEC* e *FEC*, ficaram fora dos limites estipulados pela Aneel, no ano de 2010. Entretanto, vale enfatizar a redução significativa de 8,5% na *DEC* e de 7,13% na *FEC* em relação ao ano anterior. A tabela 3 mostra os resultados de *DEC* e *FEC* da concessionária Eletrobrás Amazonas Energia, obtidos no ano de 2010.

Tabela 3 - Indicadores de Qualidade da Energia 2010 – Manaus.

INDICADOR	UNIDADE	META ANEEL	REALIZADO
Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor - FEC.	Nº de interrupções/ano	24,82	28,94
Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor - DEC.	Horas/ano	24,89	47,36

Fonte: Eletrobrás/Amazonas Energia, 2010.

## CAPÍTULO 4

### NORMALIZAÇÃO SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA E METODOLOGIA

A qualidade da energia elétrica é de fundamental importância para o funcionamento dos equipamentos elétricos de uma instalação, contudo ela depende tanto da fonte quanto dos elementos que participam de sua utilização. Existem normas de vários países que estabelecem parâmetros de observação da qualidade da energia elétrica fornecida, onde se destacam as normas EN 50160 (norma européia) e a IEC 61000-4-30 (norma da Comissão Internacional de Eletrotécnica). O Brasil em 2008 propôs por meio da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, o documento *Procedimentos de distribuição de energia elétrica – Prodist*, cujo módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica, caracteriza os fenômenos de qualidade de energia, os parâmetros e os valores de referência relativos à conformidade da tensão em regime permanente. Segundo a ANEEL este documento deve ser observado por consumidores, produtores de energia, distribuidoras, importadores ou exportadores de energia elétrica. Abaixo estão descritas resumidamente algumas normas sobre Qualidade da energia elétrica.

#### 4.1 Norma IEC 61000-4-30 - Métodos de medição de Qualidade da Energia.

A norma IEC 61000-4-30 é uma norma editada pela Comissão Internacional de Eletrotécnica e teve sua última revisão em 2008, porém, desde março de 2011 a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, já disponibilizou a tradução dessa norma internacional, passando a ser conhecida no território nacional como ABNT NBR IEC 61000-4-30 – *Técnicas de medição e ensaio – Métodos de medição de Qualidade da Energia*.

Essa norma define três classes de métodos de medição, são elas Classe **A**, **S** e **B**. “Para cada classe, estão incluídos métodos de medição e exigências de desempenho adequado” (ABNT NBR IEC 61000-4-30: 2011):

- Classe **A**: esta classe é usada onde medições precisas são necessárias, por exemplo, para aplicações contratuais que podem exigir soluções de disputas, verificação de conformidade com padrões, etc.

- Classe **S**: esta classe é usada para aplicações estatísticas, como pesquisas ou para avaliação de qualidade de energia. Utiliza-se de intervalos equivalentes de medição ao da classe **A**, porém com menores requisitos de processamento.

- Classe **B**: esta classe foi definida com a finalidade de se evitar a continuidade da fabricação de projetos obsoletos de instrumentos já existentes. Os métodos da classe **B** não são recomendados para novos projetos.

A norma comenta ainda que os usuários devem escolher a classe que necessitam, de acordo com as suas aplicações.

#### 4.1.1 Parâmetros da qualidade da energia elétrica

A seguir serão apresentados os parâmetros de qualidade da energia elétrica referentes à classe “**S**” descritos nessa norma, tendo em vista que essa classe é a que mais se aproxima da regulamentação brasileira.

- **Frequência**: a leitura da frequência deve ser obtida a cada 10 segundos. A incerteza de medição não deve exceder  $\pm 50$  mHz nas faixas de medição de 51 Hz ~ 69 Hz.

- **Magnitude da tensão de alimentação**: a medição deve ser o valor eficaz (rms) da magnitude da tensão durante um intervalo de tempo de 12 ciclos para sistemas de 60 Hz. Para a classe **S**, a incerteza de medição não pode exceder  $\pm 0,5\%$  da tensão de entrada declarada ( $U_{din}$ ) na faixa de 20% ~ 120% da tensão de entrada declarada.

- **Cintilação (Flicker)**: esta norma recomenda que este parâmetro seja avaliado com base na norma IEC (*International Electrotechnical Commission*): IEC 61000-4-15 Testing and measurement techniques - Flickermeter – Functional and Design Specifications.

- **Afundamentos e Elevações de tensão**: o princípio de medição  $U_{rms}$  (valor de tensão eficaz medido sobre um ciclo) de um afundamento e elevação de tensão deve ser o valor de  $U_{rms(1)}$  (atualizada em cada ciclo) em cada canal de medição.

- **Afundamento de tensão**: o limiar de um afundamento de tensão é uma porcentagem da tensão de entrada declarada ( $U_{din}$ ). Em sistemas polifásicos, o afundamento de tensão começa quando a tensão eficaz ( $U_{rms}$ ) de um ou mais canais fica abaixo do limiar de afundamento de tensão e termina quando a tensão  $U_{rms}$  em todos os canais de medição é igual ou superior ao limiar de afundamento de tensão, somado à tensão de histerese (que geralmente é 2% da  $U_{din}$ ). Um afundamento de tensão é caracterizado por um par de dados, tensão residual (menor valor medido da  $U_{din}$  durante o afundamento) ou profundidade e duração. Os

limites de afundamentos de tensão estão geralmente no intervalo de 85% a 90% da tensão de referência fixada para diagnósticos de problemas ou aplicações estatísticas.

- **Elevação de tensão:** O limiar de elevação de tensão é uma porcentagem da tensão de entrada declarada ( $U_{din}$ ). Da mesma forma que no afundamento de tensão, a elevação é caracterizada por um par de dados, são eles, máxima magnitude da elevação de tensão e duração. O limiar de elevação de tensão é igual ou maior a 110% da  $U_{din}$ .

Tanto para afundamentos quanto elevações a incerteza de medição não pode exceder 1% da  $U_{din}$ . A incerteza da duração de um afundamento ou elevação é igual à incerteza do início (do ciclo) do afundamento ou elevação mais a incerteza do término (do ciclo).

- **Interrupções de tensão:** a medição de tensão para se avaliar interrupções deve ser igual ao método empregado para afundamentos e elevação de tensão. Uma interrupção de tensão começa quando a tensão cai abaixo do limiar de interrupção de tensão, a duração de uma interrupção de tensão é a diferença entre o início e o fim da interrupção. O limiar de tensão poderá ser ajustado de 5% a 10% da  $U_{din}$ .

- **Desequilíbrio de tensão:** medições de desequilíbrios se aplicam apenas a sistemas trifásicos. O desequilíbrio de tensão de alimentação é avaliado usando o método das componentes simétricas. Em adição à componente de sequência positiva, sob condições de desequilíbrio, existe pelo menos uma das seguintes componentes: a de sequência negativa ou de sequência zero. A componente de tensão é medida em um intervalo de tempo de 12 ciclos para sistemas a 60 Hz.

A componente de sequência negativa, expressa em porcentagem, é calculada por:

$$u_2 = \frac{u_2}{u_1} \times 100 \quad (4.1)$$

Onde:  $u_2$ : seqüência negativa;

$u_1$ : seqüência positiva.

Para sistemas trifásicos considerando apenas tensões fase-fase, e somente a tensão fundamental, pode-se escrever com:

$$u_2 = 100 \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \quad (4.2)$$

$$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2} \quad (4.3)$$

- **Tensões Harmônicas:** o critério para medição de tensões harmônicas é definido pela norma IEC 61000-4-7, classe II. Segundo esta norma as medições devem ser feitas pelo menos até a 40ª ordem.

Estes são os principais parâmetros de qualidade da energia coberto por esta norma. A qualidade da energia deve ser avaliada mediante comparação entre os resultados das medições dos parâmetros e comparados com os limites de referência (valores contratuais) dos fornecedores de energia elétrica. Esses limites de referência estão além do escopo da norma ABNT NBR IEC 61000-4-30.

#### 4.2 Norma EN 50160 – Padrões de Qualidade de Energia

A EN 50160 é uma norma europeia que define parâmetros de qualidade de energia em baixa tensão (até 1 kV) e média tensão (de 1 kV a 35 kV) nos sistemas de distribuição de energia elétrica e os desvios permitidos. Os dados de medição previstos nessa norma devem ser obtidos nos pontos de conexão comum, ou seja, na conexão do consumidor com a rede elétrica. Segundo a própria norma, fica estabelecido o ponto de conexão comum por entender que a qualidade da energia é responsabilidade tanto de quem fornece quanto de quem utiliza a energia elétrica.

A tabela 4 a seguir, mostra os parâmetros para as medições da qualidade da energia conforme a norma EN 50160.

Tabela 4 - Parâmetros para medição de QEE conforme a norma EN 50160

Nº	PARÂMETRO	CARACTERÍSTICAS DA TENSÃO CONFORME A EN 50160
1	Frequência da rede	BT e MT: valor média do valor fundamental medido durante 10s
		$\pm 1\%$ (49,5 – 50,5 Hz) para 99,5% da semana;
		- 6% / + 4% (47 – 52 Hz) para 100% da semana.
2	Variações da magnitude de tensão	BT e MT: $\pm 10\%$ para 95% da semana. (média dos valores eficazes medidos em períodos de 10 minutos).
3	Variações rápidas de tensão	BT: 5% normal
		10% raramente
		$Plt \leq 1$ ou 95% da semana
4	Afundamentos de tensão	Maioria: duração < 1s, profundidade < 60%
		Limite de afundamento ocasionado pela entrada da carga: BT: 10 – 50%.
5	Interrupções de tensão de curta duração	BT e MT: (até 3 minutos).
		Duração de 70% das interrupções curtas por ano deverá ser < 1s.
6	Interrupções de tensão de longa duração	BT e MT: (acima de 3 minutos).
		Quantidade: de 10 a 50 interrupções por ano.
7	Sobretensão temporal na frequência da rede	BT: < 1,5 kV rms
8	Sobretensões transitórias	BT: geralmente < 6Kv
9	Desequilíbrio de tensão	BT: até 2% para 95% da semana. média de valores rms medidos em períodos de 10 minutos, até 3% em alguns locais.
10	Tensão Harmônica	BT: Conforme a tabela 2.
11	Tensão Inter-harmônica	Não considerada

Fonte: EN 50160, 2008.

Verifica-se que esta norma é baseada nos sistemas de distribuição de energia da Europa, tanto para tensão quanto para frequência que é de 50hz. Não sendo possível aplica-la no sistema Manaus uma vez que a frequência é 60hz.

Tabela 5 - Parâmetros para medição de harmônicas conforme a norma EN 50160.

HARMÔNICAS ÍMPARES				HARMÔNICAS PARES	
NÃO MÚLTIPLOS DE 3		MÚLTIPLOS DE 3			
Ordem h	Tensão Relativa (%)	Ordem h	Tensão Relativa (%)	Ordem h	Tensão Relativa (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.5	6...24	0.5
13	3	21	0.5		
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				

Fonte: EN 50160, 2008.

A medição dos parâmetros de qualidade de energia, de acordo com a norma EN 50160, requer equipamentos especializados com monitoramento constante com resolução de 1008 segmentos em sete dias, dos seguintes itens:

- Tensão nas fases;
- Frequência;
- Taxa de distorção harmônica (THD);
- Desbalanceamento de tensão com indicação de sequências positiva e negativa;
- Variação e interrupção de tensão;
- Além da severidade dos valores de flicker, conforme os parâmetros apresentados.

#### **4.3 IEEE 519 - Recomendações práticas e requisitos no controle de Harmônicos no Sistema Elétrico de Potência**

Na verdade não é uma norma, trata-se de recomendações sobre os limites de distorção harmônica no Ponto de Conexão Comum (*PCC*) da concessionária com o consumidor.

Tais limites dependem do nível de tensão e de curto-circuito no ponto de conexão comum. Estabeleceu-se uma relação entre corrente de curto-circuito (*I<sub>cc</sub>*) e corrente de carga, de forma que quanto maior a corrente de curto-circuito em relação à corrente de carga, maior serão as distorções de corrente admissíveis no sistema, já que no ponto de conexão comum o efeito na distorção na tensão será menor. À medida que a tensão aumenta, os limites de distorção aceitáveis diminuem.



A grandeza TDD (Total Demand Distortion) é definida como a distorção harmônica da corrente em % (da máxima demanda da corrente de carga demandada de 15 a 30 minutos). Isso significa que a medição da TDD deverá ser feita no pico de consumo.

A tabela 6 mostra o limite de distorção de corrente de acordo com as recomendações.

Tabela 6 - Distorções harmônicas de corrente (IEEE-519)

<b>MÁXIMA CORRENTE HARMÔNICA EM % DA CORRENTE DE CARGA (Io - valor da componente fundamental)</b>						
<b>Harmônicas Ímpares</b>						
Icc/Io	< 11	11 ≤ n < 17	17 ≤ n < 23	23 ≤ n < 35	35 < n	TDD (%)
< 20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20 < 50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50 < 100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100 < 1000	12	5.5	5	2	1	15
> 1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Fonte: Martinho, 2009.

Para as distorções de tensão, deve-se observar os limites descritos na tabela 7 a seguir. Neste caso, o índice de distorção tolerado é muito menor do que o de corrente, já que influencia diretamente no funcionamento de equipamentos e circuitos.

Tabela 7 - Distorções harmônicas de tensão (IEEE 519)

<b>Tensão</b>	<b>Distorção Individual</b>	<b>Taxa de Distorção Harmônica (THD)</b>
69kV e abaixo	3%	5%
69kV até 161Kv	1.5%	2.5%
Acima de 161Kv	1%	1.5%

Fonte: Martinho, 2009.

#### 4.4 IEEE 1159 - Recomendações para monitoramento da qualidade da energia

Esta recomendação define os distúrbios que causam problemas de qualidade da energia, sendo utilizada para o monitoramento por instrumentos quando o assunto é avaliar a energia de um determinado circuito. A recomendação auxilia na definição de parâmetros de qualidade da energia, e também ajuda na interpretação dos resultados monitorados por diferentes instrumentos.

#### 4.5 Normalização brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica

A regulamentação brasileira que trata da qualidade da energia elétrica foi elaborada pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, no seu documento *Procedimentos de distribuição de energia elétrica no Sistema Elétrico Nacional - Prodist módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica*. Tal regulamentação ainda não está completamente definida, contudo, esses procedimentos recentemente foram revisados conforme a Resolução normativa nº469/2011 da ANEEL, estando em vigor desde 01 de janeiro de 2012.

Este trabalho seguirá as recomendações do *Prodist - módulo 8* na realização da observação e monitoramento da qualidade da energia elétrica fornecida na cidade, e na identificação dos principais distúrbios causadores de desperdício de energia elétrica.

Os aspectos considerados da qualidade do produto (energia elétrica) em regime permanente ou transitório pela ANEEL são os seguintes:

- *Tensão em regime permanente;*
- *Fator de potência;*
- *Harmônicos;*
- *Desequilíbrio de tensão;*
- *Flutuação de tensão;*
- *Variações de tensão de curta duração;*
- *Variação de frequência.*

##### **- Tensão em regime permanente**

O termo “conformidade de tensão elétrica” refere-se à comparação do valor de tensão obtido por medição apropriada, no ponto de conexão, em relação aos níveis de tensão especificados como adequados, precários e críticos. A tensão em regime permanente deve ser avaliada por meio de um conjunto de leituras obtidas por medição apropriada, de acordo com a metodologia descrita para os indicadores individuais e coletivos.

A conformidade dos níveis de tensão deve ser avaliada, nos pontos de conexão à rede de distribuição, nos pontos de conexão entre distribuidoras e nos pontos de conexão com as unidades consumidoras, por meio dos indicadores estabelecidos neste procedimento.

Os valores de tensão obtidos por medições devem ser comparados à tensão de referência, a qual deve ser a tensão nominal (tensão contratada), de acordo com o nível de tensão do ponto de conexão.

Para cada tensão de referência, as leituras a ela associadas classificam-se em três categorias: *adequadas, precárias ou críticas*, baseando-se no afastamento do valor da tensão de leitura em relação à tensão de referência.

Tabela 8 - Valores de referência para variação de tensão.

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(201 \leq TL \leq 231) / (116 \leq TL \leq 133)$
Precária	$(189 \leq TL < 201 \text{ ou } 231 < TL \leq 233) / (109 \leq TL < 116 \text{ ou } 133 < TL \leq 140)$
Crítica	$(TL < 189 \text{ ou } TL > 233) / (TL < 109 \text{ ou } TL > 140)$

Fonte: ANEEL, 2011.

Segundo a ANEEL (2011) as leituras devem ser obtidas por meio de equipamentos que operem segundo o princípio da amostragem digital com precisão de até 1% da leitura. A medição de tensão deve corresponder ao tipo de ligação da unidade consumidora, abrangendo medições entre *todas as fases ou entre todas as fases e o neutro*, quando este for disponível. As medições devem ser efetuadas no ponto de conexão da unidade consumidora, contudo caso esteja comprometida a segurança do equipamento e de pessoas, pode-se fazer as medições no ramal de ligação da unidade consumidora.

O conjunto de leituras para cada unidade consumidora deverá ser feita com medições dos valores eficazes da tensão com período de observação mínimo de 168 horas consecutivas totalizando 1008 leituras válidas, obtidas a cada 10 minutos.

#### - Fator de potência

O valor do fator de potência deverá ser calculado a partir dos valores registrados das potências ativa e reativa (P, Q) ou das respectivas energias (EA, ER), utilizando-se as seguintes fórmulas:

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{EA}{\sqrt{EA^2 + ER^2}} \quad (4.4)$$

Para unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 (noventa e dois centésimos) e 1,00 (um) indutivo ou 1,00 (um) e 0,92 (noventa e dois centésimos) capacitivo, de acordo com regulamentação vigente.

## - Harmônicos

As distorções harmônicas são fenômenos associados com deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental. A seguir são estabelecidos os valores de referência para as distorções harmônicas. A tabela 9 sintetiza a terminologia aplicável às formulações do cálculo de valores de referência para as distorções harmônicas, conforme a ANEEL.

Tabela 9 - Terminologia dos valores de referência para distorções harmônicas

Identificação da Grandeza	Símbolo
Distorção harmônica individual de tensão de ordem h	$DIT_h\%$
Distorção harmônica total de tensão	DTT %
Tensão harmônica de ordem h	$V_h$
Ordem harmônica	H
Ordem harmônica máxima	H <sub>máx</sub>
Ordem harmônica mínima	H <sub>mín</sub>
Tensão fundamental medida	$V_1$

Fonte: ANEEL, 2011.

As expressões para o cálculo das grandezas  $DIT_h\%$  e DTT % são mostradas abaixo. Ressalta-se que a grandeza DTT é comumente expressa também como THD (*Total Harmonic Distortion*):

$$DIT_h\% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 \quad (4.5)$$

$$DTT = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{H_{máx}} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (4.6)$$

Os sinais a serem monitorados devem utilizar sistemas de medição cujas informações coletadas possam ser processadas por meio de recurso computacional. Para os sistemas elétricos trifásicos, as medições de distorção harmônica devem ser feitas através das tensões *fase-neutro* para sistemas estrela aterrada e *fase-fase* para as demais configurações.

O espectro harmônico a ser considerado para fins do cálculo da distorção total deve compreender uma faixa de frequências que considere desde a componente fundamental até, no mínimo, a 25ª ordem harmônica.

Os valores de referência para as distorções harmônicas totais estão indicados na Tabela 10, estes valores servem para referência do planejamento elétrico em termos de qualidade da energia elétrica. Devem ser obedecidos também os valores das distorções harmônicas individuais indicadas na Tabela 11.

Tabela 10 - Valores de referência para distorções harmônicas

<b>Tensão nominal do Barramento</b>	<b>Distorção Harmônica Total de Tensão (DTT) [%]</b>
$V_N \leq 1kV$	10
$1kV < V_N \leq 13,8kV$	8
$13,8kV < V_N \leq 69kV$	6
$69kV < V_N < 230kV$	3

Fonte: ANEEL, 2011.

Tabela 11 - Valores de distorções harmônicas individuais

<b>Ordem Harmônica</b>	<b>Distorção Harmônica Individual de Tensão [%]</b>				
	$V_n \leq 1kV$	$1kV < V_n \leq 13,8kV$	$13,8kV < V_n \leq 69kV$	$69kV < V_n < 230kV$	
Ímpares não múltiplas de 3	5	7,5	6	4,5	2,5
	7	6,5	5	4	2
	11	4,5	3,5	3	1,5
	13	4	3	2,5	1,5
	17	2,5	2	1,5	1
	19	2	1,5	1,5	1
	23	2	1,5	1,5	1
	25	2	1,5	1,5	1
Ímpares múltiplas de 3	>25	1,5	1	1	0,5
	3	6,5	5	4	2
	9	2	1,5	1,5	1
	15	1	0,5	0,5	0,5
	21	1	0,5	0,5	0,5
Pares	>21	1	0,5	0,5	0,5
	2	2,5	2	1,5	1
	4	1,5	1	1	0,5
	6	1	0,5	0,5	0,5
	8	1	0,5	0,5	0,5
	10	1	0,5	0,5	0,5
	12	1	0,5	0,5	0,5
>12	1	0,5	0,5	0,5	

Fonte: ANEEL, 2011.

## -Desequilíbrio de Tensão

O desequilíbrio de tensão é o fenômeno associado a alterações dos padrões trifásicos do sistema de distribuição. A seguir são estabelecidos os valores de referência para o desequilíbrio de tensão. A Tabela 12 apresenta a terminologia aplicável às formulações de cálculo do desequilíbrio de tensão.

Tabela 12 - Terminologia aplicável às formulações de cálculo de desequilíbrio de tensão

IDENTIFICAÇÃO DA GRANDEZA	SÍMBOLO
Fator de desequilíbrio	FD
Magnitude da tensão de seqüência negativa (RMS)	V-
Magnitude da tensão de seqüência positiva (RMS)	V+
Magnitudes das tensões trifásicas de linha (RMS)	V <sub>ab</sub> , V <sub>bc</sub> e V <sub>ca</sub>

Fonte: ANEEL, 2011.

A expressão para o cálculo do desequilíbrio de tensão é:

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} 100 \quad (4.7)$$

Alternativamente, pode-se utilizar a expressão abaixo, que conduz a resultados em consonância com a formulação anterior:

$$FD\% = 100 \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \quad (4.8)$$

Sendo:

$$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2} \quad (4.9)$$

O valor de referência para o fator de desequilíbrio de tensão nos barramentos do sistema de distribuição deve ser igual ou inferior a 2%.

## - Flutuação de Tensão

A flutuação de tensão é uma variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz da tensão. A determinação da qualidade da tensão no sistema de distribuição quanto à flutuação de tensão tem por objetivo avaliar o incômodo provocado pelo efeito da cintilação luminosa (flicker) no consumidor, que tenha em sua unidade consumidora pontos de iluminação alimentados em baixa tensão. A tabela 13 apresenta a terminologia aplicável às formulações de cálculo da sensação de cintilação.

Tabela 13 - Terminologia aplicável às formulações de cálculo de sensação de cintilação

Identificação da Grandeza	Símbolo
Severidade de Curta Duração	Pst
Severidade de Longa Duração	Plt
Valor diário do indicador Pst que foi superado em apenas 5 % dos registros obtidos no período de 24 hs	PstD95%
Valor semanal do indicador Plt que foi superado em apenas 5 % dos registros obtidos no período de sete dias completos e consecutivos.	PltS95%
Fator de Transferência	FT

Fonte: ANEEL, 2011.

As expressões para o cálculo  $P_{st}$  e  $P_{lt}$  são:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}} \quad (4.10)$$

Onde:

$P_i$  ( $i = 0,1; 1; 3; 10; 50$ ) corresponde ao nível de sensação de cintilação que foi ultrapassado durante  $i$  % do tempo, obtido a partir da função de distribuição acumulada complementar, de acordo com o procedimento estabelecido nas Normas IEC (*International Electrotechnical Commission*): IEC 61000-4-15. Flickermeter – Functional and Design Specifications.

Complementarmente, o indicador  $Plt$  corresponde a um valor representativo de doze amostras consecutivas de  $Pst$ , como estabelecido pela expressão a seguir:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (P_{st})^3} \quad (4.11)$$

Para a obtenção dos níveis de severidade de cintilação, associados à flutuação de tensão, definidos pelos indicadores  $Pst$  e  $Plt$ , utilizam-se os procedimentos estabelecidos nos documentos da IEC. Estes valores são derivados da medição e processamento das tensões dos barramentos, traduzidas em níveis de sensação de cintilação luminosa, com posterior classificação em faixas de probabilidade de ocorrência.

De acordo com as orientações da norma, o indicador  $Pst$  representa a severidade dos níveis de cintilação luminosa associados à flutuação de tensão verificada num período contínuo de 10 (dez) minutos.

De modo semelhante, a grandeza  $Plt$  expressa a severidade dos níveis de cintilação luminosa associados à flutuação de tensão verificada num período contínuo de 2 (duas) horas, através da composição de 12 valores consecutivos de  $Pst$ .

Ao longo de 24 horas de medição deve ser obtido um conjunto de valores de  $Pst$  que, devidamente tratado, conduzirá ao  $PstD95\%$ . Ao final de uma semana de medição considera-se como indicador final o maior valor dentre os sete valores encontrados.

De modo análogo, obtém-se ao longo de uma semana de registro um conjunto de valores representativos de  $Plt$ , o qual, tratado estatisticamente, deve ser conduzido ao valor de  $PltS95\%$ .

O processo de medição deve ser realizado com o medidor ajustado para o nível de tensão correspondente, em baixa tensão. A Tabela 14 a seguir fornece os valores de referência a serem utilizados para a avaliação do desempenho quanto às flutuações de tensão.

Tabela 14 - Valores de Referência para  $Pst$  e  $Plt$

Valor de Referência	PstD95%	PltS95%
Adequado	< 1 p.u. / FT	< 0,8 p.u. / FT
Precário	1 p.u. – 2 p.u. / FT	0.8 – 1.6 p.u. / FT
Crítico	> 2 p.u. / FT	> 1,6 p.u. / FT

Fonte: ANEEL, 2011.



### - Variação de Tensão de curta duração

Variações de tensão de curta duração são desvios significativos no valor eficaz da tensão em curtos intervalos de tempo. As variações de tensão de curta duração são classificadas de acordo com a tabela 15.

Tabela 15 - Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração

<b>Classificação</b>	<b>Denominação</b>	<b>Duração da Variação</b>	<b>Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência</b>
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Temporário de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior a 1,1 p.u

Fonte: ANEEL, 2011.

O afundamento ou a elevação de tensão que representa o intervalo de três minutos é o de menor ou de maior amplitude da tensão, respectivamente. Afundamentos e elevações de tensão devem ser tratados separadamente.

### - Variação da Frequência

O sistema de distribuição e as instalações de geração conectadas ao mesmo devem, em condições normais de operação e em regime permanente, operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz.

As instalações de geração conectadas ao sistema de distribuição devem garantir que a frequência retorne para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, no prazo de 30 (trinta) segundos após sair desta faixa, quando da ocorrência de distúrbios no sistema de distribuição, de modo a permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração.

Havendo necessidade de corte de geração ou de carga para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração, durante os distúrbios no sistema de distribuição, a frequência:

- a) Não pode exceder 66 Hz ou ser inferior a 56,5 Hz em condições extremas;
- b) Pode permanecer acima de 62 Hz por no máximo 30 (trinta) segundos e acima de 63,5 Hz por no máximo 10 (dez) segundos;
- c) Pode permanecer abaixo de 58,5 Hz por no máximo 10 (dez) segundos e abaixo de 57,5 Hz por no máximo 05 (cinco) segundos.

Estes são os parâmetros definidos por estes procedimentos de distribuição de energia.

#### **4.6 Metodologia e procedimentos adotados na observação da qualidade da energia**

O desenvolvimento deste trabalho se deu a partir de observações e avaliações da qualidade do produto energia elétrica, além da identificação de distúrbios presentes na energia fornecida a consumidores residenciais. Depois de concluída a fase de avaliação da energia, foi estimado o desperdício de energia proveniente da má qualidade desta, para só então propor medidas para reduzir desperdícios, fechando assim a proposta desse trabalho.

Foram feitas medições de qualidade da energia em 3 tipos de consumidores da classe residencial, mais especificamente da subclasse residencial I, conforme o tipo de carga instalada e a respectiva ligação ao sistema, como descreve a norma da Eletrobrás Amazonas Energia, *DI/NT-01 – Fornecimento de energia elétrica em tensão secundária de distribuição* (2001):

- 1- *Para consumidor com carga instalada de até 7,5kW, o tipo de ligação será monofásica;*
- 2- *Para consumidor com carga instalada de 7,5kW até 15kW, o tipo de ligação será bifásica;*
- 3- *Para consumidor com carga instalada de 7,5kW até 38kW, o tipo de ligação será trifásica;*

Foram realizadas medições e observações da energia elétrica fornecida para cada um dos três tipos de consumidores residenciais selecionados conforme o perfil apresentado acima. A escolha de cada um destes foi aleatória, sendo escolhido apenas um de cada faixa de potência instalada. Esta avaliação proporcionou um pequeno diagnóstico da qualidade da energia elétrica de forma pontual, mas considerando que o sistema elétrico de distribuição da cidade de Manaus opera em “anel”, pressupõe-se que os distúrbios presentes na rede se

estendam a todo o sistema embora que atenuados. Além do que os consumidores residenciais que possuem cargas aproximadas possuem também o mesmo perfil de consumo de energia elétrica, como foi mostrado na “pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - classe residencial, relatório da Região Norte” (PROCEL, 2007).

Ao considerar consumidores com cargas diferentes pode-se levantar o potencial de desperdício de cada tipo de consumidor, levando-se em consideração a carga instalada em cada um deles, permitindo saber, por exemplo, quais tipos de distúrbios são percebidos em consumidores com perfil de carga distintos. As tabelas 16, 17 e 18 mostram cada consumidor selecionado com as respectivas cargas instaladas em cada um deles.

Os consumidores 1 e 2 estão ligados aos alimentadores de baixa tensão da rede elétrica localizada na Av. Hélio Leão, no Conjunto Galiléia I, bairro da Cidade Nova I, zona norte. Já o consumidor 3 está ligado ao alimentador de baixa tensão da Av. Constantino Nery, no bairro da chapada, todos na cidade de Manaus.

Tabela 16 - Carga instalada no consumidor 1 (Ligação monofásica)

<b>Equipamentos Elétricos</b>	<b>Quant.</b>	<b>Potência (W)</b>
Lâmpadas fluorescentes Compactas 15W	2	30
Lâmpadas fluorescentes 20W	8	160
Televisor 20" - 90W	1	90
Televisor 32" Plasma 180W	1	180
Refrigerador 120W	1	120
Condicionador de Ar 820W	1	820
Ferro Elétrico 850W	1	850
Ventilador 50W	1	50
Ventilador 70W	1	70
Liquidificador 120W	1	120
Lavadora de roupas 520W	1	520
<b>TOTAL</b>		<b>3010</b>

Tabela 17 - Carga instalada no consumidor 2 (Ligação bifásica)

Equipamentos elétricos	Quant.	Potência (W)
Lâmpadas fluorescentes Compactas 15W	4	60
Lâmpadas fluorescentes Compactas 20W	6	120
Lâmpadas fluorescentes tubular 40W	10	400
Televisor 29" 140W	1	140
Televisor 40" LED 120W	1	120
Computador com impressora 170W	1	170
Aparelho de DVD 40W	1	40
Som 80W	1	80
Refrigerador 180W	1	180
Condicionador de Ar 720W	2	1440
Condicionador de Ar 1250W	1	1250
Ferro Elétrico 900W	1	900
Cafeteira elétrica 480W	1	480
Secador de cabelo 1000W	1	1000
Liquidificador 100W	1	100
Lavadora de roupas 960W	1	960
Ventilador 60W	2	120
Ventilador 90W	1	90
<b>TOTAL</b>		<b>7650</b>

Tabela 18 - Carga instalada no consumidor 1 (Ligação trifásica)

Equipamentos elétricos	Quant.	Potência (W)
Lâmpadas fluorescentes Compactas 18W	5	90
Lâmpadas dicróicas 50W	10	500
Lâmpadas fluorescentes tubular 20W	8	160
Lâmpadas fluorescentes tubular 16W	10	160
Televisor 32" LCD 140W	1	140
Televisor 42" LCD 190W	1	190
Televisor 40" LED 120W	1	120
Computador com impressora 180W	2	360
Vídeo Game 50W	1	50
Aparelho de DVD 40W	1	40
Receptor de Antena 30W	1	30
Ferro Elétrico automático 1100W	1	1100
Forno Microondas 1000W	1	1000
Secador de cabelo 1000W	1	1000
Liquidificador 120W	1	120
Refrigerador 200W	1	200
Ventilador 70W	2	140
Condicionador de Ar 950W	2	1900
Condicionador de Ar 1300W	1	1300
<b>TOTAL</b>		<b>8600</b>

Como se pôde observar anteriormente, a norma ABNT NBR IEC 61000-4-30, é a norma que apresenta um padrão internacional, e que deveria ser utilizada para fins de aplicações de cláusulas contratuais ou para aferições estatísticas. No caso brasileiro os contratos de fornecimento de energia em baixa tensão, realizados pela ELETROBRÁS, não possuem cláusulas que tratam da qualidade da energia elétrica (o produto energia elétrica) fornecida ao consumidor, o que de certa forma limita a utilização dessa norma no país.

No caso da norma EN 50160 utilizada em países europeus, seu uso nesse trabalho foi limitado pelo fato desta se referir a sistemas com frequência de 50 Hz, uma vez que no Brasil a frequência utilizada é de 60 Hz.

A metodologia adotada para avaliação da qualidade da energia elétrica teve como referência a normalização brasileira da ANEEL (*Procedimentos de distribuição de energia elétrica no Sistema Elétrico Nacional - Prodist módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica*), como já descrito anteriormente.

## CAPÍTULO 5

### MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

Neste capítulo será apresentado o método de monitoramento da qualidade da energia elétrica, o equipamento utilizado para realização deste trabalho, os resultados do monitoramento da energia elétrica nos três consumidores selecionados e as medidas de mitigação a serem tomadas para melhoria da qualidade da energia e redução do consumo de energia elétrica.

#### 5.1 Medidores de Qualidade da Energia

Monitoramento de qualidade de energia é, segundo McEachern (2001), “o processo de adquirir dados de tensões e correntes, transportá-los para algum lugar que seja útil, e convertê-los em informações para tomada de decisões”.

Para o estudo proposto neste trabalho, se fez necessária a utilização de um equipamento para monitoramento da energia elétrica. Existe no mercado uma grande variedade de instrumentos que podem avaliar a qualidade da energia, dependendo dos distúrbios analisados.

Em geral, eles apresentam as seguintes funcionalidades:

- Capturam e armazenam dados de diversas grandezas elétricas, como tensão, corrente, frequência;
- Realizam cálculos de energia e de demanda;
- Registram eventos de qualidade de energia, como transitórios, afundamentos e elevações de tensão e interrupções de fornecimento de energia elétrica;
- Fazem a análise espectral dos sinais, mostrando as suas harmônicas, além de calcular a distorção harmônica total (THD);
- Fazem a análise fasorial e de componentes simétricas, registrando formas de onda de tensões e de correntes;
- Possuem diversos protocolos de comunicação, tornando mais simples a disponibilização dos dados;

- Possuem dispositivos de entrada/saída, admitindo a tomada de ações de controle;
- Proporcionam a visualização dos dados em tempo real ou por meio de software específico.

A figura 19 mostra o Analisador de qualidades da energia elétrica utilizado neste trabalho para monitorar os consumidores estudados. Trata-se de um Analisador KEW 6310, do fabricante Kyoritsu Electrical Instruments, com certificado de calibração n° GS-075 do próprio fabricante. Este instrumento apresenta todas as características dos principais analisadores de energia disponíveis no mercado, contudo não dispõe de processamento suficiente para realização de medições de todas as funcionalidades do aparelho simultaneamente. Devido a esse fato, este trabalho teve que ser particionado, sendo primeiramente capturados os principais dados de grandezas elétricas (tensão, corrente, potência, fator de potência, frequência) e posteriormente avaliados os índices de qualidade da energia como as harmônicas de tensão e corrente.



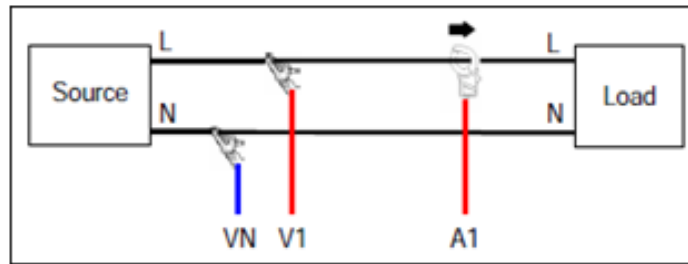
Fonte: Kyoritsu Electrical, 2011.

Fig. 19 - Analisador de energia elétrica utilizada no trabalho.

## 5.2 Resultados encontrados nas medições

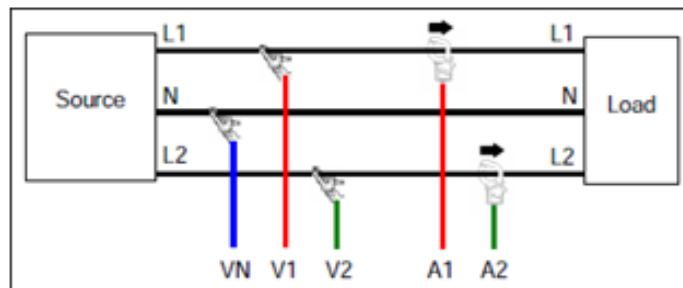
Na execução deste trabalho as medições de energia foram realizadas em consumidores residenciais selecionados conforme a carga instalada e a respectiva ligação ao sistema de distribuição de energia como mostrado nas tabelas 15, 16 e 17 anteriormente.

A ligação do Analisador de energia foi feita no ramal de entrada de energia após o medidor da concessionária e antes do quadro geral de distribuição dos domicílios. As figuras 20, 21 e 22, mostram as ligações do instrumento aos consumidores estudados.



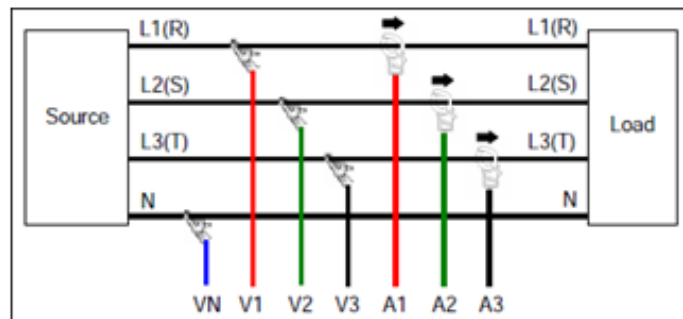
Fonte: Kyoritsu Electrical, 2011.

Fig. 20 - Configuração de ligação do analisador de energia ao Consumidor 1.



Fonte: Kyoritsu Electrical, 2011.

Fig. 21 - Configuração de ligação do analisador de energia ao Consumidor 2.



Fonte: Kyoritsu Electrical, 2011.

Fig. 22 - Configuração de ligação do analisador de energia ao Consumidor 3.

Nas próximas seções serão apresentados os resultados obtidos durante o período de monitoramento da energia elétrica nos consumidores estudados neste trabalho. A tabela 19 mostra a datas de monitoramento.

Tabela 19 - Datas de monitoramento da energia em cada consumidor.

	MEDIÇÃO (V, A, W, Hz, Cos $\phi$ )	HARMÔNICAS (V e I)	DESEQUILÍBRIO (V)
<b>Consumidor 1</b>	03/09 a 09/09/2011	10/09 a 16/09/2011	-
<b>Consumidor 2</b>	18/09 a 24/09/2011	25/09 a 01/10/2011	-
<b>Consumidor 3</b>	08/10 a 14/10/2011	15/10 a 21/10/2011	10/12 a 16/12/2011



### 5.2.1 Tensão em regime permanente

O monitoramento de tensão em regime permanente se deu pela leitura dos valores eficazes de tensão, em intervalos consecutivos de 10 minutos durante uma semana, totalizando 1008 (mil e oito) leituras válidas. Após a obtenção do conjunto de leituras encontrou-se os índices de duração da transgressão para tensão Precária (*DRP*) e o índice para tensão Crítica (*DRC*) de acordo com as equações a seguir:

$$DRP = \frac{nlp}{1008} * 100\% \quad (5.1)$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} * 100\% \quad (5.2)$$

Onde: *nlp*: número de leituras na faixa de tensão precária;

*nlc*: número de leituras na faixa de tensão crítica.

As Figuras a seguir apresentam os resultados do monitoramento de tensão nos consumidores residenciais selecionados, durante uma semana. Nestes gráficos se pode observar que a variação de tensão se manteve quase que totalmente dentro da faixa adequada para tensão em regime permanente definida pela ANEEL, mostrado na Tabela 8.

A figura 23 mostra que no monitoramento do Consumidor 1 a tensão em regime permanente se manteve na faixa de tensão adequada, definida na tabela 8. O valor máximo de tensão fase-neutro registrado foi de 130,5 V e o valor mínimo de 119,2 V, com um valor médio de 125,24 V durante o período de monitoramento. A figura 24 mostra um registro da forma de onda da tensão durante o período de medição.

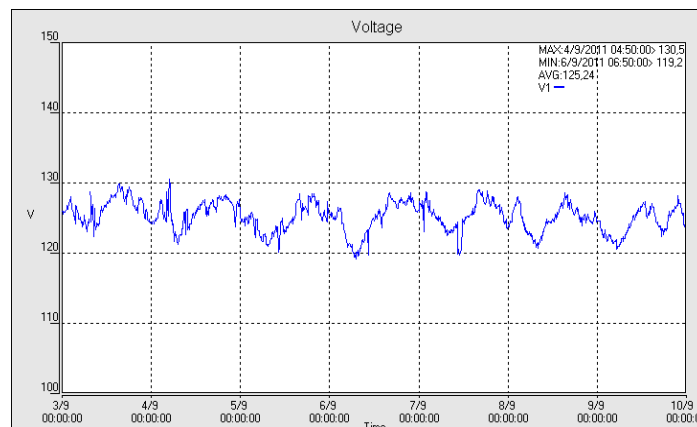


Figura 23 – Tensão monofásica obtida no monitoramento do Consumidor 1.

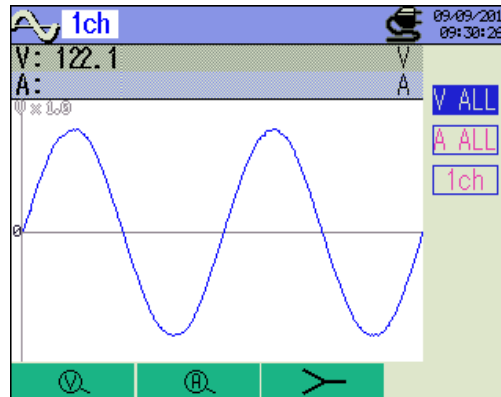


Figura 24 - Tensão monofásica mostrada no display do medidor - Consumidor 1.

Na figura 25 a tensão observada no Consumidor 2 também se manteve dentro dos níveis da tensão adequada, embora se tenha registrado um valor máximo de 133,1 V e mínimo de 115,8 V. A tensão média durante a observação foi de 125,3 V. A forma de onda de tensão mostrada na figura 26 também se apresentou senoidal com uma pequena diferença na amplitude da tensão de uma fase em relação à outra, contudo dentro dos níveis da ANEEL.

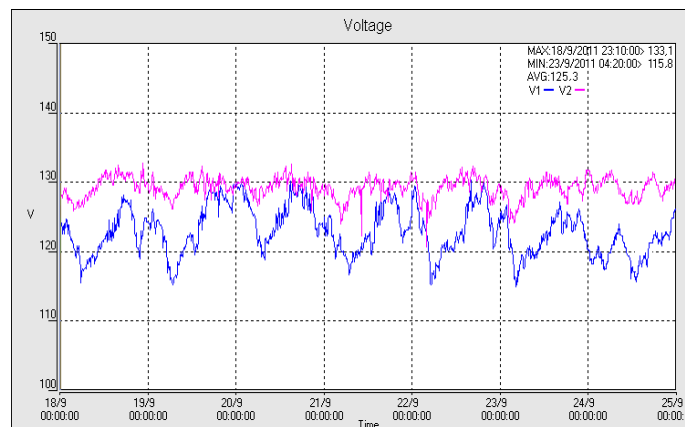


Figura 25 – Tensão bifásica obtida no monitoramento do Consumidor 2.

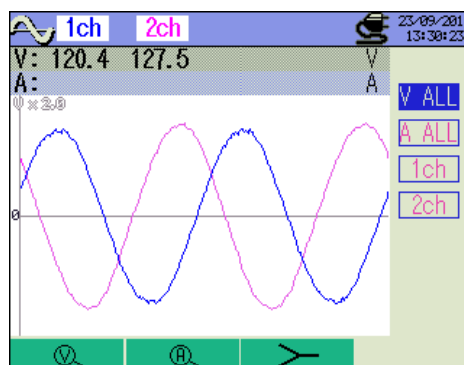


Figura 26 – Tensão bifásica mostrada no display do medidor - Consumidor 2.

O monitoramento de tensão mostrado no consumidor 3 se apresentou dentro do nível de tensão adequada da ANEEL, onde o valor máximo de tensão registrado foi de 131,2 V e mínimo de 128,8 V. A tensão média durante a observação foi de 130,05 V, a figura 27 mostra a medição semanal e a figura 28 uma amostra da forma de onda durante o monitoramento.

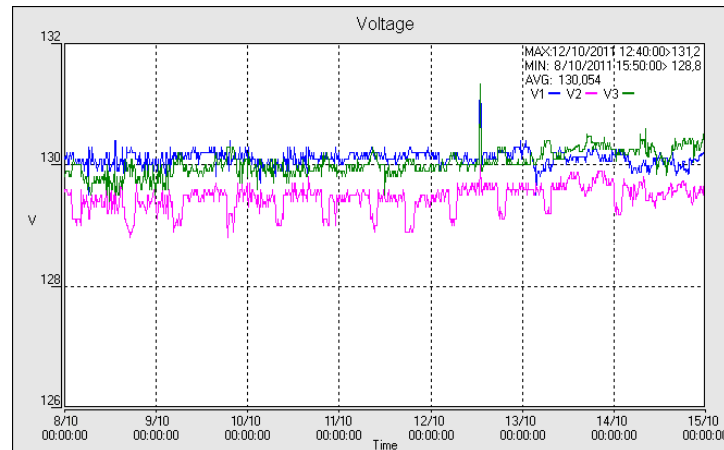


Figura 27 – Tensão trifásica obtida no monitoramento do Consumidor 3.

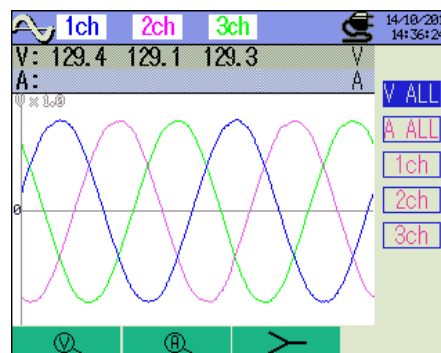


Figura 28 – Tensão trifásica mostrada no display do medidor - Consumidor 3.

Conforme o que estabelece item 2.11 do PRODIST/ANEEL os índices máximos de duração precária (DRP) e de duração crítica (DRC) de tensão, devem ser de 3% e 0,5%, respectivamente. Porém, levando em conta que nas medições não se observou tensão em nível crítico e a tensão atingiu o nível precário apenas uma única vez no Consumidor 2, os índices máximos de duração da transgressão para tensão Precária e Crítica, *DRP* e *DRC*, respectivamente, se mostraram dentro dos níveis estipulados pela ANEEL.

É importante ressaltar que o padrão de tensão apresentado no monitoramento dos consumidores desta pesquisa não representa o perfil de tensão do setor residencial de Manaus. Embora os níveis de tensão obtidos tenha se apresentado dentro de um padrão. O que se

justifica pelo fato dos alimentadores de baixa tensão que atendem os consumidores 1 e 2 pertencerem à áreas residenciais onde o padrão de carga é semelhante. Já os alimentadores de baixa tensão da Av. Constantino Nery, área com grande demanda de carga e diferentes tipos de consumidores (residencial, comercial e de serviço), são supridos por grande quantidade de unidades transformadores abaixadoras (transformador em poste) o que possibilita àquela área da cidade níveis de tensão dentro do padrão, como fora observado no consumidor 3.

### 5.2.2 Variação da Frequência

O item 8, do módulo 8 do Prodist/ANEEL, prevê que os sistemas de distribuição que operam em frequência de 60Hz devem, em condições normais de operação e em regime permanente, manter a frequência entre 59,9 Hz e 60,1 Hz. Contudo, o mesmo documento admite a faixa entre de 59,5 Hz a 60,5 Hz, como aceitável. As figuras 29, 30 e 31 apresentam os resultados da observação da frequência nos três consumidores em estudo.

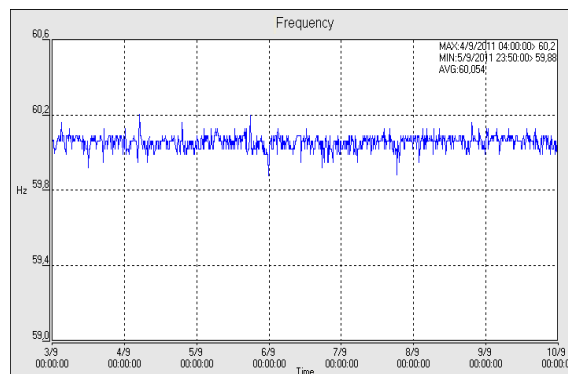


Figura 29 – Monitoramento da frequência no Consumidor 1.

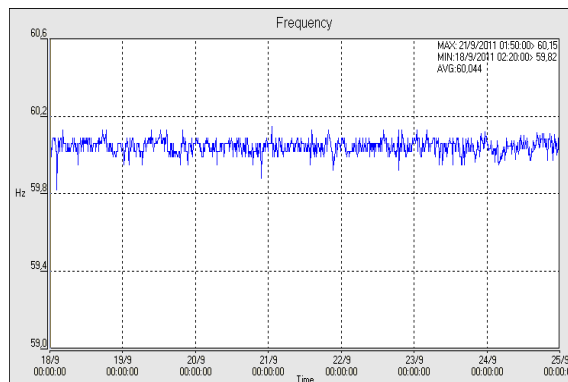


Figura 30 – Monitoramento da frequência no Consumidor 2.

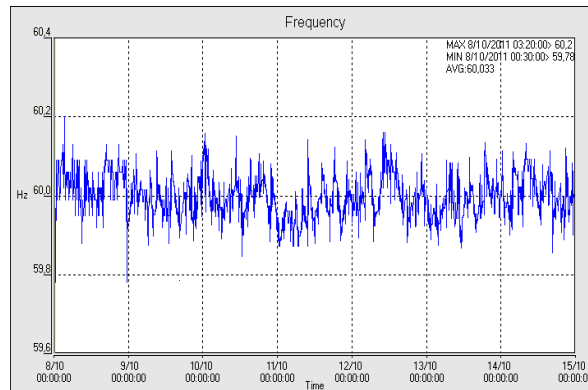


Figura 31 – Monitoramento da frequência no Consumidor 3.

Como se pode observar nas figuras, a frequência de fornecimento da tensão se manteve dentro dos limites previstos no Prodist/ANEEL.

### 5.2.3 Fator de Potência

Como foi mostrado anteriormente, para unidades consumidoras com tensão inferior a 230 kV o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 (noventa e dois centésimos) e 1,00 (um) indutivo ou 1,00 (um) e 0,92 (noventa e dois centésimos) capacitivo, de acordo com regulamentação vigente.

Durante a observação, o fator de potência em todos os casos se apresentou fora dos níveis previstos no Prodist/Aneel (Figuras 32, 33 e 34). O que já se esperava, uma vez que o fator de potência é uma grandeza que depende não só da tensão de fornecimento, mas também da corrente absorvida pela carga dos consumidores. A regulamentação vigente (Resolução 414 da Aneel) dispensa os consumidores do grupo B, onde se encontram os consumidores residenciais, da observação do fator de potência (Art. 76), tendo em vista que tais consumidores *são faturados com base somente no consumo de energia ativa*, como cita o Art. 106 da Resolução 414 da ANEEL.

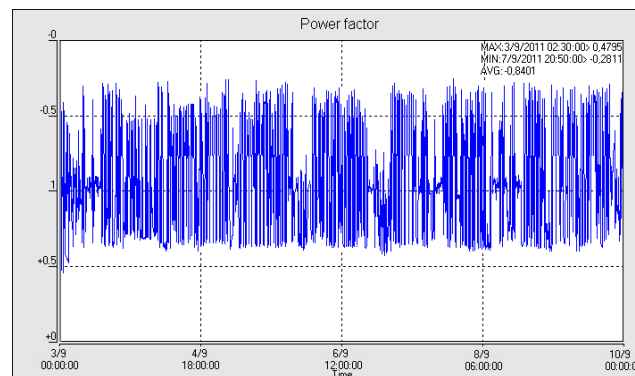


Figura 32 – Fator de Potência observado no Consumidor 1.

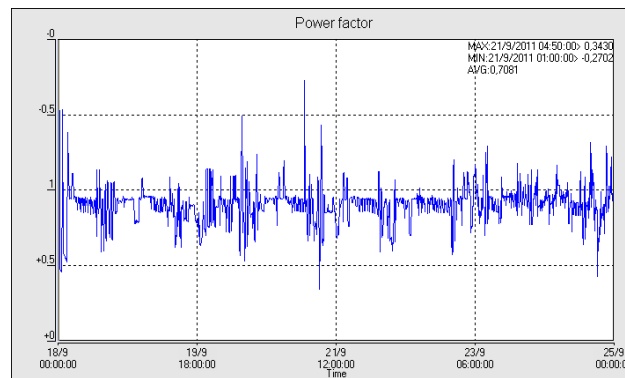


Figura 33 – Fator de Potência observado no Consumidor 2.

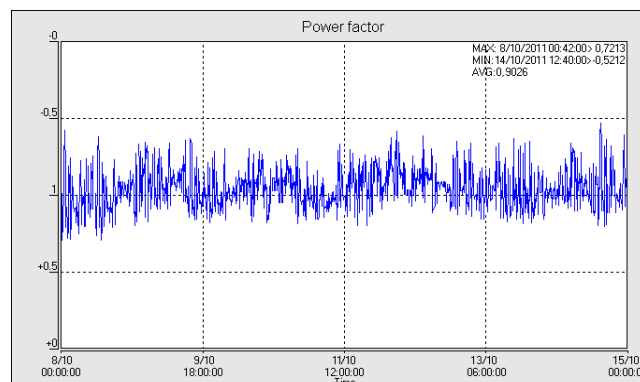


Figura 34 – Fator de Potência observado no Consumidor 3.

## 5.2.4 Harmônicos

As distorções harmônicas são fenômenos associados com deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental. O monitoramento da distorção harmônica nos consumidores selecionados foi realizado nos períodos apresentados na tabela 19. As figuras 35, 36 e 37 mostram os espectros harmônicos de tensão até a 25ª ordem no início da medição em cada consumidor.

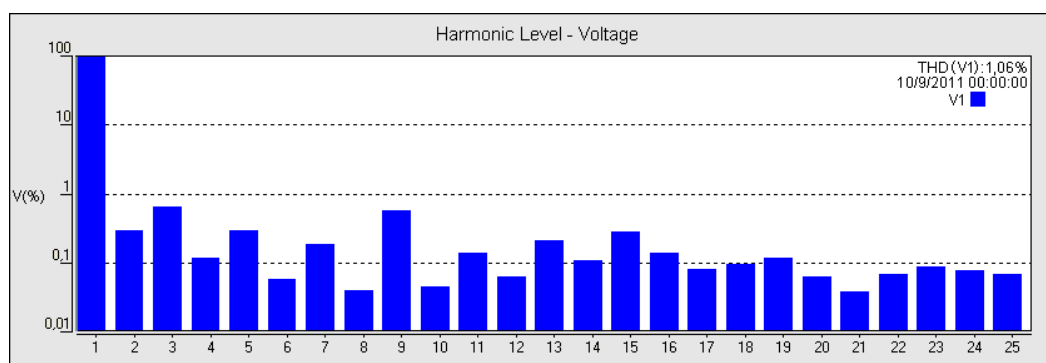


Figura 35 – Espectro harmônico de tensão no Consumidor 1.

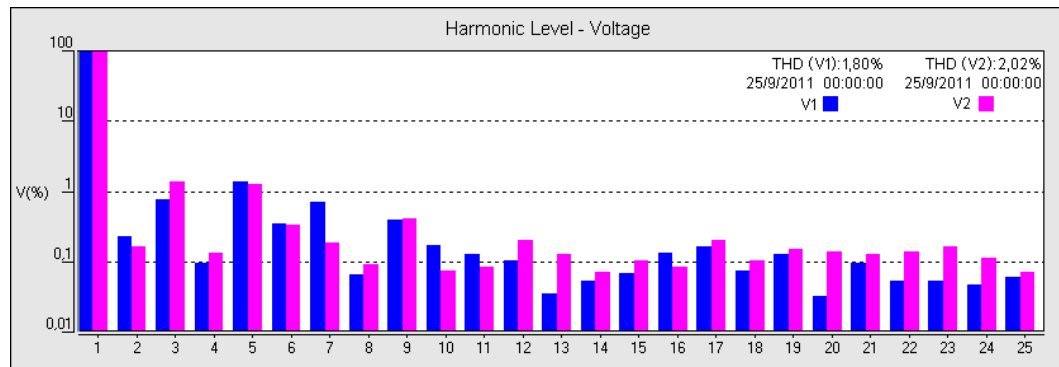


Figura 36 – Espectro harmônico de tensão no Consumidor 2.

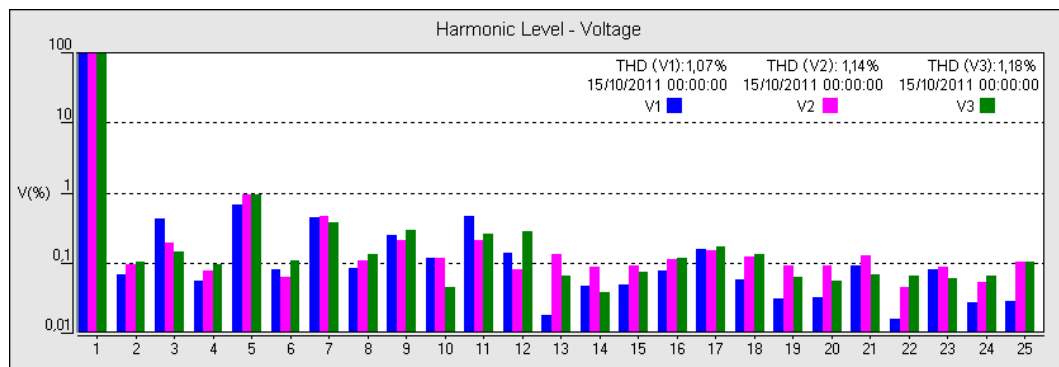


Figura 37 – Espectro harmônico de tensão no Consumidor 3.

Quando comparados os valores dessa amostra inicial do espectro harmônico da tensão (tabela 20) com os valores de referência da ANEEL se observou que todos os níveis de distorção harmônica, totais e individuais se mantiveram dentro dos padrões da Aneel.

Tabela 20 – Amostra inicial da THDv para os três consumidores.

Ordem Harmônica	Valores de referência da Aneel (%)	Consumidor 1		Consumidor 2		Consumidor 3	
		V1 (%)	V1 (%)	V2 (%)	V1 (%)	V2 (%)	V3 (%)
THD	<b>10</b>	<b>1,06</b>	<b>1,80</b>	<b>2,02</b>	<b>1,07</b>	<b>1,14</b>	<b>1,18</b>
2ª	2,5	0,340	0,277	0,202	0,064	0,092	0,097
3ª	6,5	0,776	0,915	1,691	0,414	0,187	0,135
4ª	1,5	0,137	0,113	0,168	0,052	0,074	0,092
5ª	7,5	0,348	1,671	1,608	0,653	0,894	0,890
6ª	1	0,069	0,410	0,413	0,076	0,061	0,105
7ª	6,5	0,221	0,860	0,228	0,426	0,444	0,358
8ª	1	0,045	0,077	0,115	0,081	0,101	0,128
9ª	2	0,679	0,474	0,517	0,237	0,198	0,278
10ª	1	0,053	0,201	0,093	0,111	0,113	0,043
11ª	4,5	0,166	0,151	0,106	0,440	0,199	0,243
12ª	1	0,075	0,122	0,251	0,131	0,077	0,266
13ª	4	0,245	0,042	0,158	0,017	0,128	0,062

14 <sup>a</sup>	1	0,128	0,065	0,089	0,044	0,083	0,036
15 <sup>a</sup>	1	0,336	0,081	0,129	0,046	0,086	0,071
16 <sup>a</sup>	1	0,162	0,161	0,103	0,072	0,107	0,113
17 <sup>a</sup>	2,5	0,095	0,199	0,256	0,148	0,146	0,160
18 <sup>a</sup>	1	0,112	0,089	0,131	0,056	0,114	0,127
19 <sup>a</sup>	2	0,137	0,155	0,188	0,029	0,088	0,059
20 <sup>a</sup>	1	0,074	0,040	0,171	0,030	0,085	0,053
21 <sup>a</sup>	1	0,044	0,111	0,157	0,086	0,124	0,064
22 <sup>a</sup>	1	0,081	0,063	0,173	0,015	0,042	0,063
23 <sup>a</sup>	2	0,104	0,065	0,208	0,077	0,084	0,058
24 <sup>a</sup>	1	0,091	0,056	0,140	0,026	0,049	0,061
25 <sup>a</sup>	2	0,079	0,072	0,087	0,026	0,099	0,097

Os gráficos mostrados a seguir apresentam a Distorção Harmônica Total da tensão nos consumidores estudados, durante o período de observação. No consumidor 1 o maior nível de Distorção Harmônica Total (THD) foi de 1,5% para a tensão em regime permanente. O maior nível de Distorção Harmônica Total dos Consumidores 2 e 3 foi de 2,3% e 1,4%, respectivamente.

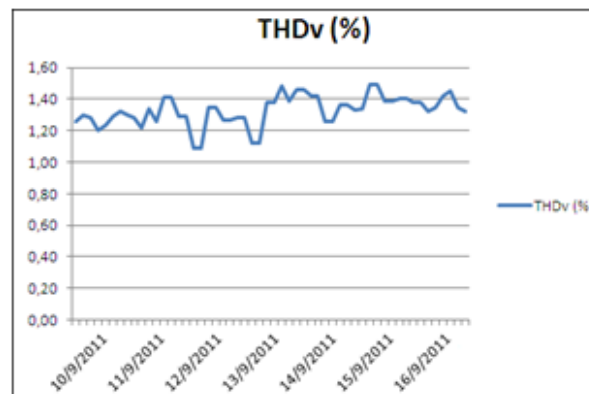


Figura 38 – Distorção harmônica de tensão THDv no Consumidor 1.

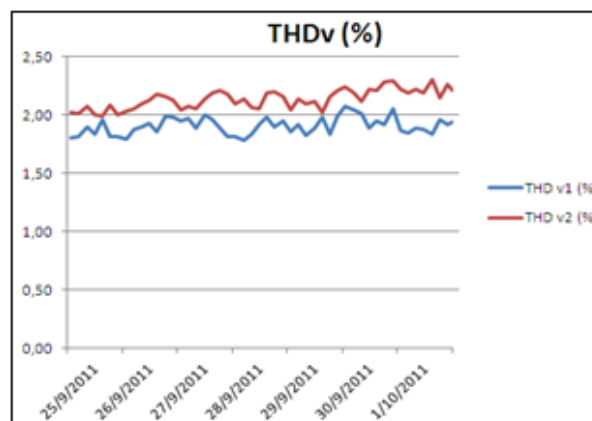


Figura 39 – Distorção harmônica de tensão THDv no Consumidor 2.



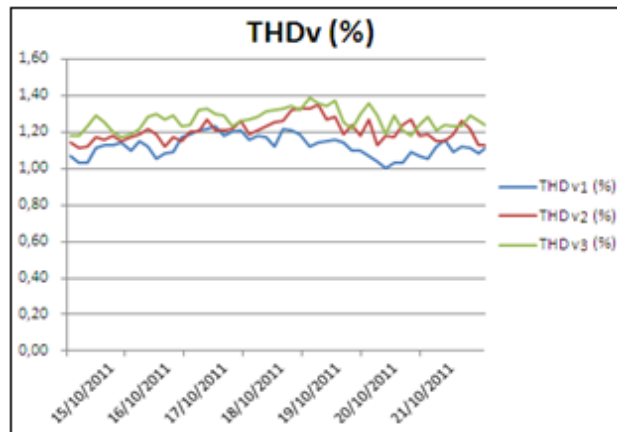


Figura 40 – Distorção harmônica de tensão THDv no Consumidor 3.

### 5.2.5 Desequilíbrio de Tensão

O desequilíbrio de tensão é o fenômeno associado a alterações dos padrões trifásicos do sistema de distribuição. O valor de referência para o fator de desequilíbrio de tensão nos barramentos no sistema de distribuição deve ser igual ou inferior a 2%. No caso do Consumidor 3, o único com ligação trifásica, o desequilíbrio de tensão no início da observação foi de 1,33% (figura 41). A figura 42 mostra o desequilíbrio de tensão durante uma semana de medição.



Figura 41 - Desequilíbrio de tensão no Consumidor 3 no início da medição.

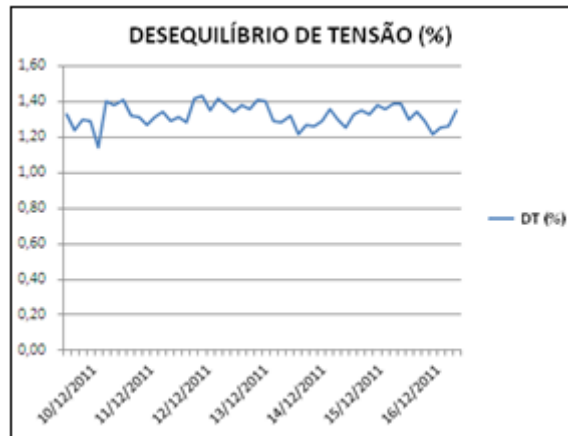


Figura 42 - Desequilíbrio de tensão no Consumidor 3.

Durante a verificação da qualidade da energia fornecida pela concessionária aos consumidores estudados, pôde-se observar que nos parâmetros monitorados, o fornecimento de energia elétrica se manteve dentro dos limites previstos pela ANEEL. Durante as medições, não foram registradas variações de tensão de curta duração pelo instrumento. E quanto à flutuação de tensão, não foi possível se verificar tal parâmetro devido às limitações do instrumento utilizado nesse trabalho.

### 5.2.6 Corrente consumida e Harmônicos de corrente

Foram coletados ainda os dados de corrente consumida. As figuras a seguir mostram o consumo da corrente elétrica absorvida pelos consumidores estudados.

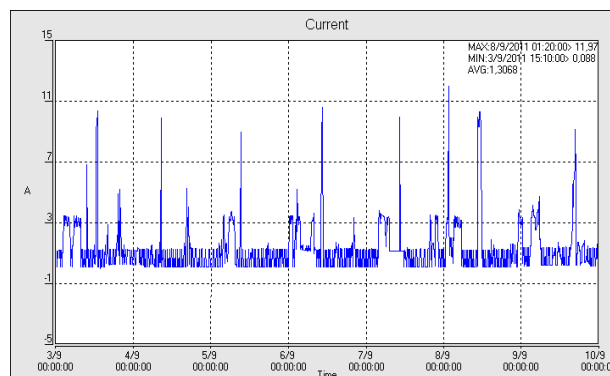


Figura 43 – Corrente no Consumidor 1.

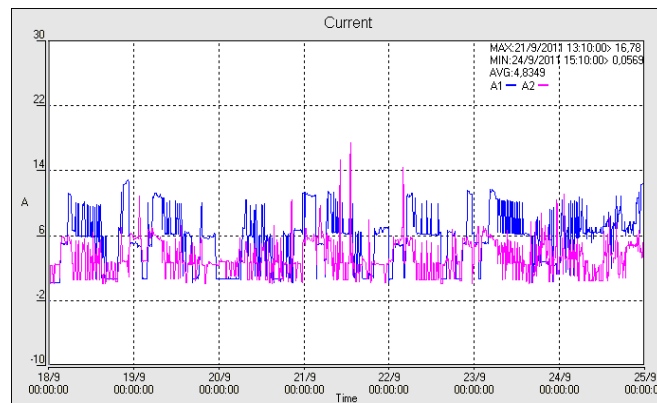


Figura 44 – Corrente no Consumidor 2.

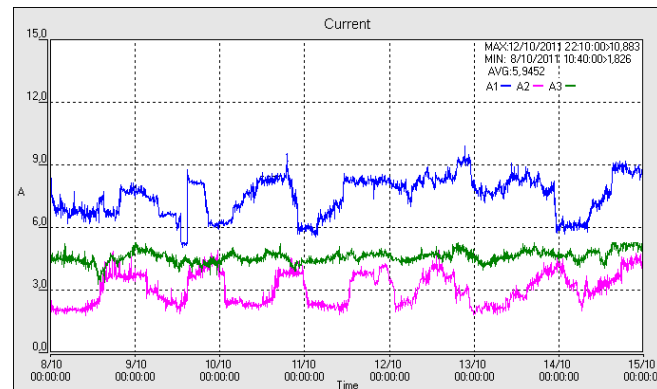


Figura 45 – Corrente no Consumidor 3.

A corrente média nos consumidores 1, 2 e 3 foi de 1,30A, 4,83A e 5,94A, respectivamente. As figuras 46, 47 e 48 trazem os espectros das correntes harmônicas nos consumidores e as figuras 49, 50 e 51 apresentam o perfil da Distorção Harmônica Total de Corrente (THDi) em cada consumidor.

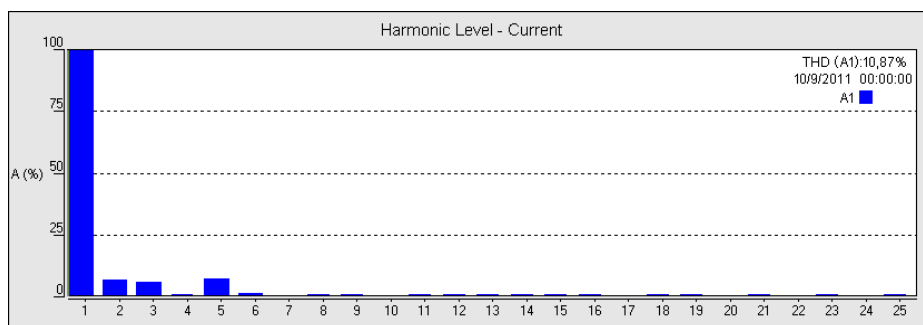


Figura 46 – Espectro harmônico de corrente no Consumidor 1.

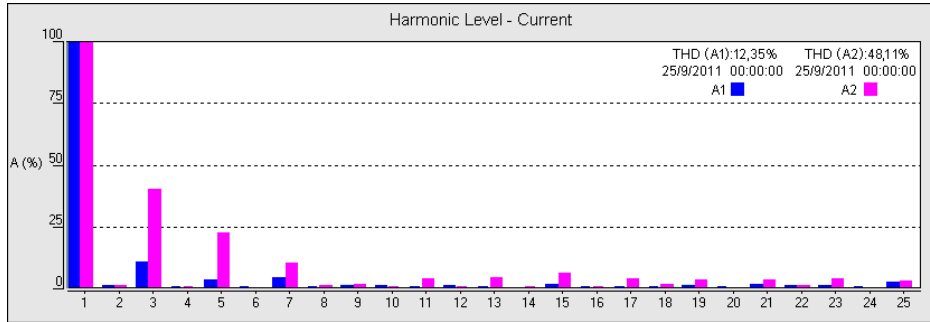


Figura 47 – Espectro harmônico de corrente no Consumidor 2.

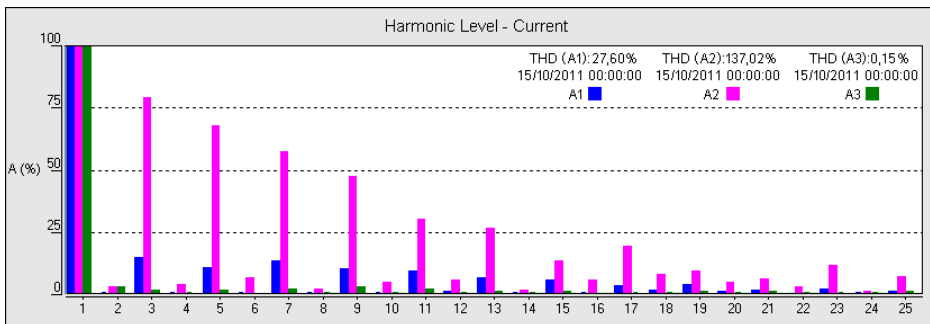


Figura 48 – Espectro harmônico de corrente no Consumidor 3.

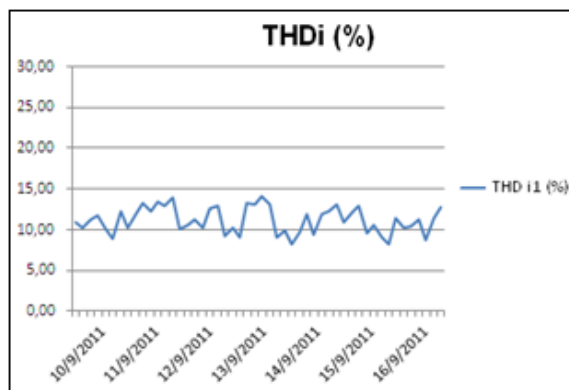


Figura 49 – Distorção Harmônica de Corrente THDi no Consumidor 1.

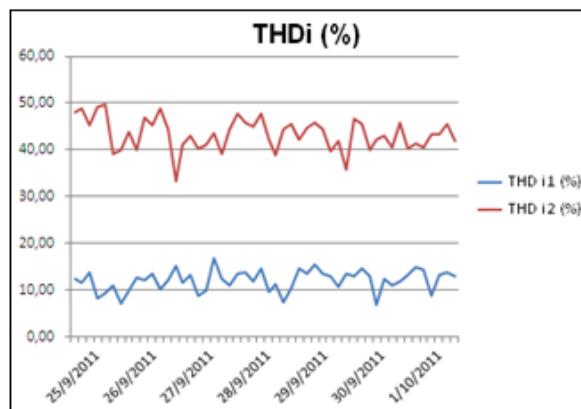


Figura 50 – Distorção Harmônica de Corrente THDi no Consumidor 2.

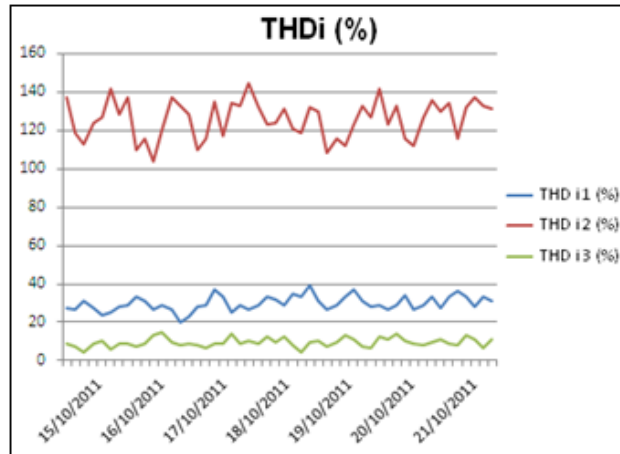


Figura 51 – Distorção Harmônica de Corrente THDi no Consumidor 3.

A tabela 21 traz o consumo de corrente por fase e a Distorção Harmônica Total de corrente (THDi) em percentual nos três casos estudados.

Tabela 21 – Corrente por fase e Distorção Harmônica Total de corrente.

FASE	CORRENTE MÉDIA (A)			THDi (%)		
	A	B	C	A	B	C
<b>Consumidor 1</b>	1,3	-	-	11,16	-	-
<b>Consumidor 2</b>	6,21	3,34	-	12,11	43,4	-
<b>Consumidor 3</b>	8,05	3,27	4,78	29,85	125,96	9,51

A tabela 22, extraída da referência ELETROBRÁS/PROCEL EDUCAÇÃO (2006), apresenta o acréscimo de corrente devido às distorções harmônicas de corrente (THDi) causadas pelas cargas instaladas nos consumidores. À medida que aumenta a distorção harmônica de corrente ocorre também o acréscimo percentual da corrente elétrica consumida.

Tabela 22 - Relação entre Distorção de corrente THDi e acréscimo de corrente.

Distorção na Corrente THDi - %	Acréscimo de corrente - %
0	0,00
5	0,125
10	0,50
30	4,40
50	11,80
70	22,07
90	34,54
100	41,42
120	56,20
130	64,01
150	80,28
170	97,23
200	123,61

Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2006.

Como se pode observar na tabela 22, a presença de correntes harmônicas em consumidores contribui significativamente para o aumento do consumo de energia elétrica. Tomando como referência a Tabela 22, e se utilizando de cálculos de interpolação de valores para obter um percentual de acréscimo de corrente aproximado nas correntes dos consumidores estudados, devido a presença da distorção harmônica de corrente (THDi), foram encontrados os seguintes resultados, apresentados na tabela 23.

Tabela 23 - Corrente sem perdas por Distorção Harmônica Total de corrente (THDi).

FASE	CORRENTE MÉDIA (A)			THDi (%)			ACRÉSCIMO DE CORRENTE DEVIDO À THDi (%)			CORRENTE SEM PERDAS THDi (A)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Consumidor 1	1,3	-	-	11,16	-	-	0,7	-	-	1,29	-	-
Consumidor 2	6,21	3,34	-	12,11	43,4	-	0,9	9,36	-	6,15	3,24	-
Consumidor 3	8,05	3,27	4,78	29,85	125,9	9,51	4,37	60,85	0,46	7,71	2,03	4,75

A tabela 24 mostra a potência consumida pelas cargas considerando a corrente obtida no monitoramento da energia. Já a tabela 25 mostra a potência que seria consumida nos casos estudados desconsiderando as perdas por distorção harmônica de corrente (THDi).

Tabela 24 – Potência consumida considerando as perdas por THDi.

FASE	TENSÃO MÉDIA (A)			CORRENTE MÉDIA (A)			POTÊNCIA (W)			POTÊNCIA TOTAL (W)
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
Consumidor 1	125,24	-	-	1,3	-	-	136,8	-	-	136,8
Consumidor 2	124,2	129,5	-	6,21	3,34	-	546,1	306,2	-	852,3
Consumidor 3	130,3	129,5	130,05	8,05	3,27	4,78	946,1	382,0	560,7	1888,8

\* Considerando o Fator de potência de 0.84, 0.708 e 0.902 para os consumidores 1, 2 e 3 respectivamente.

Tabela 25 – Potência consumida desprezando as perdas por THDi.

FASE	TENSÃO MÉDIA (A)			CORRENTE SEM PERDAS POR THDi (A)			POTÊNCIA (W)			POTÊNCIA TOTAL (W)
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
Consumidor 1	125,24	-	-	1,29	-	-	135,7	-	-	135,7
Consumidor 2	124,2	129,5	-	6,15	3,24	-	540,8	297,1	-	837,9
Consumidor 3	130,3	129,5	130,05	7,71	2,03	4,75	906,2	237,1	557,2	1700,5

\* Considerando o Fator de potência de 0.84, 0.708 e 0.902 para os consumidores 1, 2 e 3 respectivamente.

As tabelas 26 e 27 trazem para os três casos a potência ativa média, a energia mensal consumida, obtida pelo produto da potência média pelas horas de um mês (720h) e o custo da energia elétrica para esse período, sendo adotado o valor de R\$ 0,45 por kWh para o consumidor residencial na cidade de Manaus.

Tabela 26 - Custo da energia considerando as perdas por THDi.

	POTÊNCIA TOTAL (W)	ENERGIA MENSAL CONSUMIDA (kWh)	CUSTO DA ENERGIA (R\$)
<b>Consumidor 1</b>	136,8	98,50	44,32
<b>Consumidor 2</b>	852,3	613,66	276,15
<b>Consumidor 3</b>	1888,8	1359,94	611,97

Tabela 27 - Custo da energia desprezando as perdas por THDi.

	POTÊNCIA TOTAL (W)	ENERGIA MENSAL CONSUMIDA (kWh)	CUSTO DA ENERGIA (R\$)
<b>Consumidor 1</b>	135,7	97,70	43,97
<b>Consumidor 2</b>	837,9	603,29	271,48
<b>Consumidor 3</b>	1700,5	1224,36	550,96

Conforme os resultados apresentados acima, é possível perceber a redução do consumo de energia elétrica ao se extrair a distorção harmônica total de corrente causada pelas próprias cargas dos consumidores. No Consumidor 1 a redução de consumo foi pequena, em torno de 0,8 kWh/mês (R\$ 0,36). A redução estimada para o Consumidor 2 seria de 10,37 kWh (R\$ 4,67). A redução para o Consumidor 3, o de maior carga, seria cerca de 135,58 kWh (R\$ 61,01).

Considerando que o consumidor residencial apresenta o perfil de consumo médio de energia conforme demonstrado na pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, realizada pelo PROCEL em 2007. E levando em conta a tabela 1 que mostrou o total de consumidores residenciais e o respectivo padrão de ligação à rede elétrica, uma expansão estimada e hipotética dos resultados desse estudo para o total de consumidores existentes na cidade de Manaus é mostrada na tabela 28.

Tabela 28 - Custo total evitado extraíndo as perdas por distorção harmônica de corrente

	CONSUMIDOR POR TIPO DE LIGAÇÃO	REDUÇÃO POR CONSUMIDOR (kWh)	REDUÇÃO TOTAL DE CONSUMO (kWh)	CUSTO TOTAL EVITADO (R\$)
<b>Consumidor 1</b>	282.235	0,8	225.788	101.605
<b>Consumidor 2</b>	87.901	10,37	911.533	410.190
<b>Consumidor 3</b>	38.155	135,58	5.173.055	2.327.875
<b>TOTAL</b>	<b>408.291</b>	<b>147</b>	<b>6.310.376</b>	<b>2.839.669</b>

A tabela 28 mostra o custo total evitado quando se considera que os consumidores residenciais utilizem a energia elétrica de forma semelhante. Quando desconsideradas as perdas causadas por componentes harmônicas de corrente a redução da energia elétrica

consumida na Classe residencial I seria de 6.310.376 kWh/mês, o que representa um custo total evitado de R\$ 2.839.669 mensais, quando adotado o kWh a R\$ 0,45.

### 5.3 Medidas de mitigação e redução de consumo de energia elétrica

Há várias maneiras para se minimizar os efeitos dos distúrbios da energia elétrica, a seguir são apresentadas algumas medidas de redução desses distúrbios que poderiam ser empregadas em consumidores residenciais. As informações a seguir foram extraídas de Martinho (2009):

- **UPS** (Uninterrupt Power System), também conhecido como *nobreak*, tem como função fornecer ao sistema que estiver ligado um sinal estabilizado da tensão dentro dos parâmetros estabelecidos, indicados para interrupções de tensão e variações de tensão.
- **Reguladores de Tensão**, da mesma forma que o UPS, os reguladores têm como objetivo manter a tensão de alimentação dentro de um valor especificado. Esse dispositivo é usado para o controle de variações de tensão de curta ou longa duração, subtensões ou sobretensões;
- **Condicionador de Energia**: este equipamento inclui além das funções do *nobreak*, como a regulação da tensão, a filtragem de correntes harmônicas, ruídos e redução de transientes. O uso desse dispositivo pode atender à prevenção e controle da variação de tensão, ocorrência de surtos, redução da presença de harmônicas.
- **Filtros**: são utilizados para desviar correntes harmônicas de determinadas frequências para a terra. Pode ser usado para controle de surtos e correntes harmônicas, podendo ser do tipo passivo ou ativo.

A utilização dessas tecnologias para melhoria da qualidade da energia já foi experimentada em diversos seguimentos, dentre eles indústrias e comércios, a seguir são citados dois casos de medidas de redução de consumo de energia com utilização de filtros de energia.

Segundo Deckmann (2005), filtros passivos instalados em redes de distribuição reduziram as correntes harmônicas do transformador da rede. Os filtros passivos atuam como divisores de corrente, absorvendo parte das correntes harmônicas da carga.



Um caso citado por Correia (2007), em que após estudo realizado em uma indústria, chegou-se a uma perda estimada de 37,2% de energia devido às distorções harmônicas de corrente. Neste caso a empresa optou pela utilização de filtros passivos de energia. Segundo Correia o consumo de energia no ano seguinte ao da implementação dos filtros de energia caiu de 22.220 MWh/ano para 21.509 MWh/ano representando uma redução de 711 MWh/ano naquela empresa, ou seja, R\$ 79.000 por ano de redução dos gastos com energia elétrica.

## CONCLUSÃO

Este trabalho abordou importantes aspectos da energia elétrica, a conservação de energia e a qualidade da energia, fornecida a consumidores residenciais. Foi possível fazer uma abordagem sobre os programas de conservação de energia no setor residencial, em seguida foram mostrados os principais distúrbios presentes na energia elétrica. As normas referentes à qualidade da energia elétrica também foram apresentadas.

Na parte prática de observação de consumidores residenciais com ligações e perfis de cargas distintos, foi possível avaliar por meio de monitoramentos semanais, como prevê a ANEEL, a qualidade da energia elétrica recebida por aqueles consumidores. Do ponto de vista da tensão permanente, frequência e harmônicas de tensão, foi observado que a concessionária local cumpre com os requisitos mínimos de fornecimento, definidos pela ANEEL. Contudo, ao se observar a corrente consumida percebeu-se a presença das distorções harmônicas de corrente, causadas pelas próprias cargas instaladas em cada consumidor. Ressalta-se que, por tratar-se de um estudo de caso, o trabalho não apresentou um diagnóstico completo do fornecimento de energia na cidade de Manaus. São apresentados somente os resultados pontuais dos consumidores em estudo.

Foi levantado o custo da energia elétrica consumida em cada caso a partir da corrente medida e repetido o mesmo cálculo para a mesma corrente sem distorção harmônica. Com isso foi possível estimar a redução de aproximadamente de 0,8 kWh/mês para o consumidor 1; 10,37 kWh/mês para o consumidor 2; e 135,58 kWh/mês para o consumidor 3. Considerando hipoteticamente a homogeneidade do padrão residencial dos consumidores da Classe Residencial I da cidade de Manaus, representados pelos casos estudados, fez-se uma extrapolação dos resultados encontrados para estimar o potencial de conservação de energia, que poderia alcançar 6.310.376 kWh/mês. Considerando a tarifa aplicada hoje pela concessionária de energia de R\$ 0,45/kWh para a Classe Residencial I, a economia estimada seria de R\$ 2.839.669.

Essa redução só seria possível caso fossem tomadas medidas de mitigação como as citadas anteriormente neste trabalho. Entretanto, não foi encontrada durante a realização dessa pesquisa na literatura clássica, trabalhos técnicos que abordassem aplicações de determinada tecnologia para mitigação dos distúrbios da energia elétrica em residências com o objetivo de

reduzir o consumo da energia elétrica. Em face disso, ficam as seguintes recomendações para trabalhos futuros:

- Identificar as cargas residenciais geradoras de harmônicos, em especial as de tecnologia recente como Televisores LCD e LED com conversor digital integrado (Full HD);
- Realizar testes com Filtros de Energia (passivos e ativos) em consumidores residenciais e levantar o potencial de redução de consumo que tais filtros proporcionariam;
- Estender as análises de distorção harmônica de corrente para consumidores do comércio e da indústria.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR IEC 61000-4-30: *Compatibilidade Eletromagnética – Parte 4-30: Técnicas de medição e ensaio – Métodos de medição de qualidade da energia*. 2011.

ALVAREZ, A. L. M. *Uso racional e eficiente de energia elétrica: metodologia para a determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares*. 1998. 159 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional/PRODIST: Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica*. Brasília, 2011. Disponível em: [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Acesso em 10 de janeiro de 2012.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução 414 - Condições gerais de fornecimento de energia elétrica*. Brasília, 2010. Disponível em: [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Acesso em 10 de dezembro de 2010.

CARTAXO, E. F. *Relatório Final do Projeto Condicionadores de Ar, Energia e Meio Ambiente* - CAEMA. Ufam, Manaus, 2004.

CORREIA, et al. Estudo de viabilidade técnica e econômica para aumento da eficiência energética numa indústria. *XXVII Encontro nacional de Engenharia de Produção*. Anais, Foz do Iguaçu – PR, 2007.

DECKMANN, et al. Uso de filtros passivos em redes de distribuição com cargas não-lineares. *VI Seminário Brasileiro de Qualidade da Energia Elétrica*. Anais, Belém – PA, 2005

DUARTE, H. C.. *Impactos econômicos dos harmônicos de corrente das cargas não lineares em redes elétricas de distribuição residenciais*. 2010. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Instituto Alberto Luiz de Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010.

DUGAN, R. C., MCGRANAGHAN, M. F., SANTOSO, S., BEATY, H. W. *Electrical Power Systems Quality*. 2<sup>a</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 2004.

ELETROBRÁS AMAZONAS ENERGIA. *Relatório de Administração - Exercício 2010*. Disponível em: [www.amazonasenergia.gov.br](http://www.amazonasenergia.gov.br). Acesso em 12 de dezembro de 2010.

ELETROBRÁS/PROCEL EDUCAÇÃO. *Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações*. 3 ed. Itajubá: Fupai, 2006. 597 p.

ELETROBRÁS/PROCEL. *Programa nacional de conservação de energia elétrica*. Disponível em: <[www.eletronbras.com/procel](http://www.eletronbras.com/procel)>. Acesso em: 13 de nov. de 2010.

ELETROBRÁS Amazonas Energia. *DI/NT-01 – Fornecimento de energia elétrica em tensão secundária de distribuição*. AME, 90 p. 2001.

EN 50160 – Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, 2008.

IEEE. *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. IEEE, 70 p. 1995.

LEI nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. *Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências*. Disponível em: <[www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf](http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf)>. Acesso em: 12 de nov. 2010.

MARTINHO, Edson. *Distúrbios da Energia Elétrica*. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo: Érica, 2009.

McEACHERN, Alex. Roles of intelligent systems in power quality monitoring: past, present, and future. *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*. Vancouver, v.2, p.1103-1105, 15-19 Jul. 2001. Disponível em: <<http://www.ieee.org>>. Acesso em: 06 de outubro de 2011.

OLIVEIRA, C. G. de. *Estudo sobre Conservação de Energia Elétrica e Qualidade de Energia Elétrica*. 2009. 37 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2009.

PROCEL. *Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil. Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - Classe residencial, relatório Norte*. 2007.

SILVA, R. M. da. *Conservação de Energia Elétrica: Um enfoque em consumidores residenciais*. 2008, 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Eletricidade) - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2008.

SOUZA, H. M. de; et al. *Reflexões sobre os principais Programas em Eficiência Energética existentes no Brasil*. Revista Brasileira de Energia. Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 7-26, 1<sup>o</sup>. Sem. 2009.