



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**CARACTERIZAÇÃO DO CONTEÚDO HARMÔNICO
EM AMBIENTES RESIDENCIAIS: ESTUDO DE CASO**

FLÁVIO GOMES DE CARVALHO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

ÁREA DE CONHECIMENTO: SISTEMAS DE ENERGIA

ORIENTADOR:
ISAAC SOARES DE FREITAS

JOÃO PESSOA, PARAÍBA, BRASIL

2015

FLÁVIO GOMES DE CARVALHO

**CARACTERIZAÇÃO DO CONTEÚDO HARMÔNICO
EM AMBIENTES RESIDENCIAIS: ESTUDO DE CASO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

ÁREA DE CONHECIMENTO: SISTEMAS DE ENERGIA

**ORIENTADOR:
ISAAC SOARES DE FREITAS**

**JOÃO PESSOA, PARAÍBA, BRASIL
2015**

C331c Carvalho, Flávio Gomes de.
 Caracterização do conteúdo harmônico em ambientes
residenciais: estudo de caso / Flávio Gomes de Carvalho.-
João Pessoa, 2015.
 127f. : il.
 Orientador: Isaac Soares de Freitas
 Dissertação (Mestrado) – UFPB/CEAR
 1. Engenharia elétrica. 2. Instalações elétricas – conteúdo
harmônico - residências. 3. Qualidade de energia. 4. Analisador
de energia.

UFPB/BC

CDU: 621.3(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS – CEAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGE

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação

CARACTERIZAÇÃO DO CONTEÚDO HARMÔNICO EM AMBIENTES RESIDENCIAIS:
ESTUDO DE CASO

Elaborado por

Flávio Gomes de Carvalho

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Elétrica.

COMISSÃO EXAMINADORA

PROF. DR ISAAC SOARES DE FREITAS (Presidente)
ORIENTADOR

PROF. DR SIMPLÍCIO ARNAUD DA SILVA
EXAMINADOR INTERNO

PROF. DR. ANTONIO SOARES DE OLIVEIRA JUNIOR
EXAMINADOR EXTERNO

João Pessoa/PB, ____ de _____ de _____.

Aos meus pais, pelo carinho, amparo e estímulo que me ofertaram durante toda esta caminhada.

A minha família, esposa e filhos, pela ajuda, compreensão e abnegação que tiveram no decorrer desta jornada.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos que estiveram por todo este tempo ao meu lado, apoiando e ajudando a transpor todas as dificuldades.

Ao meu orientador em especial, pela sua conduta ética, pelos ensinamentos, incentivo e dedicação Profº Isaac Soares de Freitas.

Aos amigos que sempre se fizeram presentes nos momentos mais difíceis.

E acima de tudo, a Deus, por tudo que sou.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

Albert Einstein.

RESUMO

CARACTERIZAÇÃO DO CONTEÚDO HARMÔNICO EM AMBIENTES RESIDENCIAIS: ESTUDO DE CASO.

Neste trabalho é realizada uma caracterização do conteúdo harmônico em instalações elétricas residenciais por meio de um conjunto de medições realizadas por diversos períodos de tempo. Para cada caso avaliado fez-se um levantamento das cargas que compõem a instalação e uma análise individual de cada uma delas como forma de avaliar sua influência no comportamento harmônico da instalação como um todo.

Descritores: Harmônicas, qualidade de energia, distúrbios, analisador de energia.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF HARMONIC CONTENT IN RESIDENTIAL ENVIRONMENTS: CASE STUDY.

In this work a characterization of harmonic content in residential electrical systems through a set of measurements over various periods of time is performed. For each reported case it was a statement of charges that make up the installation and an individual analysis of each of them as a way to assess their influence on the harmonic behavior of the installation as a whole.

Descriptors: Harmonics, power quality, disturbances, energy analyzer.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	XV
GLOSSÁRIO.....	XVII
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL.....	18
1.1 CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS RELACIONADOS A QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA.....	20
1.2 DISTORÇÃO HARMÔNICA.....	23
1.2.1 INDICADORES DE DISTORÇÃO HARMÔNICA.....	25
1.3 MOTIVAÇÃO.....	35
1.4 OBJETIVO.....	35
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	36
CAPÍTULO 2 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
2.1 INTRODUÇÃO.....	37
2.2 ANALISADOR DE ENERGIA.....	38
2.3 ELETRODOMÉSTICOS E ELETROELETRÔNICOS AVALIADOS.....	41
2.4 RESIDÊNCIAS AVALIADAS.....	42
CAPÍTULO 3 - APARELHOS ELETRODOMÉSTICOS E ELETROELETRÔNICOS RESIDENCIAIS.....	44
3.1 INTRODUÇÃO.....	44
3.2 APARELHO DE SOM TIPO MICRO SYSTEM.....	45
3.3 CARREGADOR DE CELULAR.....	46
3.4 CONDICIONADOR DE AR SPLIT TIPO INVERTER.....	48
3.5 CONDICIONADOR DE AR SPLIT CONVENCIONAL.....	49
3.6 CHUVEIRO ELÉTRICO.....	51
3.7 ESTEIRA ELÉTRICA MOTOR AC.....	52
3.8 ESTEIRA ELÉTRICA MOTOR CC.....	54
3.9 ESPREMEDOR DE LARANJA.....	56
3.10 FERRO DE PASSAR ROUPAS.....	57
3.11 FORNO MICRO-ONDAS.....	58
3.12 GRILL ELÉTRICO.....	60
3.13 LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA.....	61
3.14 LÂMPADA INCANDESCENTE.....	63
3.15 LIQUIDIFICADOR.....	65

3.16	MÁQUINA DE LAVAR ROUPAS	66
3.17	MULTIPROCESSADOR DE ALIMENTOS	67
3.18	NOTEBOOK	69
3.19	RÁDIO RELÓGIO	70
3.20	REFRIGERADOR	71
3.21	TELEVISÃO LCD	73
3.22	TELEVISÃO TRC	74
3.23	VENTILADOR	75
3.24	CONCLUSÃO	77
CAPÍTULO 4 - MEDIÇÕES EM CARGAS RESIDENCIAIS - MEDIÇÕES INSTANTÂNEAS DE FORMA DE ONDA.....		79
4.1	INTRODUÇÃO	79
4.2	RESIDÊNCIA 1 - CONSUMO BAIXO	79
4.3	RESIDÊNCIA 2 - CONSUMO MÉDIO	84
4.4	RESIDÊNCIA 3 - CONSUMO ALTO	88
4.5	CONCLUSÃO	93
CAPÍTULO 5 - MEDIÇÕES EM CARGAS RESIDENCIAIS - MEDIÇÕES AO LONGO DE 5 DIAS.....		94
5.1	INTRODUÇÃO	94
5.2	RESIDÊNCIA 4 - CONSUMO BAIXO	95
5.2.1	CONCLUSÃO	102
5.3	RESIDÊNCIA 5 - CONSUMO MÉDIO	103
5.3.1	CONCLUSÃO	110
5.4	RESIDÊNCIA 6 - CONSUMO ALTO	111
5.4.1	CONCLUSÃO	118
5.5	CONCLUSÃO	119
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO GERAL		121
6.1	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		124

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - GRÁFICO DE TENSÃO E CORRENTE PARA CARGA NÃO LINEAR.....	24
FIGURA 1.2 - DECOMPOSIÇÃO EM COMPONENTES HARMÔNICAS.....	25
FIGURA 1.3 - FILTRO PASSIVO EM SÉRIE.....	30
FIGURA 1.4 - FILTRO PASSIVO EM PARALELO.....	31
FIGURA 1.5 - FILTRO ATIVO PARALELO.....	31
FIGURA 1.6 - FILTRO ATIVO SÉRIE.....	32
FIGURA 2.1 - FLUKE 434-II.....	38
FIGURA 2.2 - TELA INICIA DO FLUKE 434-II.....	39
FIGURA 2.3 - CONEXÃO DO ANALISADOR FLUKE 434-II COM O SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO TRIFÁSICO.....	40
FIGURA 2.4 - TELA DE CONFIGURAÇÃO PARA MEDIÇÃO MONOFÁSICA.....	40
FIGURA 3.1 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DO APARELHO DE SOM TIPO MICRO SYSTEM.....	45
FIGURA 3.2 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DO CARREGADOR DO CELULAR.....	46
FIGURA 3.3 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DO CONDICIONADOR DE AR SPLIT TIPO INVERTER.....	48
FIGURA 3.4 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DO CONDICIONADOR DE AR SPLIT.....	49
FIGURA 3.5 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DO CHUVEIRO ELÉTRICO.....	51
FIGURA 3.6 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DA ESTEIRA COM MOTOR AC.....	52
FIGURA 3.7 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DA ESTEIRA COM MOTOR CC.....	54
FIGURA 3.8 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DO ESPREMEDOR DE LARANJA.....	56
FIGURA 3.9 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DO FERRO DE PASSAR ROUPAS.....	57
FIGURA 3.10 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DO FORNO DE MICRO-ONDAS.....	58
FIGURA 3.11 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DO GRILL ELÉTRICO.....	60
FIGURA 3.12 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DA LFC DO FABRICANTE 3.....	61

FIGURA 3.13 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DA LÂMPADA INCANDESCENTE.	63
FIGURA 3.14 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DO LIQUIDIFICADOR	65
FIGURA 3.15 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DA MAQUINA DE LAVAR ROUPAS	66
FIGURA 3.16 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DO MULTIPROCESSADOR DE ALIMENTOS.....	68
FIGURA 3.17 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DO NOTEBOOK	69
FIGURA 3.18 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DO RÁDIO RELÓGIO	70
FIGURA 3.19 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DA GELADEIRA	72
FIGURA 3.20 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DA TELEVISÃO LCD	73
FIGURA 3.21 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DA TELEVISÃO DE 14"	74
FIGURA 3.22 - CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE DO VENTILADOR.....	76
FIGURA 4.1 - FORMAS DE ONDA DE TENSÃO E CORRENTE ÀS 7H58MIN.....	81
FIGURA 4.2 - GRÁFICO DA THD DE TENSÃO E CORRENTE ÀS 7H58MIN	81
FIGURA 4.3 - GRÁFICO DA CORRENTE ÀS 7H58MIN.....	81
FIGURA 4.4 - FORMAS DE ONDA DE TENSÃO E CORRENTE ÀS 19H07MIN... ..	82
FIGURA 4.5 - GRÁFICO DA THD DE TENSÃO E CORRENTE ÀS 19H07MIN.	82
FIGURA 4.6 - GRÁFICO DA CORRENTE ÀS 19H07MIN.....	82
FIGURA 4.7 - FORMAS DE ONDA DE TENSÃO E CORRENTE ÀS 8H57MIN	85
FIGURA 4.8 - GRÁFICO DA THD DE TENSÃO E CORRENTE ÀS 8H57MIN	85
FIGURA 4.9 - GRÁFICO DA CORRENTE ÀS 8H57MIN.....	86
FIGURA 4.10 - FORMAS DE ONDA DE TENSÃO E CORRENTE ÀS 18H11MIN ..	86
FIGURA 4.11 - GRÁFICO DA THD DE TENSÃO E CORRENTE ÀS 18H11MIN.....	86
FIGURA 4.12 - GRÁFICO DA CORRENTE ÀS 18H11MIN.....	87
FIGURA 4.13 - FORMAS DE ONDA DE TENSÃO E CORRENTE ÀS 9H04MIN	90
FIGURA 4.14 - GRÁFICO DA THD DE TENSÃO E CORRENTE ÀS 9H04MIN.	90
FIGURA 4.15 - GRÁFICO DA CORRENTE ÀS 9H04MIN.....	90
FIGURA 4.16 - FORMAS DE ONDA DE TENSÃO E CORRENTE ÀS 18H09MIN ..	91
FIGURA 4.17 - GRÁFICO DA THD DE TENSÃO E CORRENTE ÀS 18H09MIN	91
FIGURA 4.18 - GRÁFICO DA CORRENTE ÀS 18H09MIN.....	91
FIGURA 5.1 - GRÁFICO DA MEDIÇÃO DE 5 DIAS DA POTÊNCIA ATIVA, REATIVA, APARENTE, PF, DPF DA RESIDÊNCIA 4	96
FIGURA 5.2 - GRÁFICO DA MEDIÇÃO DE 5 DIAS, %H1L1N(A)-THD-3 ^a H-5 ^a H-7 ^a H DA RESIDÊNCIA 4	96

FIGURA 5.3 - %H1 L1N(A) X HORAS - THD (A) - DIA 05.....	98
FIGURA 5.4 - %H1 L1N(A) X HORAS - 3ªH (A) - DIA 05.....	98
FIGURA 5.5 - %H1 L1N(A) X HORAS - THD (A) - DIA 06.....	98
FIGURA 5.6 - %H1 L1N(A) X HORAS - 3ªH (A) - DIA 06.....	98
FIGURA 5.7 - %H1 L1N(A) X HORAS - THD (A) - DIA 07.....	98
FIGURA 5.8 - %H1 L1N(A) X HORAS - 3ªH (A) - DIA 07.....	98
FIGURA 5.9 - %H1 L1N(A) X HORAS - THD (A) - DIA 08.....	98
FIGURA 5.10 - %H1 L1N(A) X HORAS - 3ªH (A) - DIA 08.....	98
FIGURA 5.11 - %H1 L1N(A) X HORAS - THD (A) - DIA 09.....	98
FIGURA 5.12 - %H1 L1N(A) X HORAS - 3ªH (A) - DIA 09.....	98
FIGURA 5.13 - %H1 L1N(A) X HORAS - 5ªH (A) - DIA 05.....	99
FIGURA 5.14 - %H1 L1N(A) X HORAS - 7ªH (A) - DIA 05.....	99
FIGURA 5.15 - %H1 L1N(A) X HORAS - 5ªH (A) - DIA 06.....	99
FIGURA 5.16 - %H1 L1N(A) X HORAS - 7ªH (A) - DIA 06.....	99
FIGURA 5.17 - %H1 L1N(A) X HORAS - 5ªH (A) - DIA 07.....	99
FIGURA 5.18 - %H1 L1N(A) X HORAS - 7ªH (A) - DIA 07.....	99
FIGURA 5.19 - %H1 L1N(A) X HORAS - 5ªH (A) - DIA 08.....	99
FIGURA 5.20 - %H1 L1N(A) X HORAS - 7ªH (A) - DIA 08.....	99
FIGURA 5.21 - %H1 L1N(A) X HORAS - 5ªH (A) - DIA 09.....	99
FIGURA 5.22 - %H1 L1N(A) X HORAS - 7ªH (A) - DIA 09.....	99
FIGURA 5.23 - %H1 L1N(A) X HORAS - 9ªH (A) - DIA 05.....	100
FIGURA 5.24 - %H1 L1N(A) X HORAS - 11ªH (A) - DIA 05.....	100
FIGURA 5.25 - %H1 L1N(A) X HORAS - 9ªH (A) - DIA 06.....	100
FIGURA 5.26 - %H1 L1N(A) X HORAS - 11ªH (A) - DIA 06.....	100
FIGURA 5.27 - %H1 L1N(A) X HORAS - 9ªH (A) - DIA 07.....	100
FIGURA 5.28 - %H1 L1N(A) X HORAS - 11ªH (A) - DIA 07.....	100
FIGURA 5.29 - %H1 L1N(A) X HORAS - 9ªH (A) - DIA 08.....	100
FIGURA 5.30 - %H1 L1N(A) X HORAS - 11ªH (A) - DIA 08.....	100
FIGURA 5.31 - %H1 L1N(A) X HORAS - 9ªH (A) - DIA 09.....	100
FIGURA 5.32 - %H1 L1N(A) X HORAS - 11ªH (A) - DIA 09.....	100
FIGURA 5.33 - %H1 L1N(A) X HORAS - 13ªH (A) - DIA 05.....	101
FIGURA 5.34 - %H1 L1N(A) X HORAS - 13ªH (A) - DIA 06.....	101
FIGURA 5.35 - %H1 L1N(A) X HORAS - 13ªH (A) - DIA 07.....	101
FIGURA 5.36 - %H1 L1N(A) X HORAS - 13ªH (A) - DIA 08.....	101

FIGURA 5.37 - %H1 L1N(A) X HORAS - 13 ^a H (A) - DIA 09.....	95
FIGURA 5.38 - GRÁFICO DA MEDIÇÃO DE 5 DIAS DA POTÊNCIA ATIVA, REATIVA, APARENTE, PF, DPF DA RESIDÊNCIA 5	104
FIGURA 5.39 - GRÁFICO DA MEDIÇÃO DE 5 DIAS, %H1L1N(A)-THD-3 ^a H-5 ^a H-7 ^a H DA RESIDÊNCIA 5	104
FIGURA 5.40 - %H1 L1N(A) X HORAS - THD (A) - DIA 19.....	106
FIGURA 5.41 - %H1 L1N(A) X HORAS - 3 ^a H (A) - DIA 19.....	106
FIGURA 5.42 - %H1 L1N(A) X HORAS - THD (A) - DIA 20.....	106
FIGURA 5.43 - %H1 L1N(A) X HORAS - 3 ^a H (A) - DIA 20.....	106
FIGURA 5.44 - %H1 L1N(A) X HORAS - THD (A) - DIA 21.....	106
FIGURA 5.45 - %H1 L1N(A) X HORAS - 3 ^a H (A) - DIA 21.....	106
FIGURA 5.46 - %H1 L1N(A) X HORAS - THD (A) - DIA 22.....	106
FIGURA 5.47 - %H1 L1N(A) X HORAS - 3 ^a H (A) - DIA 22.....	106
FIGURA 5.48 - %H1 L1N(A) X HORAS - THD (A) - DIA 23.....	106
FIGURA 5.49 - %H1 L1N(A) X HORAS - 3 ^a H (A) - DIA 23.....	106
FIGURA 5.50 - %H1 L1N(A) X HORAS - 5 ^a H (A) - DIA 19.....	107
FIGURA 5.51 - %H1 L1N(A) X HORAS - 7 ^a H (A) - DIA 19.....	107
FIGURA 5.52 - %H1 L1N(A) X HORAS - 5 ^a H (A) - DIA 20.....	107
FIGURA 5.53 - %H1 L1N(A) X HORAS - 7 ^a H (A) - DIA 20.....	107
FIGURA 5.54 - %H1 L1N(A) X HORAS - 5 ^a H (A) - DIA 21.....	107
FIGURA 5.55 - %H1 L1N(A) X HORAS - 7 ^a H (A) - DIA 21.....	107
FIGURA 5.56 - %H1 L1N(A) X HORAS - 5 ^a H (A) - DIA 22.....	107
FIGURA 5.57 - %H1 L1N(A) X HORAS - 7 ^a H (A) - DIA 22.....	107
FIGURA 5.58 - %H1 L1N(A) X HORAS - 5 ^a H (A) - DIA 23.....	107
FIGURA 5.59 - %H1 L1N(A) X HORAS - 7 ^a H (A) - DIA 23.....	107
FIGURA 5.60 - %H1 L1N(A) X HORAS - 9 ^a H (A) - DIA 19.....	108
FIGURA 5.61 - %H1 L1N(A) X HORAS - 11 ^a H (A) - DIA 19.....	108
FIGURA 5.62 - %H1 L1N(A) X HORAS - 9 ^a H (A) - DIA 20.....	108
FIGURA 5.63 - %H1 L1N(A) X HORAS - 11 ^a H (A) - DIA 20.....	108
FIGURA 5.64 - %H1 L1N(A) X HORAS - 9 ^a H (A) - DIA 21.....	108
FIGURA 5.65 - %H1 L1N(A) X HORAS - 11 ^a H (A) - DIA 21.....	108
FIGURA 5.66 - %H1 L1N(A) X HORAS - 9 ^a H (A) - DIA 22.....	108
FIGURA 5.67 - %H1 L1N(A) X HORAS - 11 ^a H (A) - DIA 22.....	108
FIGURA 5.68 - %H1 L1N(A) X HORAS - 9 ^a H (A) - DIA 23.....	108
FIGURA 5.69 - %H1 L1N(A) X HORAS - 11 ^a H (A) - DIA 23.....	108

FIGURA 5.70 - %H1 L1N(A) X HORAS - 13 ^a H (A) - DIA 19.....	109
FIGURA 5.71 - %H1 L1N(A) X HORAS - 13 ^a H (A) - DIA 20.....	109
FIGURA 5.72 - %H1 L1N(A) X HORAS - 13 ^a H (A) - DIA 21.....	109
FIGURA 5.73 - %H1 L1N(A) X HORAS - 13 ^a H (A) - DIA 22.....	109
FIGURA 5.74 - %H1 L1N(A) X HORAS - 13 ^a H (A) - DIA 23.....	109
FIGURA 5.75 - GRÁFICO DA MEDIÇÃO DE 5 DIAS DA POTÊNCIA ATIVA, REATIVA, APARENTE, PF, DPF DA RESIDÊNCIA 6	112
FIGURA 5.76 - GRÁFICO DA MEDIÇÃO DE 5 DIAS, %H1L1N(A)-THD-3 ^a H-5 ^a H- 7 ^a H DA RESIDÊNCIA 6	112
FIGURA 5.77 - %H1 L1N(A) X HORAS - THD (A) - DIA 12.....	114
FIGURA 5.78 - %H1 L1N(A) X HORAS - 3 ^a H (A) - DIA 12.....	114
FIGURA 5.79 - %H1 L1N(A) X HORAS - THD (A) - DIA 13.....	114
FIGURA 5.80 - %H1 L1N(A) X HORAS - 3 ^a H (A) - DIA 13.....	114
FIGURA 5.81 - %H1 L1N(A) X HORAS - THD (A) - DIA 14.....	114
FIGURA 5.82 - %H1 L1N(A) X HORAS - 3 ^a H (A) - DIA 14.....	114
FIGURA 5.83 - %H1 L1N(A) X HORAS - THD (A) - DIA 15.....	114
FIGURA 5.84 - %H1 L1N(A) X HORAS - 3 ^a H (A) - DIA 15.....	114
FIGURA 5.85 - %H1 L1N(A) X HORAS - THD (A) - DIA 16.....	114
FIGURA 5.86 - %H1 L1N(A) X HORAS - 3 ^a H (A) - DIA 16.....	114
FIGURA 5.87 - %H1 L1N(A) X HORAS - 5 ^a H (A) - DIA 12.....	115
FIGURA 5.88 - %H1 L1N(A) X HORAS - 7 ^a H (A) - DIA 12.....	115
FIGURA 5.89 - %H1 L1N(A) X HORAS - 5 ^a H (A) - DIA 13.....	115
FIGURA 5.90 - %H1 L1N(A) X HORAS - 7 ^a H (A) - DIA 13.....	115
FIGURA 5.91 - %H1 L1N(A) X HORAS - 5 ^a H (A) - DIA 14.....	115
FIGURA 5.92 - %H1 L1N(A) X HORAS - 7 ^a H (A) - DIA 14.....	115
FIGURA 5.93 - %H1 L1N(A) X HORAS - 5 ^a H (A) - DIA 15.....	115
FIGURA 5.94 - %H1 L1N(A) X HORAS - 7 ^a H (A) - DIA 15.....	115
FIGURA 5.95 - %H1 L1N(A) X HORAS - 5 ^a H (A) - DIA 16.....	115
FIGURA 5.96 - %H1 L1N(A) X HORAS - 7 ^a H (A) - DIA 16.....	115
FIGURA 5.97 - %H1 L1N(A) X HORAS - 9 ^a H (A) - DIA 12.....	116
FIGURA 5.98 - %H1 L1N(A) X HORAS - 11 ^a H (A) - DIA 12.....	116
FIGURA 5.99 - %H1 L1N(A) X HORAS - 9 ^a H (A) - DIA 13.....	116
FIGURA 5.100 - %H1 L1N(A) X HORAS - 11 ^a H (A) - DIA 13.....	116
FIGURA 5.101 - %H1 L1N(A) X HORAS - 9 ^a H (A) - DIA 14.....	116
FIGURA 5.102 - %H1 L1N(A) X HORAS - 11 ^a H (A) - DIA 14.....	116

FIGURA 5.103 - %H1 L1N(A) X HORAS - 9 ^a H (A) - DIA 15.....	116
FIGURA 5.104 - %H1 L1N(A) X HORAS - 11 ^a H (A) - DIA 15.....	116
FIGURA 5.105 - %H1 L1N(A) X HORAS - 9 ^a H (A) - DIA 16.....	116
FIGURA 5.106 - %H1 L1N(A) X HORAS - 11 ^a H (A) - DIA 16.....	116
FIGURA 5.107 - %H1 L1N(A) X HORAS - 13 ^a H (A) - DIA 12.....	117
FIGURA 5.108 - %H1 L1N(A) X HORAS - 13 ^a H (A) - DIA 13.....	117
FIGURA 5.109 - %H1 L1N(A) X HORAS - 13 ^a H (A) - DIA 14.....	117
FIGURA 5.110 - %H1 L1N(A) X HORAS - 13 ^a H (A) - DIA 15.....	117
FIGURA 5.111 - %H1 L1N(A) X HORAS - 13 ^a H (A) - DIA 26.....	117

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1 - VALORES DE REFERÊNCIA PARA DHT DE TENSÃO	27
TABELA 1.2 - LIMITES DE DISTORÇÃO HARMÔNICA DA CORRENTE PARA SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO (IEEE-519).....	28
TABELA 1.3 - LIMITES PARA EMISSÃO DE HARMÔNICOS DE CORRENTE (IEC 61000-3-2).....	29
TABELA 1.4 - LIMITES DE CORRENTES HARMÔNICAS PARA EQUIPAMENTOS COM CORRENTES ENTRE 16 A E 75 A (IEC 61000-3-4)	29
TABELA 2.1 - CONFIGURAÇÃO PADRÃO DE FÁBRICA DO ANALISADOR FLUKE 434-II	39
TABELA 3.1 - CONTEÚDO HARMÔNICO DO APARELHO DE SOM TIPO MICRO SYSTEM.....	45
TABELA 3.2 - CONTEÚDO HARMÔNICO DO CARREGADOR DE CELULAR.....	47
TABELA 3.3 - CONTEÚDO HARMÔNICO DO CONDICIONADOR DE AR SPLIT TIPO INVERTER.....	48
TABELA 3.4 - CONTEÚDO HARMÔNICO DO CONDICIONADOR DE AR SPLIT	50
TABELA 3.5 - CONTEÚDO HARMÔNICO DO CHUVEIRO ELÉTRICO.....	51
TABELA 3.6 - CONTEÚDO HARMÔNICO DA ESTEIRA ELÉTRICA COM MOTOR AC.....	53
TABELA 3.7 - CONTEÚDO HARMÔNICO DA ESTEIRA ELÉTRICA COM MOTOR CC.....	54
TABELA 3.8 - CONTEÚDO HARMÔNICO DO ESPREMEDOR DE LARANJA	56
TABELA 3.9 - CONTEÚDO HARMÔNICO DO FERRO DE PASSAR ROUPAS	57
TABELA 3.10 - CONTEÚDO HARMÔNICO DO FORNO DE MICRO-ONDAS.....	58
TABELA 3.11 - CONTEÚDO HARMÔNICO DO GRILL ELÉTRICO.....	60
TABELA 3.12 - CONTEÚDO DOS THD% DE TENSÃO E CORRENTE DA LCF DOS 3 FABRICANTES.....	62
TABELA 3.13 - CONTEÚDO HARMÔNICO DA LFC DO FABRICANTE 3	62
TABELA 3.14 - CONTEÚDO HARMÔNICO DA LÂMPADA INCANDESCENTE	64
TABELA 3.15 - CONTEÚDO HARMÔNICO DO LIQUIDIFICADOR	65
TABELA 3.16 - CONTEÚDO HARMÔNICO DA MÁQUINA DE LAVAR ROUPAS	66
TABELA 3.17 - CONTEÚDO HARMÔNICO DO MULTIPROCESSADOR DE ALIMENTOS	68
TABELA 3.18 - CONTEÚDO HARMÔNICO DO NOTEBOOK.....	69
TABELA 3.19 - CONTEÚDO HARMÔNICO DO RÁDIO RELÓGIO.....	71

TABELA 3.20 - CONTEÚDO HARMÔNICO DA GELADEIRA.....	72
TABELA 3.21 - CONTEÚDO HARMÔNICO DA TELEVISÃO LCD	73
TABELA 3.22 - CONTEÚDO HARMÔNICO DA TELEVISÃO DE 14”	74
TABELA 3.23 - CONTEÚDO HARMÔNICO DO VENTILADOR	76
TABELA 4.1 - VALORES DAS HARMÔNICAS DE CORRENTE ÀS 7H58MIN E ÀS 19H07MIN	83
TABELA 4.2 - VALORES DAS HARMÔNICAS DE CORRENTE ÀS 8H57MIN E ÀS 18H11MIN	87
TABELA 4.3 - VALORES DAS HARMÔNICAS DE CORRENTE ÀS 9H04MIN E ÀS 18H09MIN	92

GLOSSÁRIO

ANEEL	-	Agência Nacional de Energia Elétrica
a.c.	-	Corrente Alternada
c.c.	-	Corrente Contínua
CNL	-	Cargas Não Lineares
DIT	-	Distorção Harmônica Individual de Tensão
IEEE	-	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
PROCEL	-	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
Prodist	-	Procedimento de Distribuição
QEE	-	Qualidade de Energia Elétrica
THD	-	<i>Total Harmonic Distortion</i>
UPS	-	<i>Uninterruptable Power Supplies</i>

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

Tradicionalmente, a qualidade de energia elétrica (QEE) sempre esteve relacionada à garantia no fornecimento deste importante recurso, onde a preocupação maior eram as faltas, regulação de tensão e frequência. Considerando que nas décadas passadas a obtenção destes controles já era considerada satisfatória em nível de QEE, pois as cargas daquele período eram em sua maioria lineares, mas, com o crescente número de dispositivos eletrônicos não lineares componentes dos eletrodomésticos entre outros têm gerado ou intensificado diversos outros fatores associados à QEE (harmônicos entre outros) e isto tem levado a novas abordagens dos sistemas elétricos e novas regulamentações que foram implantadas no Brasil como forma de controlar estes fatores.

A qualidade de energia elétrica pode ser conceituada como o fornecimento de energia e aterramento adequados visando à operação correta de um equipamento (IEEE, 1995). Já em (BOLLEN, 2003), a qualidade de energia é dividida em cinco conceitos:

a) Qualidade de tensão: focada nos desvios de tensão de um padrão ideal. Este padrão ideal seria uma onda de tensão senoidal com amplitude e frequência constantes.

b) Qualidade de corrente: termo complementar à qualidade de tensão; focada nos desvios de corrente de um padrão ideal. Este padrão ideal, conforme a tensão, seria uma onda de corrente senoidal com amplitude e frequência constantes.

c) Qualidade de potência: combinação entre a qualidade de tensão e a qualidade de corrente.

d) Qualidade de fornecimento: combinação da qualidade de tensão com aspectos não técnicos de interação (atendimento, satisfação do cliente, etc.) entre a rede de fornecimento elétrico e seus consumidores.

e) Qualidade de consumo: termo complementar da qualidade de fornecimento, enfocando nas responsabilidades do consumidor quanto à correta utilização da energia elétrica.

Em (GAMA; OLIVEIRA, 1999), “a qualidade de energia elétrica pode ser definida como a ausência relativa de variações de tensão provocadas pelo sistema da concessionária, particularmente a ausência de desligamentos, de flutuações de tensão, de surtos e harmônicos (este último pelo lado do cliente), medidos no ponto de entrega de energia (fronteira entre as instalações da concessionária sob o ponto de vista do consumidor)”.

Os prejuízos econômicos resultantes deste e de outros problemas associados aos sistemas elétricos são muito elevados, e por isso a questão da Qualidade da Energia Elétrica entregue aos consumidores finais é hoje objeto de grande preocupação (MARTINS et al., 2003).

A diminuição da qualidade da energia elétrica se dá de varias maneiras, as mais relevantes categorias desta degradação são as harmônicas. A nível de tensão temos as flutuações, a tensão desequilibrada, as oscilações de frequência e tensão de longa duração.

Os distúrbios eletromagnéticos conhecidos como harmônicas, ao contrário da maioria dos distúrbios referenciados, é de natureza constante e não temporário, como afundamentos e elevações, ou mesmo transitórios. Portanto, sendo um fenômeno permanente merece um destaque maior no tratamento e por isso os cuidados devem passar por soluções mais críticas (MARTINHO, 2012).

A QEE tornou-se uma questão importante na operação do sistema elétrico nas últimas décadas, além disso, adquiriu recentemente um maior interesse devido ao aumento de uso das tecnologias como a eletrônica de potência, controladores baseados em microprocessadores e outros dispositivos não lineares. Consequentemente, muitos tipos de distúrbios em regime permanente como harmônicas, são introduzidas nos sistemas elétricos (GALLEGO et al., 2005). No Brasil, a implantação de novas regras de concessão de serviço de energia elétrica implicou numa reformulação no fornecimento de energia, e por consequência, uma maior regulação para adequar a qualidade deste serviço.

Por outro lado, alguns distúrbios na rede elétrica são problemas presentes e muitas vezes inevitáveis, nos quais se tem a preocupação sobre a interferência que

esses podem causar na qualidade de energia dos sistemas caso não sejam corretamente supridos, implicando assim em aumentos de gastos em manutenção e contribuindo na diminuição da sua confiabilidade, pois se deseja uma regulação dos níveis de tensão e frequência bem como a continuidade dos serviços, evitando as conhecidas interrupções no fornecimento.

1.1.CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS RELACIONADOS À QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

O termo qualidade da energia elétrica é extremamente amplo e está relacionado a diversos fatores do sistema elétrico dentre eles: a forma de onda da tensão entregue pela concessionária às cargas; a forma de onda da corrente absorvida pelas cargas; à continuidade do fornecimento; à presença de eventos transitórios.

O tema QEE é muito estudado atualmente no Brasil (MATANA, 2008), pois são levadas em consideração as responsabilidades de cada agente em relação à qualidade de energia fornecida ou consumida. Este tema não é novo no Brasil, já consta no Código de Águas. No Decreto nº 24.643, de 10 de Julho de 1934 foi feita a primeira citação sobre QEE, informando que o suprimento de energia deveria ser entregue de forma adequada.

A qualidade de energia elétrica é também conceituada (DUGAN et al., 2003) como sendo qualquer problema presente na tensão, corrente ou frequência que resultará em falha ou operação inadequada em equipamento de consumidores.

Na grande maioria dos problemas de Qualidade de Energia Elétrica a interrupção do fornecimento é o efeito mais danoso de todos, pois afeta todos os equipamentos ligados na rede elétrica, à exceção daqueles que sejam alimentados por UPS's (Uninterruptable Power Supplies – Sistemas de Alimentação Ininterrupta) ou por geradores de emergência. Algumas definições destes eventos são referenciados em MARQUES et al., 2009; GALLEG0 et al., 2005; MARTINS et al., 2003; AFONSO, MARTINS, 2003, por:

- Distorção harmônica: quando existem cargas não lineares ligadas à rede elétrica a corrente que circula nas linhas contém harmônicas e as quedas de tensão provocadas pelas harmônicas nas impedâncias das linhas faz com que as tensões de alimentação fiquem também distorcidas.
- Ruído: corresponde ao ruído eletromagnético presente nas altas frequências, que pode ser produzido pelas comutações rápidas.
- Inter-harmônicas: surgem quando há componentes de corrente que não estão relacionadas com a componente fundamental (60 Hz), que podem ser produzidas por fornos a arco ou por cicloconvertidores.
- Interrupção momentânea: ocorre em algumas situações quando o sistema elétrico dispõe de disjuntores com religadores, que abrem na ocorrência de um curto-circuito, fechando-se automaticamente após alguns milissegundos.
- Interrupção prolongada: tem um período maior de duração, é a falta no fornecimento de energia elétrica, é caracterizada pela ausência total, que pode durar minutos ou até horas.
- Subtensão momentânea (voltage sag): é provocada, por exemplo, por um curto-circuito momentâneo num outro alimentador do mesmo sistema elétrico, que é eliminado após alguns milissegundos pela abertura do disjuntor do ramal em curto.
- Sobretensão momentânea (voltage swell): é provocada, entre outros casos, por situações de defeito ou operações de comutação de equipamentos ligados à rede elétrica.
- Flutuação da tensão (flicker): acontece devido a variações intermitentes de certas cargas, causando flutuações nas tensões de alimentação.
- Microcortes de tensão (notches): ocorrem de curto-circuitos momentâneos, que acontecem durante os intervalos de comutação dos semicondutores de potência nos retificadores.
- Transitórios: são o resultado de fenômenos transitórios, tais como a comutação de bancos de condensadores ou descargas atmosféricas.

De acordo com (RIBEIRO, 2005), na ótica do consumidor, talvez seja mais simples e adequado utilizar simplesmente a palavra distúrbios para englobar todos os fenômenos que afetam a qualidade da energia elétrica. Estes distúrbios podem ter origem na energia elétrica entregue pela concessionária de energia, ou na rede interna de distribuição (incluindo os equipamentos ali instalados) do próprio consumidor.

O termo qualidade de energia está associado a diversos aspectos no que concerne o sistema elétrico, não havendo uma definição padronizada para explicá-lo, pois sua composição é formada dentre outros pela disponibilidade, a qualidade da instalação elétrica, o tipo de equipamento utilizado, as condições do aterramento, e as interferências eletromagnéticas, que são dentre tantos outros, fatores que influenciam na qualidade de energia.

Uma definição aceita por vários autores é que a Qualidade da energia elétrica é basicamente a disponibilidade de energia elétrica com forma de onda senoidal pura, sem sofrer alterações na amplitude, ou seja, a forma de onda sem qualquer tipo de perturbação.

Outra questão também bastante levantada é que em muitos casos, grande parte dos problemas, referente à qualidade de energia elétrica, é decorrente da forma como os usuários a utilizam.

A modernização da economia no Brasil tem impulsionado, de forma crescente, o uso da eletricidade, proporcionando mobilidade, iluminação nos lares e em vias públicas, lazer, aumento na produção industrial e incremento na oferta de serviços, mas por outro lado tem ocasionado uma queda na qualidade da energia elétrica.

O crescimento tecnológico fez com que houvesse o surgimento de cargas controladas eletronicamente, que aos poucos foram substituindo as que possuíam características resistivas e reativas. Os equipamentos elétricos denominados não lineares distorcem a forma de onda de tensão e corrente.

Os equipamentos eletrônicos de uma maneira geral, não são compostos só de resistências ôhmicas, indutâncias e capacitâncias, sendo normalmente fabricados também com semicondutores, como os diodos e transistores, constituindo cargas não lineares.

Ao contrário das cargas lineares, as formas de onda das correntes dos semicondutores são bastante diferentes da tensão aplicada, tendo como consequência a deformação do sinal senoidal entregue a carga, vindo a ocasionar distúrbios. Uma curiosidade é que as mesmas cargas eletrônicas que causam a distorção do sinal na rede elétrica tem seu funcionamento prejudicado com a baixa qualidade da energia.

Os equipamentos eletrônicos modernos possuem sensibilidade aos fenômenos associados à Qualidade de Energia Elétrica, o que leva preocupação tanto aos consumidores residenciais, comerciais e industriais como as concessionárias de energia elétrica.

A vida útil dos equipamentos elétricos sofre influência direta da Qualidade de Energia Elétrica (QEE), em decorrência da forma de onda de tensão das instalações elétricas.

1.2 DISTORÇÃO HARMÔNICA

A presença de distúrbios pode ocorrer tanto em plantas industriais como residenciais. Assim, em regime normal de funcionamento, os sistemas elétricos estão sujeitos às condições inadequadas quando em operação, e neste caso teremos um distúrbio indesejável, remetendo a um possível estudo do fenômeno do ponto de vista da identificação, do estabelecimento de limites, para uma regulamentação, e da sua mitigação. Além disso, nos equipamentos eletrônicos atuais, como retificadores, inversores, etc., os dispositivos são representados por cargas não lineares, de maneira que o fator negativo das configurações serão observados na distorção harmônica.

Assim, a principal causa deste fenômeno é a crescente popularidade dos equipamentos eletrônicos alimentados pela rede elétrica, tais como computadores, aparelhos de televisão, reatores eletrônicos para lâmpadas de descarga, acionamentos para uma enorme variedade de cargas industriais, etc (ARRILLAGA, 1997).

A ocorrência de distorções harmônicas ocasionadas por cargas não lineares (CNL) são caracterizadas pela relação inconstante entre tensão e corrente, como

também de uma impedância que varia com a tensão, acarretando que a corrente torne-se não senoidal, apesar de ser periódica e de mesma frequência da tensão, como pode ser observado na Figura 1.1.

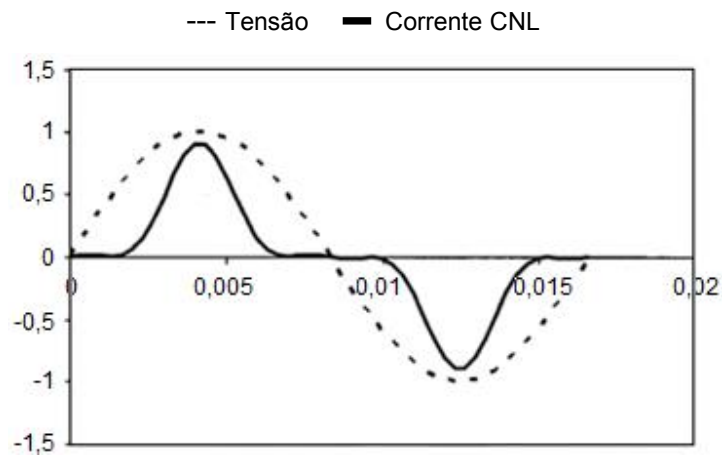


Figura 1.1. Gráfico de tensão e corrente para carga não linear (KAGAN; ROBBA; SCHIMIDT, 2010)

Através da Análise de Fourier, uma onda periódica de frequência fundamental f , pode ser decomposta em uma soma infinita de componentes senoidais, também conhecidas como componentes harmônicas, cada qual com uma frequência múltipla de f . A corrente não senoidal apresentada na Figura 1.1 pode ser expressa de acordo com a equação 1.1:

$$i(t) = I_{\max 1} \cos(\omega t + \theta_1) + I_{\max 3} \cos(3\omega t + \theta_3) + I_{\max 5} \cos(5\omega t + \theta_5) + \dots \quad (1.1)$$

$$= \Re [I_{\max 1} e^{j\theta_1} e^{j\omega t} + I_{\max 3} e^{j\theta_3} e^{j3\omega t} + I_{\max 5} e^{j\theta_5} e^{j5\omega t} + \dots]$$

onde:

$I_{\max h}$: amplitude (A) da componente harmônica de ordem h ($h=1,3,5,\dots$);

θ_h : ângulo inicial da componente harmônica h , em rad;

$\omega = 2\pi f$: frequência angular correspondente à frequência fundamental f , em rad/s.

Na equação 1.1, está presente apenas as componentes harmônicas de ordem ímpar. Pode-se demonstrar que as componentes de ordem par apresentam

amplitude igual a zero quando a grandeza original é simétrica em relação ao eixo das abscissas (KAGAN; ROBBA; SCHIMIDT, 2010).

Na Figura 1.2 está apresentada a decomposição da corrente da Figura 1.1 nas suas componentes harmônicas de primeira, terceira e quinta ordem.

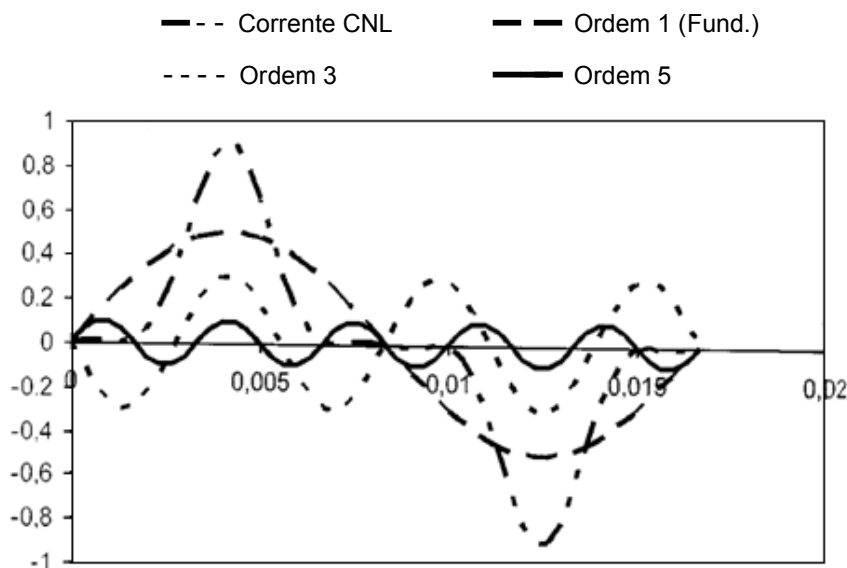


Figura 1.2 – Decomposição em componentes harmônicas (KAGAN; ROBBA; SCHIMIDT, 2010)

Na equação 1.1 tem-se o Princípio da Superposição de Efeitos. Nele, supondo a linearidade da rede, a rede elétrica é analisada separadamente em cada frequência do espectro harmônico e a composição de todas as respostas harmônicas é feita para chegar ao resultado da expressão temporal de qualquer corrente ou tensão na rede.

1.2.1 INDICADORES DE DISTORÇÃO HARMÔNICA

Na prática, nos estudos de distorção harmônica, normalmente torna-se de maior interesse determinar o valor eficaz das grandezas periódicas não senoidais ao invés dos seus valores temporais. Os valores eficazes são muito usados, por exemplo, na verificação de suportabilidade dos componentes da rede.

A ANEEL, através do PRODIST (Procedimentos de Distribuição, ano 2013), já estabeleceu para o mercado brasileiro os indicadores de distorção harmônica, como também seus valores de referência que serão utilizados no estabelecimento de limites legais para os mesmos no futuro.

A equação 1.2 representa a expressão para o cálculo do valor eficaz (V_{ef}) de uma grandeza periódica $v(t)$ não senoidal da qual suas componentes harmônicas são conhecidas.

$$V_{ef} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} V_h^2} \quad (1.2)$$

onde:

V_h : valor eficaz da componente harmônica de ordem h ;

h_{max} : máxima ordem harmônica considerada.

Se a grandeza $v(t)$ representar uma tensão, o valor V_h é também chamado de tensão harmônica de ordem h (PRODIST, 2013).

Excetuando-se a frequência fundamental, em cada frequência do espectro harmônico a Distorção harmônica individual de tensão de ordem h (DIT_h) é definida como apresentado na equação 1.3, onde tem-se a relação percentual entre a tensão harmônica de ordem h e a tensão fundamental.

$$DIT_h \% = \frac{V_h}{V_1} \cdot 100 \quad (1.3)$$

Pode-se definir também a Distorção harmônica total de tensão (THD) como mostrado na equação 1.4. A THD é definida como a relação percentual entre o valor eficaz da tensão (considerados todas as componentes harmônicas com exceção da fundamental) e o valor eficaz da fundamental.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} V_h^2}}{V_1} \cdot 100 \quad (1.4)$$

A partir da definição da THD conclui-se que seu valor é nulo quando não existir ocorrência de distorção harmônica.

A ANEEL estabelece valores de referência para a distorção harmônica total de tensão em função da tensão nominal do sistema elétrico. Tais valores podem ser vistos na Tabela 1.1. Semelhantemente, a ANEEL também estipula valores de referência para a distorção harmônica individual de tensão (PRODIST, 2013).

Tabela 1.1 – Valores de referencia para distorção harmônica total de tensão (ANEEL - Prodíst Módulo 8).

Tensão nominal V_N (kV)	$THD(\%)$
$V_N \leq 1$	10
$1 < V_N \leq 13,8$	8
$13,8 < V_N \leq 69$	6
$69 < V_N < 230$	3

Segundo os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no Módulo 8 (Revisão 5/2013), que trata da Qualidade da Energia Elétrica, as distorções harmônicas são fenômenos associados com deformações nas formas de onda das tensões e correntes, no qual apresenta os valores de referência para as distorções harmônicas totais de tensão que devem ser inferiores a 10% (THD) quando a tensão de barramento for igual ou inferior a 1 kV.

A IEEE-519 é uma recomendação que trata dos limites de distorção harmônicas no ponto de conexão comum, dos sistemas de energia elétrica. Estes limites dependem do nível de tensão e curto-circuito no ponto de conexão. Estabelece-se uma relação entre corrente de curto circuito I_{cc} e corrente de carga I_o .

Tabela 1.2 – Limites de distorção harmônica da corrente para sistemas de distribuição (IEEE-519).

Máxima corrente harmônica em % da corrente de carga							
Níveis de tensão	I _{cc} /I _o	< 11	11 ≤ n < 17	17 ≤ n < 23	23 ≤ n < 35	35 < n	TDD (%)
120V a 69kV	< 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
69001V a 161kV	< 20	2	1	0,75	0,3	0,15	2,5
	20 < 50	3,5	1,75	1,25	0,5	0,25	4
	50 < 100	5	2,25	2	0,75	0,35	6
	100 < 1000	6	2,75	2,5	1	0,5	7,5
	> 1000	7,5	3,5	3	1,25	0,7	10
> 161kV	< 50	2	1	0,75	0,3	0,15	2,5
	≥ 50	3	1,5	1,15	0,45	0,22	3,75

A tabela 1.2 refere-se as harmônicas ímpares. Com relação as harmônicas pares, a limitação imposta pela recomendação IEEE-519 é no valor de 25%.

A norma IEC 61000-3-2 é referente aos limites de harmônicas de corrente emitidos por equipamentos eletroeletrônicos com entrada de corrente menor que 16 ampères por fase. Nesta norma os equipamentos são divididos por Classe:

Classe A: Equipamentos com alimentação trifásica equilibrada e os que não se enquadram nas demais classes.

Classe B: Equipamentos elétricos e eletrônicos portáteis.

Classe C: Equipamentos elétricos e eletrônicos para iluminação.

Classe D: Monitores e computadores com uma potência ativa de entrada igual ou inferior a 600 watts.

Na tabela 1.3, estão indicados os valores máximos para os harmônicos de corrente por fase.

Tabela 1.3 – Limites para emissão de harmônicos de corrente (IEC 61000-3-2).

Componente harmônico	Classe A (A)	Classe B (A)	Classe C % da fundamental	Classe D mA/W
Harmônicas ímpares				
3	2,3	3,45	30% FP	3,4
5	1,14	1,71	10	1,9
7	0,77	1,155	7	1
9	0,40	0,60	5	0,5
11	0,33	0,495	3	0,35
13	0,21	0,315	3	0,296
$15 \leq n \leq 39$	$0,15 \times 15/n$	$0,225 \times 15/n$	3	$3,85/n$
Harmônicas pares				
2	1,08	1,62	2	-
4	0,43	0,645	-	-
6	0,30	0,45	-	-
$8 \leq n \leq 40$	$0,23 \times 8/n$	$0,35 \times 8/n$	-	-

Para equipamentos com correntes entre 16 A e 75 A por fase, a norma IEC 61000-3-4 fixa os limites de correntes harmônicas para estes equipamentos. Na tabela 1.4 , estão indicados os valores máximos para os harmônicos de corrente.

Tabela 1.4 – Limites de correntes harmônicas para equipamentos com correntes entre 16 A e 75 A (IEC 61000-3-4).

Componente harmônico	Harmônico admissível (%)	Componente harmônico	Harmônico admissível (%)	Componente harmônico	Harmônico admissível (%)
3	21,6	15	0,7	27	$\leq 0,6$
5	10,7	17	1,2	29	0,7
7	7,2	19	1,1	31	0,7
9	3,8	21	$\leq 0,6$	33	$\leq 0,6$
11	3,1	23	0,9	-	-
13	2	25	0,8	-	-

Existem diversas abordagens para atenuar problemas na energia ocasionados pelos distúrbios presentes na rede. Uma maneira seria realizar maiores investimentos nos projetos de sistemas de energia a fim de reduzir o número e o tempo de compensação das falhas ou para instalar caminhos redundantes para alimentar cargas críticas (AVENDAO; MILANOVIC, 2012). No caso das soluções para as harmônicas, algumas permitem que a rede possua harmônicas circulantes, minimizando os efeitos nos circuitos, outras podem reduzir sua circulação, aliviando o circuito como um todo, e nesse sentido alguns mecanismos atenuantes são:

1. Filtros;
2. Separação de Circuitos;
3. Transformadores de Separação;
4. Transformadores com desclassificação pelo fator K;
5. Redimensionamento da Rede.

Com relação aos filtros de harmônica, eles podem ser passivos e ativos e a finalidade de sua utilização é a eliminação da distorção harmônica produzida por máquinas e equipamentos geradoras deste distúrbio.

Os componentes que são usados nos filtros passivos de harmônicos são: resistores, capacitores e indutores, formando um circuito específico para redirecionar as correntes harmônicas para o terra.

O filtro passivo é dimensionado especificamente para uma frequência ou faixa de frequência para atenuar ou eliminar um nível harmônico predeterminado.

Nas figuras 1.3 e 1.4 são mostrados exemplos de filtros passivos em série e em paralelo com a carga(CAPELLI, 2013).

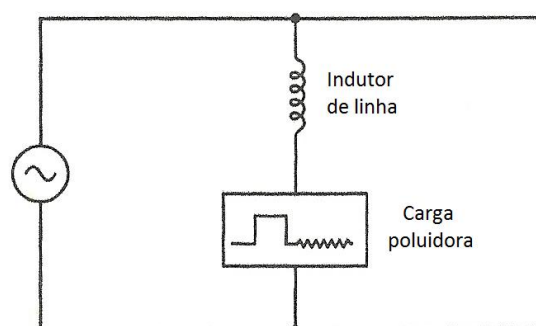


Figura 1.3 – Filtro passivo em série

No filtro apresentado na figura 1.3, é demonstrado um modelo simples de filtro de harmônicas com a utilização de um indutor em série.

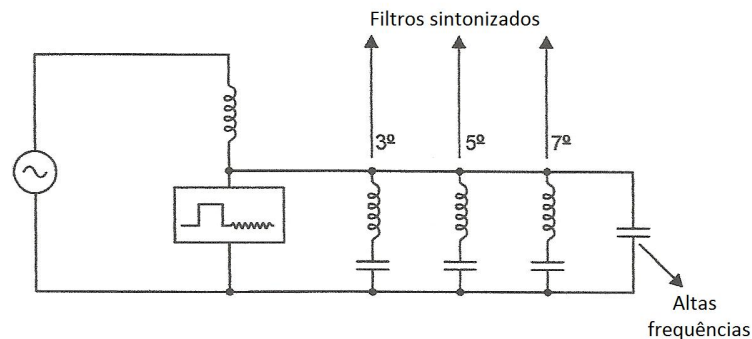


Figura 1.4 – Filtro passivo em paralelo.

O filtro passivo é formado por um conjunto de RLC, e é totalmente dependente das características da corrente, tensão, frequência e impedância da rede, exigindo um estudo muito detalhado para sua aplicação.

A classificação dos filtros ativos pode ser pelo nível de potência, técnicas de controle ou sistema elétrico (trifásico ou monofásico, 3 ou 4 fios). Dentro deste último critério e os mais comuns aplicados no mercado os filtros podem se dividir em paralelos, série e híbridos (GYUGYI et al., 1976).

Ele pode ser ligado em paralelo, figura 1.5 ou em série à carga, figura 1.6 (CAPELLI, 2013).

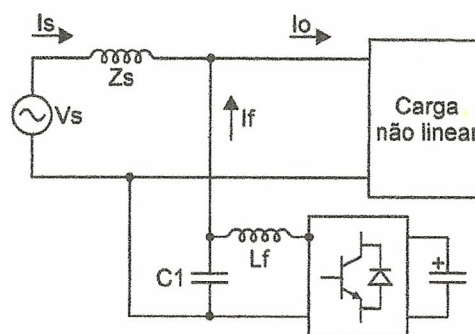


Figura 1.5. Filtro ativo paralelo.

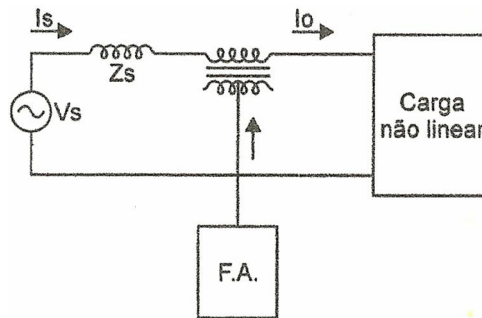


Figura 1.6. Filtro ativo série.

O sistema mais utilizado no Brasil é o considerado paralelo na classificação pelo sistema elétrico. Diferente dos sistemas passivos, os filtros ativos são independentes dos parâmetros de rede, exceto pela tensão, pois vão alimentar os circuitos de controle. O filtro ativo é um sistema totalmente dinâmico que acompanha a variação do sistema. Por ser um sistema praticamente on-line, qualquer alteração da característica da rede é avaliada momentos antes de gerar a forma de onda a ser injetada na rede para correção(MARTINHO, 2012).

Em (GAMA; OLIVEIRA, 1999) há uma análise das medidas adotadas pelo PROCEL na gerência pelo lado da demanda e atuação no uso final e seu impacto na distorção harmônica. Destacam quatro itens:

- 1) Controladores de velocidade variável: com possibilidade de economia de energia e gerência do controle dos fluxos de potência, apresenta, em alguns casos, harmônicos bastantes significativos.
- 2) Lâmpadas fluorescentes compactas: a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas, visando economia, injeta níveis substanciais de harmônicos nos sistema de distribuição secundária além de contribuir para a diminuição do fator de potência.
- 3) Instalação de bancos de capacitores: visando a melhoria do fator de potência, uma instalação mal executada sem uma análise crítica acerca dos harmônicos circulantes no sistema, provoca problemas de qualidade de energia, como amplificação do conteúdo harmônico, estabelecimento de

condições de ressonância harmônica e queima prematura dos bancos de capacitores.

4) Controladores de intensidade luminosa: visando também economia, este dispositivo piora o fator de potência e aumenta a injeção de harmônicos no sistema elétrico.

Além desses estudos, outros realizaram uma análise entre a qualidade de energia elétrica e a conservação de energia elétrica. Em (ASTORGA et al., 2001), mostra-se um estudo acerca da substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas (LFC's) em ambientes residenciais. Como conclusão, os autores perceberam que há um ganho em conservação de energia e uma perda na qualidade de energia elétrica, sobretudo na corrente circulante na instalação e um aumento na corrente pelo neutro, principalmente de 3º harmônico.

Em (FUJIWARA et al., 1998) é apresentado um estudo parecido com o anterior, focando na interferência causada pelo uso de LFC's em residências. Constatou-se também um ganho na demanda ativa da residência, porém um aumento da potência reativa, diminuindo o fator de potência. A corrente circulante na instalação elétrica também ficou mais distorcida.

Em (DATTA, 1991) foi feita uma análise da poluição na rede elétrica causada por sistemas de controle de iluminação, os dimmer's. Em lâmpadas incandescentes, fluorescentes com reatores eletromagnéticos e eletrônicos, duas variáveis foram estudadas para efeitos de comparação: fator de potência e 3º harmônico na corrente. Variando a potência de iluminação, o fator de potência diminui com a diminuição da potência para as lâmpadas incandescentes e fluorescentes com reator eletromagnético. Para a lâmpada fluorescente com reator eletrônico, o fator de potência se manteve constante. Em relação ao 3º harmônico da corrente, o percentual deste em relação à fundamental aumentava com a diminuição da potência de iluminação, também para as lâmpadas incandescente e fluorescente com reator eletromagnético. Mais uma vez, para a lâmpada fluorescente com reator eletrônico, o percentual de 3º harmônico em relação à fundamental se manteve constante com a diminuição da potência de iluminação.

Também foram realizados ensaios em reatores eletrônicos de lâmpadas fluorescentes comparando com reatores eletromagnéticos (LUZ; FELBERBAUM,

1999). O reator eletrônico, apesar de ser vantajoso no aspecto da conservação de energia, gera mais harmônicos de corrente, tendo uma forma de onda bastante distorcida se comparado com o reator eletromagnético. O principal problema na utilização dos reatores eletrônicos é o aumento da corrente de neutro em sistemas trifásicos, comumente percebido em prédios comerciais que utilizem lâmpadas fluorescentes com reator eletrônico na base de sua iluminação.

Em (TOSTES et al, 2002) apresenta-se medições de correntes de lâmpadas de descarga utilizadas em iluminação pública, mostrando a corrente e seus harmônicos para lâmpadas de vapor de mercúrio, vapor de sódio e metálico. Das lâmpadas analisadas, as que apresentavam maior distorção harmônica de corrente foram as lâmpadas de vapor de sódio com uma média de 35% de distorção harmônica de corrente, sendo 20% e 25% para as lâmpadas de vapor de mercúrio e vapor metálico, respectivamente.

Alguns impactos dos programas de eficiência energética na qualidade de energia elétrica no Brasil foram investigados (PENNA et al, 2001). Primeiramente, dois consumidores residenciais onde, em suas casas a iluminação era preponderantemente feito por lâmpadas incandescentes, sendo estas substituídas por lâmpadas fluorescentes compactas, visando a mesma luminosidade. Foram medidos a potência ativa, aparente, corrente, tensão antes e depois da substituição. Com a substituição houve queda da potência ativa e reativa em uma casa, enquanto que na segunda residência houve queda na potência ativa, mas um aumento na potência reativa. Isto se explica pelo baixo fator de potência que as LFC's apresentam. O fator de potência foi reduzido em 5,6% e 33,3% na primeira e segunda residência, respectivamente, tendo ainda um aumento percentual na distorção da corrente de 89,3% e 208,0%.

1.3 MOTIVAÇÃO

Nos últimos anos tem sido crescente a preocupação com a qualidade da energia elétrica e com seu alto custo, some-se o aparecimento de inovações tecnológicas em forma de equipamentos utilizados em residências, os quais em sua maioria são fontes de cargas não lineares, causando distúrbios no sistema elétrico e grandes prejuízos aos consumidores. As distorções harmônicas nos consumidores residenciais são originadas principalmente em equipamentos eletroeletrônicos e iluminação, que são cargas não lineares encontradas em grande quantidade.

Diante do que foi mostrado das distorções harmônicas, dos problemas associados e da necessidade de compensá-las para que as normas sejam atendidas e para garantir sistemas mais confiáveis, é importante conhecer o comportamento individual das cargas que compõem uma residência. Neste trabalho não se pretende modelar residências monofásicas, mas simplesmente fazer estudo de casos que tentem demonstrar de forma genérica o comportamento de tais residências. Pretende-se apresentar de forma geral o comportamento das instalações residenciais monofásicas e dos seus principais componentes.

1.4 OBJETIVO

Neste trabalho é realizado um conjunto de medições periódicas em instalações elétricas residenciais da cidade de João Pessoa. No total, foram realizadas medições em seis residências dos mais diversos perfis de consumidores.

Os dados obtidos nas medições realizadas foram analisados para se obter uma melhor compreensão das distorções harmônicas, em face de cada tipo de consumidor de grupo de consumo residencial, e a contribuição que o tipo de carga não linear causa nos componentes harmônicos destes consumidores.

Além disso, apresentar o estudo de caso com os parâmetros de THD de tensão e corrente e conteúdos harmônicos de corrente para aos principais eletrodomésticos e eletroeletrônicos residenciais monofásicos, bem como o estudo de caso em três instalações residenciais com os parâmetros de THD, fator de potência e DPF para compreensão destes fatores na QEE destas instalações.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Para alcançar os objetivos propostos acima, organizou-se este trabalho de acordo com os seguintes capítulos:

- No capítulo 2 são descritos os materiais e métodos utilizados na elaboração deste trabalho.
- No capítulo 3 são apresentados os resultados das medições obtidas nos equipamentos, as análises e conclusões a respeito.
- No capítulo 4 são apresentados os resultados das medições instantâneas obtidas nas residências, as análises e conclusões a respeito.
- No capítulo 5 são apresentados os resultados das medições obtidas nas residências ao longo de 05 dias, as análises e conclusões a respeito.
- No capítulo 6 são apresentadas as conclusões gerais da dissertação.

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 INTRODUÇÃO

Conforme foi descrito no capítulo anterior, existem diversos tipos de distúrbios que comprometem significativamente a qualidade da energia elétrica. Neste trabalho foram analisadas as variáveis dos harmônicos de corrente e seus índices relacionados, tais como: THD, 3^a, 5^a, 7^a, 9^a, 11^a e demais harmônicos de corrente. Foram realizadas medições em vinte e quatro equipamentos eletrodomésticos e eletroeletrônicos presentes em consumidores residenciais, representando as principais categorias nas residências, conforme descrição mais detalhada no subitem 2.3.

Foram medidos os harmônicos de corrente em 6 consumidores residenciais, sendo as residências escolhidas de forma a se obter o perfil de cada uma de acordo com o consumo, dividindo-as em 3 grupos, os quais foram assim denominados:

- Grupo A - Para consumidores com um consumo mensal acima de 500 kWh/mês.
- Grupo B - Para consumidores com um consumo mensal entre 200 e 500 kWh/mês.
- Grupo C - Para consumidores com um consumo mensal de até 200 kWh/mês.

Neste estudo, foram realizadas medições em duas residências do grupo A, duas do grupo B e duas do grupo C, sendo medidos os parâmetros relacionados com harmônicos de corrente, como a THD e demais harmônicos.

2.2 ANALISADOR DE ENERGIA

O equipamento escolhido para realização das medições foi o analisador de energia Fluke 430 Series II Power Quality and Energy Analyzer, modelo 434-II (figura 2.1), instrumento produzido pela Fluke Corporation (FLUKE, 2012) que mede as principais grandezas elétricas (tensão, corrente, potência ativa, reativa e aparente, energia dentre outros), objetivando a monitoração da qualidade de energia.



Figura 2.1 – FLUKE 434-II

Este analisador de Qualidade de energia elétrica da Fluke, é aprovado pela Aneel e pode ser utilizado em medições de parâmetros envolvendo Qualidade de Energia. O instrumento é configurável, possui bateria própria e cartão de memória SD de 4 GB utilizado para armazenamento dos dados coletados.

A escolha deste instrumento se deu devido a disponibilidade do equipamento nos laboratórios do Curso de Engenharia Elétrica da UFPB aliado com a confiabilidade e capacidade de atender ao que desejamos medir de forma confiável e aceitável, sendo a Fluke Corporation mundialmente reconhecida pela sua excelência na fabricação de equipamentos de medição.

O Analisador utilizado oferece um conjunto abrangente de medições para verificar os sistemas de distribuição de força, proporcionando uma impressão geral do desempenho do sistema de força.

O equipamento oferece muitas funções de medição. Essas funções são predefinidas de uma forma que a melhor representação possível dos resultados da

medição seja obtida em quase todas as circunstâncias. No entanto o equipamento é configurável, permitindo fazer configurações pessoais de acordo com os requisitos específicos que se deseja verificar.

Quando o Analisador Fluke 434-II é ligado pela primeira vez, após uma configuração padrão de fábrica, é necessário ajustar algumas configurações gerais que correspondem à sua situação local. A tabela 2.1 apresenta uma visão geral (FLUKE, 2012):

Tabela 2.1 – Configuração padrão de fábrica do analisador FLUKE 434-II

Configuração	Valor predefinido
Idioma das informações	Inglês
Frequência nominal	60 Hz
Voltagem nominal	120 V
Identificação de fase	A, B, C
Cores de fase A/L1-B/L2-C/L3-N-Aterramento	Preto-Vermelho-Azul-Cinza-verde
Data* + Formato de data	Mês/Dia/Ano
Hora*	00:00:00

Após ligar o Analisador, devemos realizar as configurações desejáveis, iniciando na tela de idioma, utilizando as teclas de seta para cima/seta para baixo para realçar o idioma preferencial, pressionando ENTER e confirmando a mensagem do banner para definir o idioma. Depois devemos pressionar F5 – NEXT (Próximo) para definir o próximo item da configuração inicial e assim por diante.

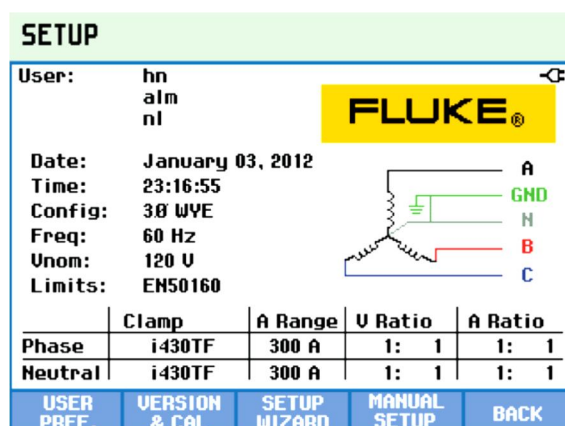


Figura 2.2 – Tela inicial do FLUKE 434-II

Após a configuração do analisador de energia, realizamos a instalação do mesmo para obtenção dos resultados que estamos estudando. Nas residências, o equipamento foi instalado na entrada de energia do consumidor, realizando a instalação das pinças de corrente na fase e neutro, a instalação das garras de tensão na fase, neutro e aterramento. Estas medições foram realizadas em residências monofásicas. Na instalação das pinças de corrente, é necessário uma atenção especial em relação ao sentido da corrente, pois as mesmas possuem uma seta indicando o sentido correto da medição. Segue abaixo uma ilustração da instalação do analisador de energia com todas as suas conexões em um sistema trifásico. No caso do monofásico, na fase é utilizado apenas uma pinça de corrente.

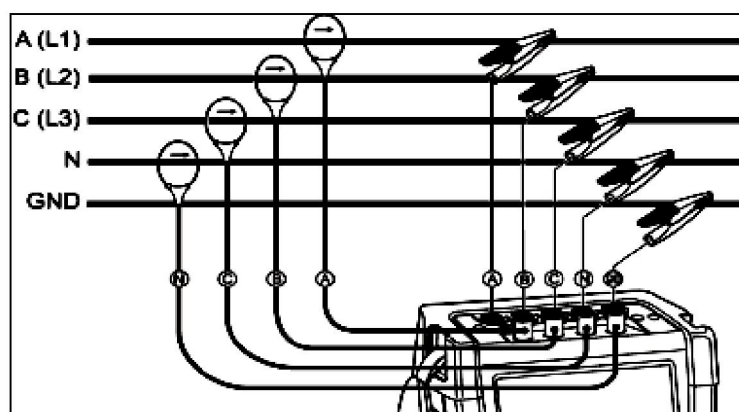


Figura 2.3 – Conexão do analisador FLUKE 434-II com o sistema de distribuição trifásico

O esquema de ligação do equipamento Fluke 434-II, aplicado nas medições para cargas monofásicas é apresentado na Figura 2.4.

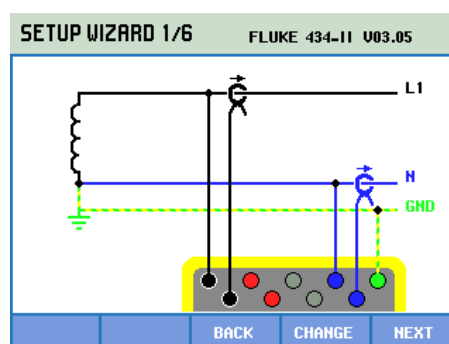


Figura 2.4. Tela de configuração para medição monofásica.

2.3 ELETRODOMÉSTICOS E ELETROELETRÔNICOS AVALIADOS

Nas medições dos equipamentos eletrodomésticos, foi realizada a medição da tensão, corrente, Taxa de Distorção Harmônica total da tensão e da corrente, medição das potências ativa, reativa e aparente, DPF e fator de potência, todos estes dados a cada 30 segundos. Sendo o foco deste estudo os harmônicos de corrente, será apresentado os resultados de corrente, mostrando os gráficos com os harmônicos de corrente e tensão, THD e as curvas de corrente. Há uma variação no tempo de coleta dos dados de cada equipamento, de acordo com a funcionalidade de cada um. Foram medidos os Harmônicos até o 50º, sendo mostrados apenas os mais relevantes, haja visto que de uma maneira geral após a 13º os valores tendem a diminuir bastante ficando abaixo de 5% até se aproximar de 0.

Foram realizadas medições em vinte e quatro equipamentos entre eletrodomésticos e eletroeletrônicos presentes em consumidores residenciais, conforme relação abaixo:

- Aparelho de som tipo Micro system de 15 W.
- Carregador de celular.
- Condicionador de ar split frio tipo inverter de 9000 btus.
- Condicionador de ar split frio de 9000 btus.
- Chuveiro elétrico.
- Esteira elétrica com motor de corrente alternada.
- Esteira elétrica com motor de corrente contínua.
- Espremedor de laranja.
- Ferro de passar roupa.
- Forno de Micro-ondas de 30 litros.
- Grill elétrico.
- Lâmpada fluorescente compacta de 20 W, fabricante 1.
- Lâmpada fluorescente compacta de 25 W, fabricante 2.
- Lâmpada fluorescente compacta de 25 W, fabricante 3.
- Lâmpada incandescente transparente de 200 W.
- Liquidificador.
- Máquina de Lavar roupas 8,5 Kg.

- Multiprocessador de alimentos.
- Notebook 14".
- Rádio relógio
- Refrigerador tipo geladeira de 2 portas.
- Televisão LCD de 32".
- Televisão de tubo de imagem de 14".
- Ventilador de 40 cm.

2.4 RESIDÊNCIAS AVALIADAS

Foram escolhidas seis residências na cidade de João Pessoa, em bairros diferentes, utilizando uma amostragem por bairro, contemplando os 3 grupos de consumo descritos nos parágrafos anteriores e dividindo-as em dois tipos de obtenção de dados.

O objetivo desta divisão foi verificar se de ambas as formas seria conseguido obter igualmente de maneira satisfatória a coleta dos dados desejados.

No primeiro tipo de aquisição realizaram-se medições instantâneas com duração de 1 minuto. Foram escolhidas uma residência dos grupos A, B e C, aqui respectivamente denominados de alto, médio e baixo consumo, realizando a leitura duas vezes em um único dia da semana. A primeira leitura no período da manhã e a segunda no período da noite.

No segundo tipo de coleta de dados, foram realizadas medições longas, com duração de 5 dias em cada residência, com a escolha de uma casa para os grupos A, B e C, representando respectivamente alto, médio e baixo consumo.

Nestas residências foram medidos os harmônicos de tensão e corrente, THD, potencia ativa, reativa e aparente, Fator de potência, DPF e as curvas de corrente e tensão, gráficos com harmônicos de corrente e tensão.

Em todas as residências, o equipamento para realização das medições, foi instalado na fiação elétrica da entrada de energia, próximo ao medidor da Energisa, que é a concessionária de energia elétrica local.

As medições realizadas nas residências 1, 2 e 3 foram de forma instantânea enquanto que nas 4, 5, 6 foram por um período maior. O objetivo desta escolha foi verificar se com uma medição instantânea era possível conseguir os mesmos

subsídios para realização de uma análise sobre as harmônicas de corrente daquelas residências, de forma próxima da medição mais prolongada.

O equipamento para realização das medições em todas as residências, foi instalado na entrada de energia.

CAPÍTULO 3

APARELHOS ELETRODOMÉSTICOS E ELETROELETRÔNICOS RESIDENCIAIS

3.1 INTRODUÇÃO

Foram realizadas diversas medições em equipamentos normalmente utilizados em consumidores residenciais, com o intuito de obter subsídios para compreender a produção dos harmônicos de corrente produzidos pelos eletrodomésticos e eletroeletrônicos.

Todas as grandezas foram obtidas com a utilização do analisador de energia descrito no subitem 2.2, sendo utilizado apenas neste capítulo 3 um osciloscópio de fabricação agilent modelo DSO-X 2012A, com a finalidade de obter com maior precisão a forma de onda da tensão e da corrente dos equipamentos eletrodomésticos e eletroeletrônicos.

Neste capítulo, são exibidos os dados obtidos a partir das medições realizadas nos equipamentos onde serão apresentados as formas de onda de tensão e corrente, a tabela com os conteúdos harmônicos de corrente e o THD da tensão e da corrente dos equipamentos.

Foram analisados equipamentos de iluminação, refrigeração, aquecimento, motores elétricos e eletrônicos comumente utilizados em residências.

3.2 APARELHO DE SOM TIPO MICRO SYSTEM

Foi realizado a medição no equipamento aparelho de som tipo micro system, cujo gráfico de tensão e corrente está representado na figura 3.1.

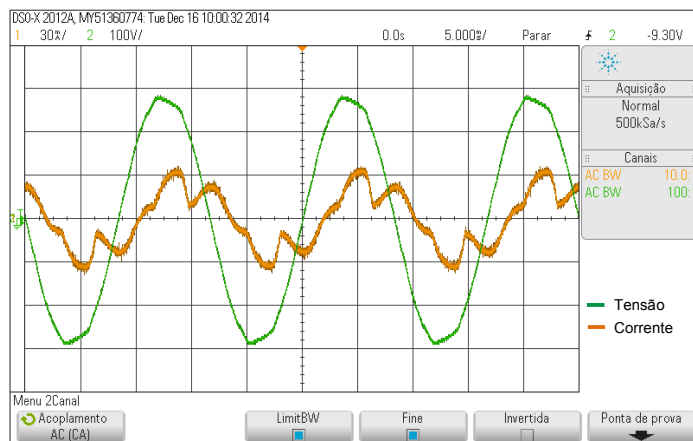


Figura 3.1. Curvas de tensão e corrente do aparelho de som tipo micro system.

Na tabela 3.1 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.1. Conteúdo harmônico do aparelho de som tipo micro system.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 0,2 A$	
	THD %	
	V	I
	3,34	18,11
	Conteúdo harmônico (%)	
3 ^a	5,12	
5 ^a	2,82	
7 ^a	1,23	
9 ^a	1,01	
11 ^a	0,85	

O Aparelho de som tipo Micro System é um equipamento eletroeletrônico utilizado para ouvir músicas, através de rádio, CD, pendrive e com entrada de áudio de outros equipamentos. Este equipamento possui características de uma carga não linear, produzindo harmônicos.

O resultado obtido foi o esperado, a deformação em sua forma de onda de corrente pode ser observada na figura 3.1, apresentando aspecto disforme. Sua THD% de corrente é da ordem de 18,11% e seu conteúdo de harmônicos de corrente estão presentes de forma mais discreta na 3ª e 5ª ordem, diminuindo daí em diante.

3.3 CARREGADOR DE CELULAR.

Foi realizada a medição no equipamento carregador de celular, cujo gráfico de tensão e corrente está representado na figura 3.2.

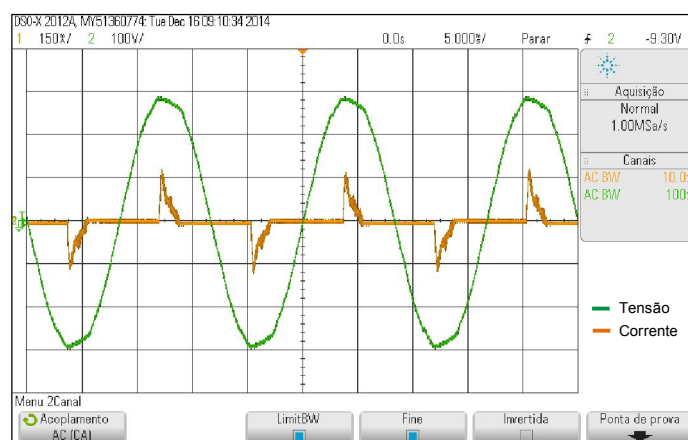


Figura 3.2. Curvas de tensão e corrente do carregador de celular.

Na tabela 3.2 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.2. Conteúdo harmônico do carregador de celular.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 0,1 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	3,10	30,77
	Conteúdo harmônico (%)	
3 ^a	8,32	
5 ^a	4,14	
7 ^a	3,88	
9 ^a	2,97	
11 ^a	2,71	
13 ^a	2,58	
15 ^a	2,43	
17 ^a	1,95	
19 ^a	1,78	
21 ^a	1,35	
23 ^a	1,21	
25 ^a	1,16	
27 ^a	1,01	
29 ^a	0,92	

O celular é um aparelho eletrônico com presença constante na maioria das residências, embora os mesmos possuam uma baixa potência, o mesmo é uma carga não linear no sistema elétrico residencial, produzindo harmônicos.

A distorção em sua forma de onda de corrente pode ser observada na figura 3.2. Sua THD% de corrente é da ordem de 30,77% e seu conteúdo de harmônicos de corrente estão presentes de forma mais discreta até a 7^a ordem, diminuindo daí em diante.

3.4 CONDICIONADOR DE AR SPLIT TIPO INVERTER

Foi realizada a medição no equipamento condicionador de Ar split frio tipo inverter de 9000 btus.

Na figura 3.3 são mostradas as curvas de tensão e corrente.

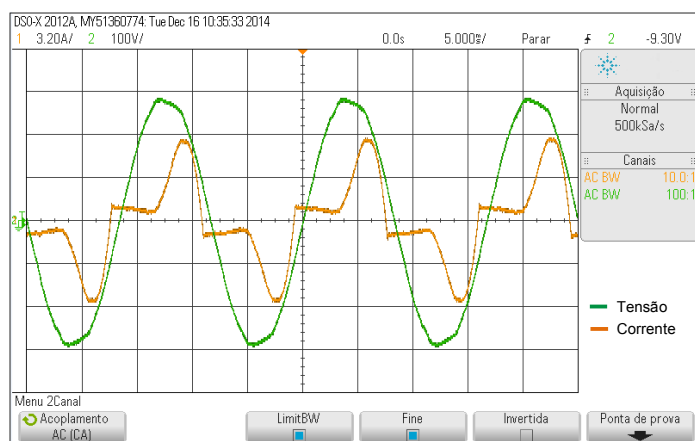


Figura 3.3. Curvas de tensão e corrente do condicionador de ar split tipo inverter.

Na tabela 3.3 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.3. Conteúdo harmônico do condicionador de ar split tipo inverter.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 2,5 A$	
	THD %	
	V	I
	3,16	25,39
	Conteúdo harmônico (%)	
3 ^a	3,93	
5 ^a	10,46	
7 ^a	3,93	
9 ^a	0,95	
11 ^a	2,29	
13 ^a	0,83	

Analisando a figura 3.3, verifica-se a existência de distorção na forma de onda da corrente do aparelho condicionador de ar com sistema de inversor de frequência. Este resultado já era esperado pelas características de funcionamento do aparelho que possui seu controle através de inversor.

A deformação encontrada na forma da onda de corrente, pode ser entendida pela leitura da tabela 3.3, onde THD% de corrente possui um alto valor de 25,39%. Os condicionadores de ar possuem um sistema de funcionamento baseado no controle automático da temperatura que se deseja no ambiente onde o mesmo é instalado, após sua energização. O condicionador de ar tipo inverter no sistema de resfriamento funcionará variando a rotação do compressor tomando como ponto de referência a temperatura desejada, ao atingir este ponto, o equipamento manterá o compressor com uma baixa rotação, ocorrendo o aumento gradativo da rotação quando a temperatura desejada subir.

Dos harmônicos de corrente encontrados nesta medição, o mais relevante foi o de 5ª ordem no valor de 10,46%, enquanto os de 3ª e 7ª ficaram próximos de 4%, havendo uma tendência para zero após a 13ª ordem.

3.5 CONDICIONADOR DE AR SPLIT CONVENCIONAL

Foi realizada a medição no equipamento condicionador de ar split frio de 9000 btus, cujo gráfico de tensão e corrente está representado na figura 3.4.

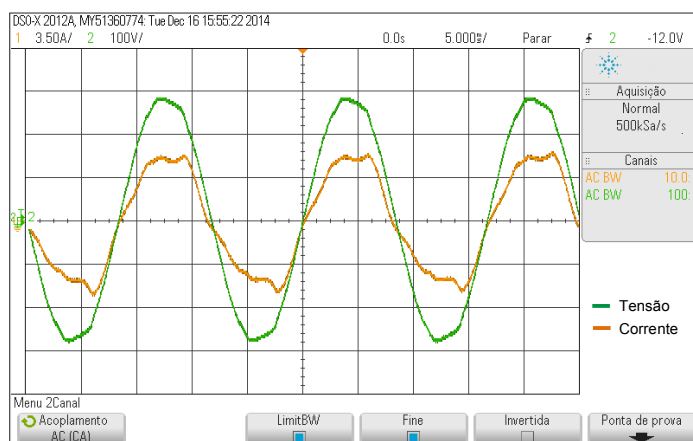


Figura 3.4. Curvas de tensão e corrente do condicionador de ar split.

Na tabela 3.4 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.4. Conteúdo harmônico do condicionador de ar split.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 3,5 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	2,89	15,32
	Conteúdo harmônico (%)	
3 ^a	4,75	
5 ^a	4,08	
7 ^a	1,89	
9 ^a	0,77	
11 ^a	0,10	

A forma de onda de corrente encontrada na medição deste condicionador de ar, apresenta distorção menor do que o aparelho com inverter, sua THD% de corrente obteve um baixo valor, próximo de 15%.

O conteúdo harmônico de corrente encontrado pode ser considerado baixo, observando-se sua presença na 3^a e 5^a ordem próximo a 4% e tendendo ao valor nulo após a 7^a ordem.

Observando as diferenças entre os dois equipamentos, dos itens 3.4 e 3.5, já que ambos possuem a mesma potência de 9.000 BTUS, o aparelho condicionador de ar tipo split convencional possui uma THD% de corrente 39,66% inferior ao com inversor, bem como a deformação na forma de corrente é menor. Outra variável que pode-se observar é que enquanto no equipamento convencional o sinal harmônico de corrente de 3^a ordem já apresenta valor abaixo de 5%, o equipamento com sistema tipo inverter apresentou na 5^a ordem um conteúdo harmônico de 10%. Outro ponto diferente entre ambos os sistemas, é a forma das ondas de corrente, que não possuem nenhuma semelhança entre si.

3.6 CHUVEIRO ELÉTRICO

Foi realizada a medição no equipamento chuveiro elétrico, na posição verão. Na figura 3.5 são mostradas as curvas de tensão e corrente.

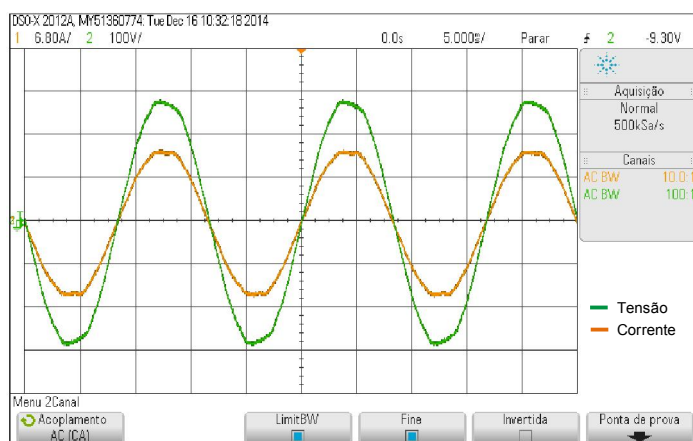


Figura 3.5. Curvas de tensão e corrente do chuveiro elétrico.

Na tabela 3.5 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.5. Conteúdo harmônico do chuveiro elétrico.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 8,4 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	2,43	2,36
	Conteúdo harmônico (%)	
3 ^a	1,53	
5 ^a	1,44	
7 ^a	0,48	
9 ^a	0,63	
11 ^a	0,079	

Este equipamento é uma carga linear, composto por resistências que em contato com a água, uma chave interna dentro dele passa para posição ligada acionando a resistência.

A forma de onda do mesmo é próxima da senoidal, no modelo ideal, a mesma é puramente senoidal, que não é nosso caso, pois reproduzimos neste estudo as condições encontrada nas residências.

Sua THD% de corrente é muita próxima da THD% de tensão, sendo seus valores de 2,36% e 2,43% respectivamente.

3.7 ESTEIRA ELÉTRICA MOTOR AC

Foi realizada a medição no equipamento Esteira elétrica com motor de corrente alternada. Na figura 3.6 são mostradas as curvas de tensão e corrente.

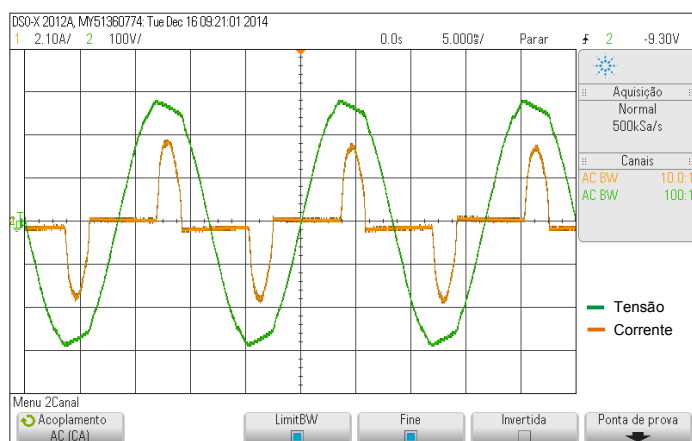


Figura 3.6. Curvas de tensão e corrente da esteira com motor AC.

Na tabela 3.6 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.6. Conteúdo harmônico da esteira elétrica com motor AC.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 1,3 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	3,34	96,17
	Conteúdo harmônico (%)	
3 ^a	37,47	
5 ^a	24,90	
7 ^a	11,31	
9 ^a	1,09	
11 ^a	5,8	
13 ^a	6,58	
15 ^a	3,91	
17 ^a	1,08	
19 ^a	2,80	
21 ^a	3,42	
23 ^a	1,99	
25 ^a	0,50	

Este equipamento, que funciona com um motor de corrente alternada, possui o princípio de funcionamento em que o usuário ao pisar em sua esteira de lona, seleciona em seu painel qual velocidade em Km/h o motor deverá fazer a esteira de lona girar, este controle elétrico é realizado internamente através de um inversor de frequência, que pelas suas características eletrônicas, se comporta como uma carga não linear, causando distorção na forma de onda da corrente elétrica como pode ser comprovado na figura 3.6.

Ao realizar-se uma leitura do conteúdo harmônico da esteira elétrica com motor de corrente alternada na tabela 3.6, observa-se a presença de um alto THD% de corrente no valor de 96,17%, além de significativos conteúdos harmônicos na 3^a, 5^a e 7^a ordem.

Estes resultados estão dentro do esperado, por ser um equipamento com características de carga não linear.

3.8 ESTEIRA ELÉTRICA MOTOR CC

Foi realizada a medição no equipamento esteira elétrica com motor de corrente contínua. Na figura 3.7 são mostradas as curvas de tensão e corrente.

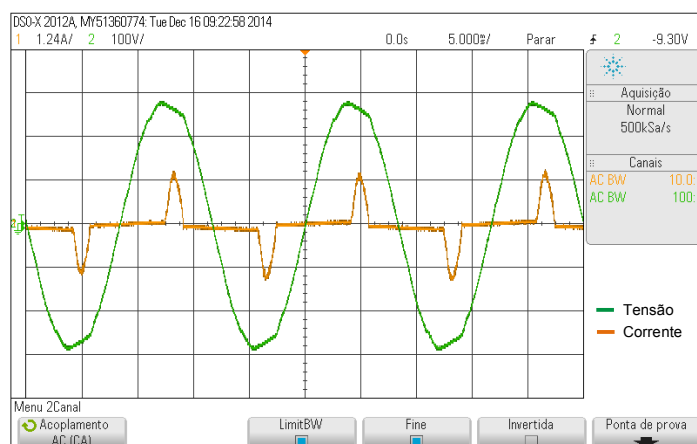


Figura 3.7. Curvas de tensão e corrente da esteira com motor CC.

Na tabela 3.7 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.7. Conteúdo harmônico da esteira elétrica com motor CC.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 0,8 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	2,98	79,33
	Conteúdo harmônico (%)	
3 ^a	25,71	
5 ^a	20,87	
7 ^a	15,27	
9 ^a	9,47	
11 ^a	4,95	
13 ^a	2,56	
15 ^a	2,47	
17 ^a	2,67	
19 ^a	1,19	

21 ^a	1,87
23 ^a	1,75
25 ^a	1,60
27 ^a	1,27
29 ^a	0,93

O equipamento em que foi realizado a medição, trata-se de uma esteira elétrica movida por um motor CC utilizada para prática de exercício de caminhada e corrida, e possui funcionamento da parte do usuário similar ao do Item 3.7, sendo sua diferenciação em relação ao sistema elétrico, quanto ao tipo de motor e controle.

A condição inicial para a operação do motor CC é a produção do fluxo magnético estático. Este fluxo magnético é obtido aplicando-se corrente contínua nas bobinas estáticas. Surgem então pólos magnéticos ao redor das peças polares, que passam a ser eletroímãs com polaridades fixas (FUENTES, 2005).

O controle do motor de corrente contínua pode ser realizado pelo controle de tensão aplicada na armadura, no campo, por adição de resistência na armadura, pela tensão aplicada na armadura e no campo, porém, não faz parte do escopo deste trabalho aprofundar-se neste sistema.

Com relação as distorções de correntes harmônicas encontrados na medição realizada, as mesmas estão de acordo com o que se esperava, apresentando um alto THD% de corrente próximo a 79% e componentes consideráveis de harmônicos de corrente de 3^a, 5^a, 7^a e 9^a ordem.

3.9 ESPREMEDOR DE LARANJA

Foi realizada a medição no equipamento espremedor de frutas, cujo gráfico de tensão e corrente está representado na figura 3.8.

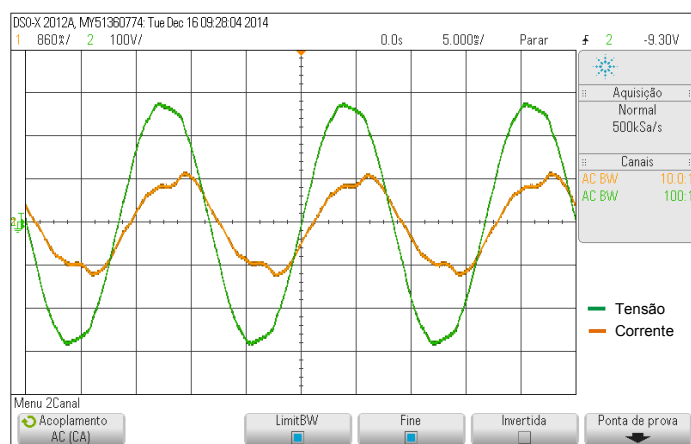


Figura 3.8. Curvas de tensão e corrente do espremedor de laranja.

Na tabela 3.8 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.8. Conteúdo harmônico do espremedor de laranja.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 0,9 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	2,99	8,77
	Conteúdo harmônico (%)	
3 ^a	2,08	
5 ^a	3,36	
7 ^a	0,67	
9 ^a	0,85	
11 ^a	0,257	

O espremedor de laranja, é um eletrodoméstico constituído por uma base de apoio com um motor elétrico CA em seu interior, um botão liga-desliga e tem seu

funcionamento elétrico similar ao de um motor elétrico, mantendo todas suas características.

Os resultados obtidos, foram os esperados, com a forma de onda próxima da senoidal ideal, apresentando baixa distorção na forma de onda da corrente elétrica. Seu THD% de corrente foi de 8,77% e o conteúdo harmônico de corrente não é relevante conforme pode ser observada na tabela 3.8.

3.10 FERRO DE PASSAR ROUPAS

Foi realizada a medição no equipamento ferro de passar roupas. Na figura 3.9 são mostradas as curvas de tensão e corrente.

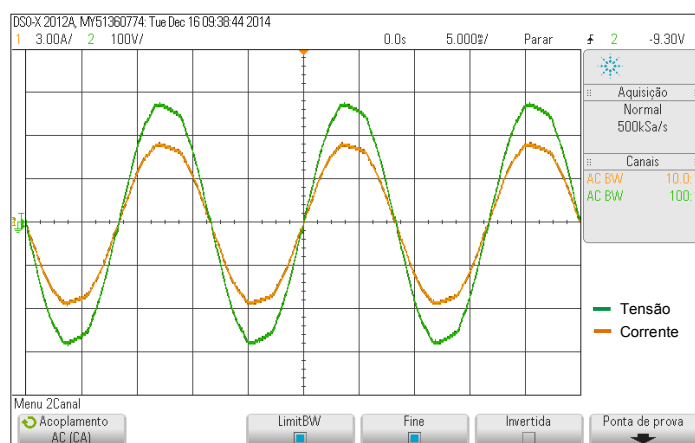


Figura 3.9. Curvas de tensão e corrente do ferro de passar roupas.

Na tabela 3.9 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.9. Conteúdo harmônico do ferro de passar roupas.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 4,2 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	2,87	3,49
	Conteúdo harmônico (%)	
3ª	1,23	
5ª	0,67	

7ª	0,38
----	------

O ferro de engomar roupas utilizado, é uma carga linear, não apresentando distorção resultante na forma de onda da corrente.

A forma de onda da corrente pode ser observada na figura 3.9, onde pode ser verificado que seu formato é de uma onda senoidal, apresentando THD% de corrente de 3,49% muito próximo da THD% tensão.

Os conteúdos harmônicos de corrente encontrados nesta medição, não são relevantes, sendo este os resultados que esperávamos desta medição.

3.11 FORNO DE MICRO-ONDAS

Foi realizada a medição no equipamento Forno de Micro-ondas. Na figura 3.10 são mostradas as curvas de tensão e corrente.

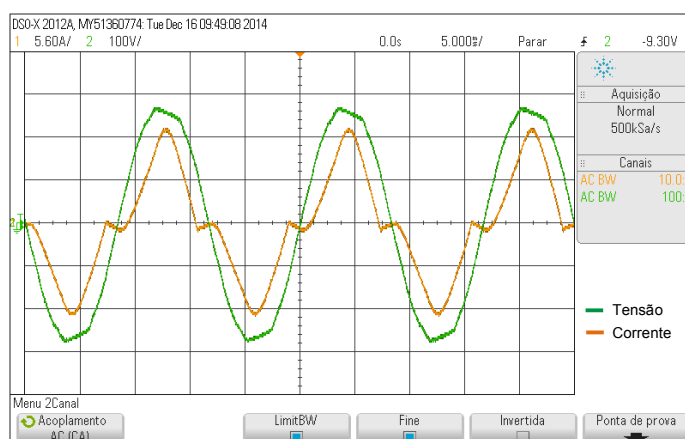


Figura 3.10. Curvas de tensão e corrente do forno de micro-ondas.

Na tabela 3.10 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.10. Conteúdo harmônico do forno de micro-ondas.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 6,9 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	4,14	31,84

	Conteúdo harmônico (%)
3 ^a	29,94
5 ^a	6,05
7 ^a	4,55
9 ^a	1,91
11 ^a	0,95
13 ^a	0,69
15 ^a	0,51

Este eletrodoméstico, tem como objetivo aquecer alimentos, porém, com funcionamento diferente de um equipamento com resistência elétrica, nele o usuário, abre uma porta e coloca o alimento sobre um prato girante, escolhe a temperatura e tempo desejado de aquecimento no painel de operação, e internamente é acionado um magnetron que gera dentro do aparelho ondas eletromagnéticas de 2450 GHz, a mesma frequência de ressonância das moléculas de água.

Este equipamento possui as características de uma carga não linear, apresentando distorção na forma de onda da corrente elétrica conforme pode ser observada na figura 3.10.

Os resultados obtidos, estão em consonância com o esperado, apresentando deformação na forma de onda da corrente, uma elevada THD% de corrente próximo de 31% e conteúdos harmônicos de corrente relevantes de 3^a, 5^a e 7^a ordem, conforme pode ser observada na tabela 3.10.

3.12 GRILL ELÉTRICO

Foi realizada a medição no equipamento Grill elétrico, cujo gráfico de tensão e corrente está representado na figura 3.11.

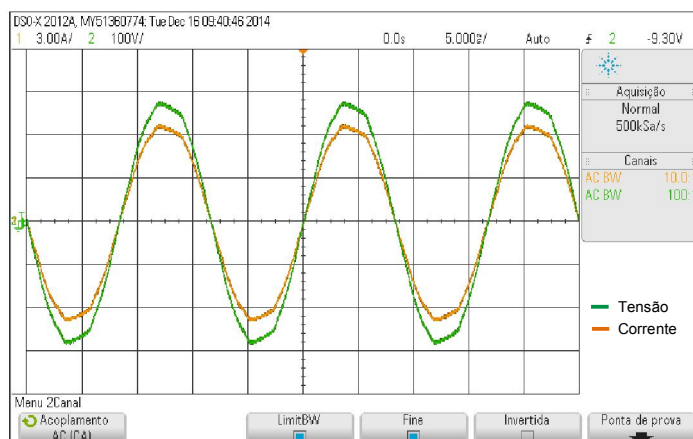


Figura 3.11. Curvas de tensão e corrente do grill elétrico.

Na tabela 3.11 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.11. Conteúdo harmônico do grill elétrico.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 5,1 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	3,01	2,93
	Conteúdo harmônico (%)	
3 ^a	0,98	
5 ^a	0,58	
7 ^a	0,22	

Com a finalidade de utilização por parte do usuário muito próxima do aparelho de micro-ondas, que é o de aquecer os alimentos, este eletrodoméstico possui suas características elétricas totalmente diferente do apresentado no item 3.11.

Este grill elétrico, tem seu princípio de funcionamento elétrico ligando uma resistência que é desligada ao atingir determinada temperatura e voltando a religar para manter a temperatura de aquecimento, portanto, é está resistência de aquecimento, que faz com o aparelho possua as características de uma carga linear.

A corrente elétrica possui o formato de uma onda senoidal, apresentando THD% de corrente de 2,93% muito próximo da THD% tensão e conteúdo harmônico de corrente não relevante.

3.13 LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA

Foi realizada a medição em 03 lâmpadas fluorescentes tipo compacta de fabricantes diferentes. Observou-se que as formas de onda possuem as mesmas características. Foi utilizado uma lâmpada de 20 W do fabricante 1 e duas lâmpadas de 25 W, dos fabricantes 2 e 3.

Na figura 3.12 são mostradas as curvas de tensão e corrente.

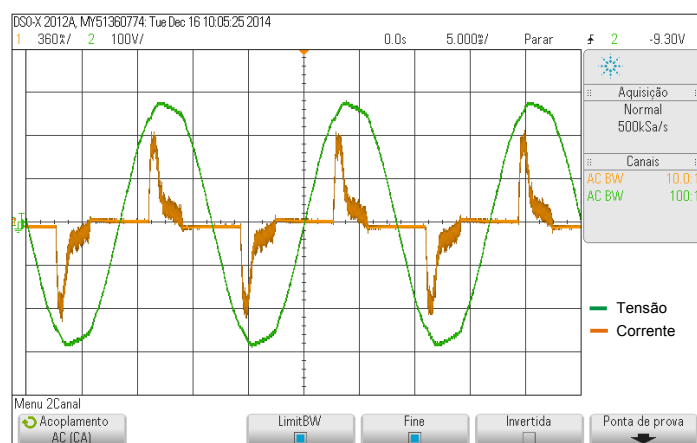


Figura 3.12. Curvas de tensão e corrente da LFC do fabricante 3.

Na tabela 3.12 são mostrados os THD% de tensão e de corrente.

Tabela 3.12. Conteúdo dos THD% de tensão e corrente da LCF dos 3 fabricantes.

THD% de tensão e corrente			
Fabricante	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3
THD% (V)	3,85	3,05	2,87
THD% (I)	74,05	87,78	96,15

Na tabela 3.13 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.13. Conteúdo harmônico da LFC do fabricante 3.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 0,2 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	2,87	96,15
	Conteúdo harmônico (%)	
3 ^a	53,70	
5 ^a	33,91	
7 ^a	31,48	
9 ^a	32,63	
11 ^a	26,86	
13 ^a	20,04	
15 ^a	16,95	
17 ^a	14,48	
19 ^a	10,08	
21 ^a	6,49	
23 ^a	5,65	
25 ^a	4,88	
27 ^a	3,82	
29 ^a	3,36	

Há uns 10 anos, as lâmpadas fluorescentes compactas que aqui chamaremos de LFC começaram a se popularizar, primeiro devido ao preço que anteriormente era muito alto e paulatinamente foi ficando mais acessível e depois por conta de sua eficiência em comparação as lâmpadas incandescentes e a legislação brasileira que limitou a comercialização e produção de lâmpadas incandescentes no Brasil (Portaria 1.007/2010-MME) de forma programada.

Estas lâmpadas LFC possuem características de cargas não lineares, apresentando distorção na forma da onda de corrente conforme pode ser observada na figura 3.12.

Nesta medição foram utilizados 3 fabricantes de lâmpadas diferentes como forma de comparação, e de acordo com a tabela 3.12, pode-se observar que todas elas possuem alto THD% de corrente com alguns poucos valores de diferença entre si, justificável pela qualidade e tipo do material utilizado na fabricação, porém com características similares.

Os resultados obtidos foram os esperados, com uma alta distorção na forma de onda de corrente e com muitos conteúdos harmônicos de corrente significativos, conforme pode ser observada na tabela 3.13.

3.14 LÂMPADA INCANDESCENTE

Foi realizada a medição na lâmpada incandescente transparente com potência de 200 W.

Na figura 3.13 são mostradas as curvas de tensão e corrente.

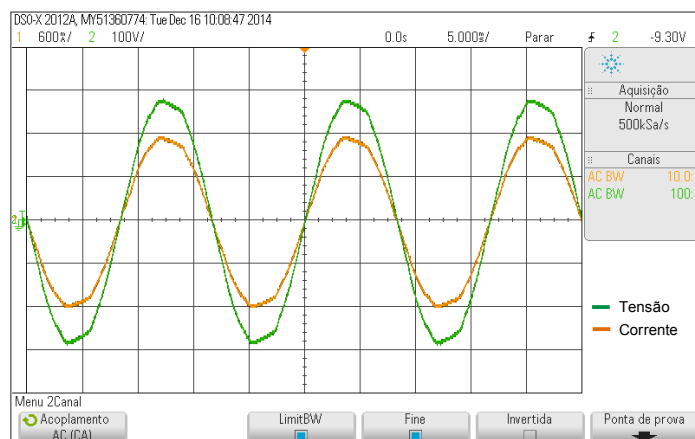


Figura 3.13. Curvas de tensão e corrente da lâmpada incandescente.

Na tabela 3.14 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.14. Conteúdo harmônico da lâmpada incandescente.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 0,9 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	2,84	4,23
	Conteúdo harmônico (%)	
3 ^a	0,77	
5 ^a	1,05	
7 ^a	0,34	

Possuindo em seu princípio de funcionamento o aquecimento de um filamento, a lâmpada incandescente tem características de uma carga linear. A corrente elétrica possui a forma de uma onda senoidal, apresentando THD% de corrente de 4,23% muito próximo da THD% tensão e conteúdo harmônico de corrente não relevante. Os resultados obtidos foram os esperados dado a natureza de carga linear.

Embora esteja sendo substituída em todas as residências, ainda é comum encontrar este tipo de lâmpada nas habitações, grande parte deste motivo se deve a uma questão de cultura, pelo hábito de anos de utilização da mesma e pela desinformação quanto a sua ineficiência.

Estimativas do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) mostram que, se todas as lâmpadas incandescentes com potência entre 61 e 100 watts, utilizadas em residências, fossem substituídas simultaneamente por unidades fluorescentes compactas, a economia resultante seria de aproximadamente 2,2 bilhões de kWh por ano. Esse volume equivale ao consumo residencial de uma cidade como Recife (PE), em dois anos. A substituição destas lâmpadas por equivalentes de LFC proporcionaria uma economia de 75% de energia. Enquanto essas unidades duram cerca de 750 horas, uma LFC pode durar entre 6.000 e 8.000 horas (PLANALTO, 2013).

3.15 LIQUIDIFICADOR

Foi realizada a medição no equipamento liquidificador. Na figura 3.14 são mostradas as curvas de tensão e corrente.

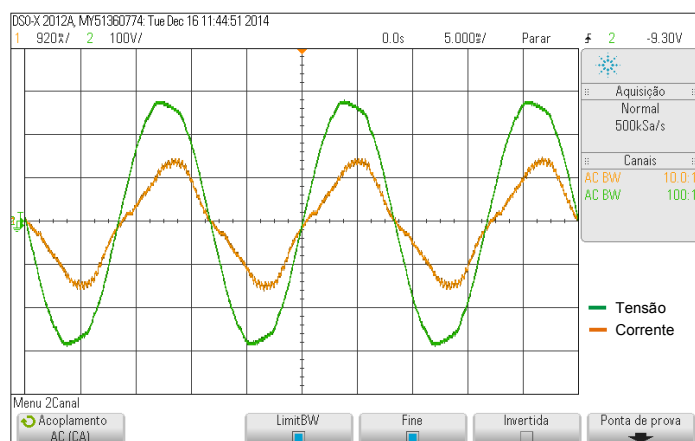


Figura 3.14. Curvas de tensão e corrente do liquidificador.

Na tabela 3.15 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.15. Conteúdo harmônico do liquidificador.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 0,7 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	3,21	10,38
	Conteúdo harmônico (%)	
3 ^a	4,38	
5 ^a	1,43	
7 ^a	0,67	
9 ^a	0,74	
11 ^a	0,37	

Este equipamento é um liquidificador de utilização doméstica que é normalmente vendido em lojas comerciais, composto por uma base com um motor em seu interior e uma espécie de copo com capacidade média de 1 litro na sua parte

superior, onde são colocados os alimentos que serão processados, devendo o usuário selecionar umas das velocidades disponíveis, iniciando neste momento o funcionamento elétrico que consiste na rotação do motor.

O resultado obtido foi o esperado, na figura 3.14 observa-se a corrente elétrica com um formato de onda senoidal, apresentando uma THD% de corrente de 10,8% com conteúdo harmônico de corrente pouco representativo conforme tabela 3.15.

3.16 MÁQUINA DE LAVAR ROUPAS

Foi realizada a medição no equipamento máquina de lavar roupas. Na figura 3.15 são mostradas as curvas de tensão e corrente.

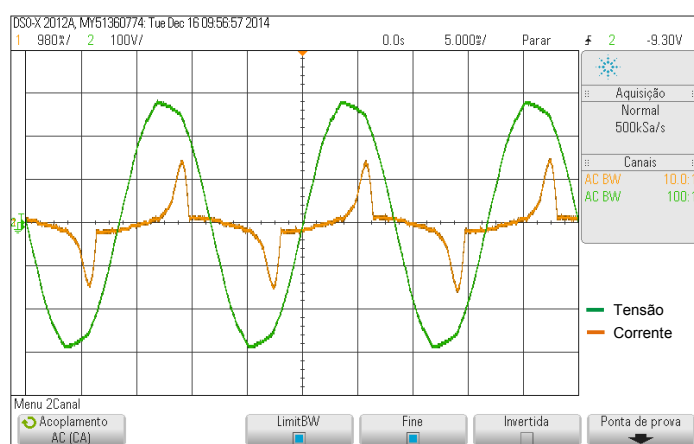


Figura 3.15. Curvas de tensão e corrente da máquina de lavar roupas.

Na tabela 3.16 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.16. Conteúdo harmônico da máquina de lavar roupas.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 0,8 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	3,13	43,18
	Conteúdo harmônico (%)	
3ª	10,82	

5 ^a	8,55
7 ^a	5,09
9 ^a	5,24
11 ^a	4,10
13 ^a	2,57
15 ^a	2,97
17 ^a	2,76
19 ^a	1,58

O equipamento máquina de lavar roupas, tem como constituição geralmente uma caixa metálica, com um compartimento para colocação de roupas para serem lavadas, o usuário, abre uma tampa que pode ser frontal ou superior, coloca a roupa a ser lavada e seleciona o ciclo de lavagem desejável entre as diversas opções disponíveis na máquina, em si só, a máquina não é apenas um motor girando, mais é composta por um circuito eletrônico, que faz com que o motor gire em velocidades diferentes e em sentidos diferentes, em determinado momento horário e em outro no sentido anti-horário.

O equipamento em que foi realizada a medição possui controle com inversor de frequência, sendo o resultado obtido o esperado, com a presença de distorção na forma de onda da corrente conforme pode ser observada na figura 3.15.

Os conteúdos harmônicos de corrente, possuem valores significativos, com um THD% de 43,18%.

3.17 MULTIPROCESSADOR DE ALIMENTOS

Foi realizada a medição no equipamento multiprocessador de alimentos, cujo gráfico de tensão e corrente está representado na figura 3.16.

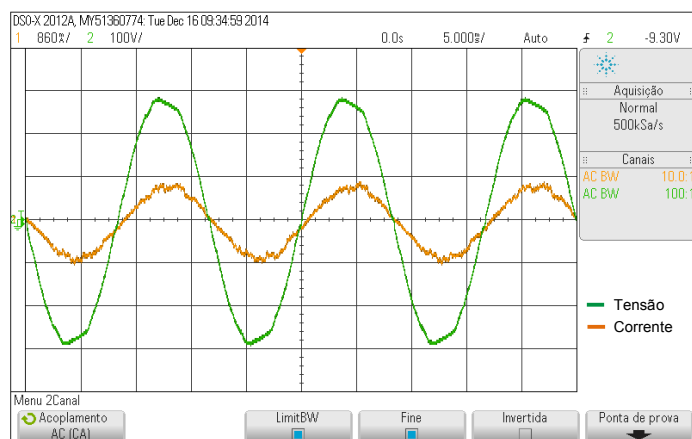


Figura 3.16. Curvas de tensão e corrente do multiprocessador de alimentos.

Na tabela 3.17 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.17. Conteúdo harmônico do multiprocessador de alimentos.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 0,8 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	2,96	8,01
	Conteúdo harmônico (%)	
3ª	2,39	
5ª	0,64	
7ª	0,55	
9ª	0,41	

O multiprocessador de alimentos é um eletrodoméstico constituído por uma base de apoio com um motor elétrico CA em seu interior, um botão liga-desliga e tem seu funcionamento elétrico similar ao de um motor elétrico.

Os resultados obtidos, foram os esperados, com a forma de onda próxima da senoidal, apresentando baixa distorção na forma de onda da corrente elétrica, seu THD% de corrente foi de 8,01% e o conteúdo harmônico de corrente não é significativo conforme pode ser observada na tabela 3.17.

3.18 NOTEBOOK

Foi realizada a medição no carregador de bateria do notebook tela de 14 polegadas. Na figura 3.17 são mostradas as curvas de tensão e corrente.

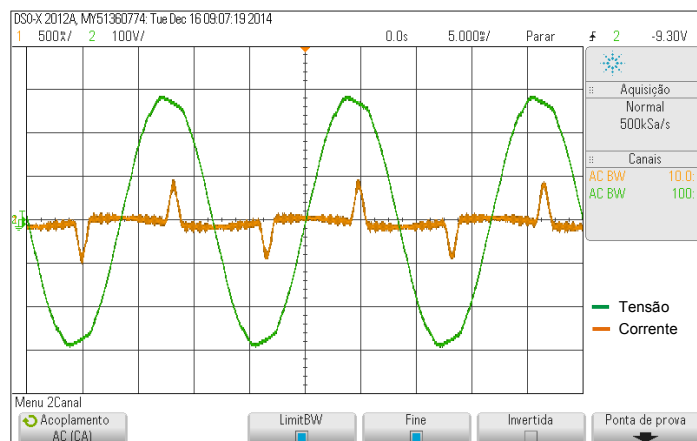


Figura 3.17. Curvas de tensão e corrente do notebook.

Na tabela 3.18 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.18. Conteúdo harmônico do notebook.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 0,4 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	3,24	99,42
	Conteúdo harmônico (%)	
3 ^a	46,74	
5 ^a	34,42	
7 ^a	29,31	
9 ^a	21,47	
11 ^a	16,65	
13 ^a	15,27	
15 ^a	12,12	
17 ^a	10,91	
19 ^a	8,74	

21 ^a	7,64
23 ^a	6,34
25 ^a	4,77
27 ^a	5,11
29 ^a	4,27
31 ^a	4,17

Os computadores pessoais ou notebooks normalmente produzem harmônicos na instalação elétrica, este fato ocorre devido a arquitetura construtiva da fonte de alimentação destes equipamentos, em grande parte constituída por fontes chaveadas.

O resultado obtido foi o esperado, o notebook através de sua fonte de alimentação apresenta características de uma carga não linear, conforme pode ser comprovado na figura 3.17 onde pode ser observada a distorção na forma de onda da corrente.

Na tabela 3.18, verificamos uma THD% de corrente de 99,42%, com valores significativos de conteúdo harmônico em todas suas ordens de harmônico.

3.19 RÁDIO RELÓGIO

Foi realizada a medição do equipamento eletrônico rádio relógio. Na figura 3.18 são mostradas as curvas de tensão e corrente.

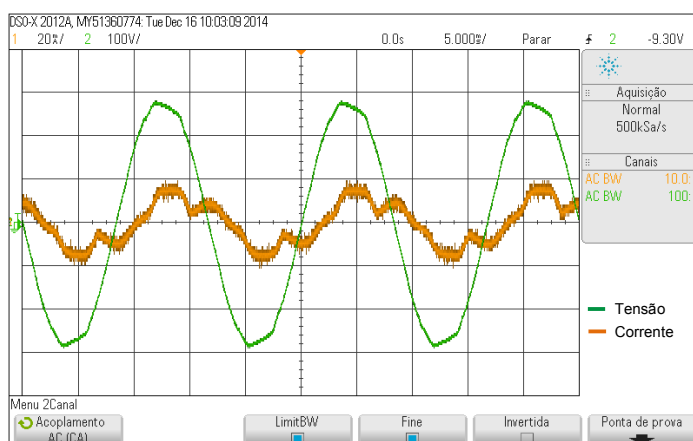


Figura 3.18. Curvas de tensão e corrente do rádio relógio.

Na tabela 3.19 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.19. Conteúdo harmônico do rádio relógio.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 0,2 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	3,27	18,32
	Conteúdo harmônico (%)	
3 ^a	5,05	
5 ^a	2,19	
7 ^a	1,37	
9 ^a	0,98	
11 ^a	0,79	

O rádio relógio é um equipamento eletroeletrônico pouco utilizado para ouvir músicas e possui como principal finalidade acordar o usuário na hora do melhor sono, de forma eficiente e conforme a necessidade do utilizador. Este equipamento possui características de uma carga não linear, produzindo harmônicos.

O resultado obtido foi o esperado, a deformação em sua forma de onda de corrente pode ser observada na figura 3.18, apresentando aspecto distorcido. Sua THD% de corrente é da ordem de 18,32% e seu conteúdo de harmônicos de corrente está presente de forma mais discreta na 3^a a ordem, diminuindo daí em diante.

3.20 REFRIGERADOR

Foi realizada a medição no refrigerador tipo geladeira com 2 portas, cujo gráfico de tensão e corrente está representado na figura 3.19.

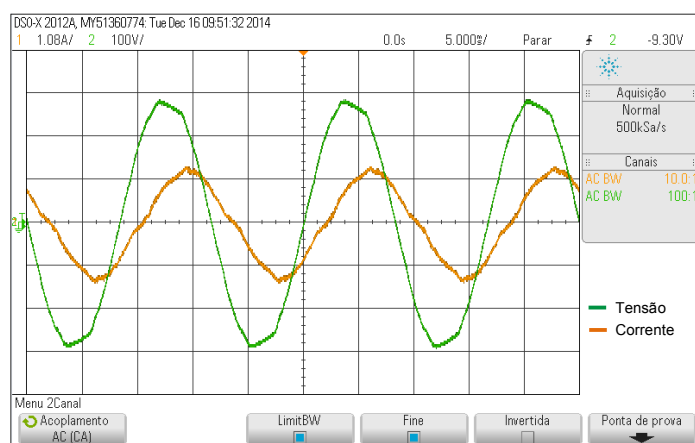


Figura 3.19. Curvas de tensão e corrente da geladeira.

Na tabela 3.20 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.20. Conteúdo harmônico da geladeira.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 1,1 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	3,06	18,81
	Conteúdo harmônico (%)	
3 ^a	5,05	
5 ^a	2,18	
7 ^a	1,56	
9 ^a	1,30	
11 ^a	0,78	

A forma de onda de corrente encontrada na medição desta geladeira, apresenta pouca distorção, sua THD% de corrente obteve um valor próximo de 18%, mantendo sua forma muito próximo da senoidal.

O resultado obtido foi o esperado, para um equipamento com compressor, o conteúdo harmônico de corrente encontrado pode ser considerado baixo,

observando-se sua presença na 3ª ordem próximo a 5% e tendendo ao valor nulo após a 9ª ordem.

3.21 TELEVISÃO LCD

Foi realizado a medição no equipamento de televisão com tela LCD de 32", cujo gráfico de tensão e corrente está representado na figura 3.20.

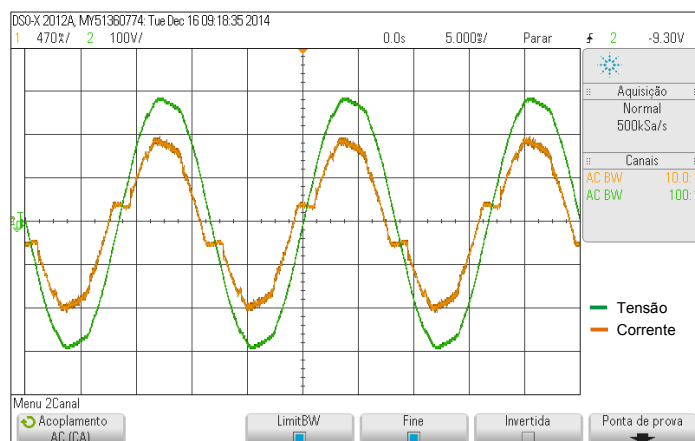


Figura 3.20. Curvas de tensão e corrente da televisão LCD.

Na tabela 3.21 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.21. Conteúdo harmônico da televisão LCD.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 0,6 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	3,38	23,17
	Conteúdo harmônico (%)	
3ª	7,67	
5ª	4,83	
7ª	1,65	
9ª	1,86	
11ª	1,08	
13ª	0,97	

O televisor com tela LCD é um equipamento eletroeletrônico utilizado como forma de entretenimento, para assistir programas, filmes e lazer. Este equipamento possui características de uma carga não linear, produzindo harmônicos.

Os resultados obtidos, estão de acordo com o esperado, podemos observar na figura 3.20 uma distorção na forma de onda da corrente, e uma THD% de corrente de 23,17% na tabela 3.21, com conteúdo harmônico de corrente significativos presentes na 3ª e 5ª ordem.

3.22 TELEVISÃO TRC

Ainda na parte de televisão, foram medidas as curvas de corrente de harmônico da televisão com Tubo de Raios Catódicos (TRC) de 14".

Na figura 3.21 são mostradas as curvas de tensão e corrente.

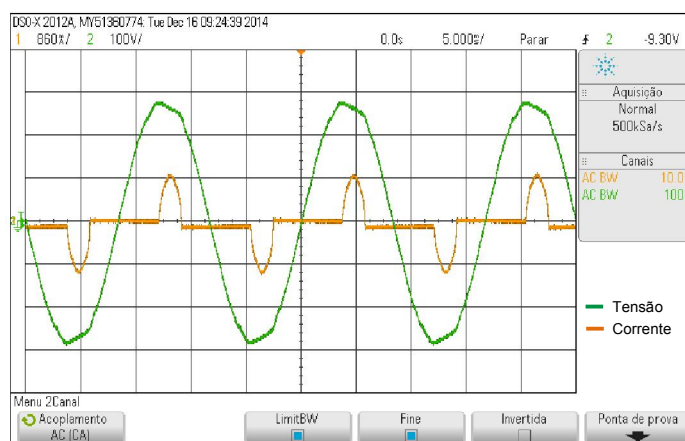


Figura 3.21. Curvas de tensão e corrente da televisão de 14".

Na tabela 3.22 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.22. Conteúdo harmônico da televisão de 14".

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 0,4 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	3,13	70,94

	Conteúdo harmônico (%)
3 ^a	55,66
5 ^a	36,8
7 ^a	17,5
9 ^a	4,47
11 ^a	9,44
13 ^a	10,32
15 ^a	6,31
17 ^a	1,78
19 ^a	4,70
21 ^a	5,80
23 ^a	4,10
25 ^a	1,32

O televisor com Tubo de Raios Catódicos (TRC) apesar de está entrando em desuso, ainda é muito presente nas residências, o seu princípio de funcionamento é diferente do equipamento do item 3.21, possuindo também uma maior distorção de harmônicos.

Os resultados obtidos foram o esperado, este equipamento possui características de uma carga não linear.

A distorção em sua forma de onda de corrente pode ser observada na figura 3.21. Sua THD% de corrente é da ordem de 70,94% e seus conteúdos de harmônicos de corrente possuem valores significativos até a 23^a ordem, conforme pode ser observada na tabela 3.22.

3.23 VENTILADOR

Foi realizada a medição no eletrodoméstico ventilador de 40 cm. Na figura 3.22 são mostradas as curvas de tensão e corrente.

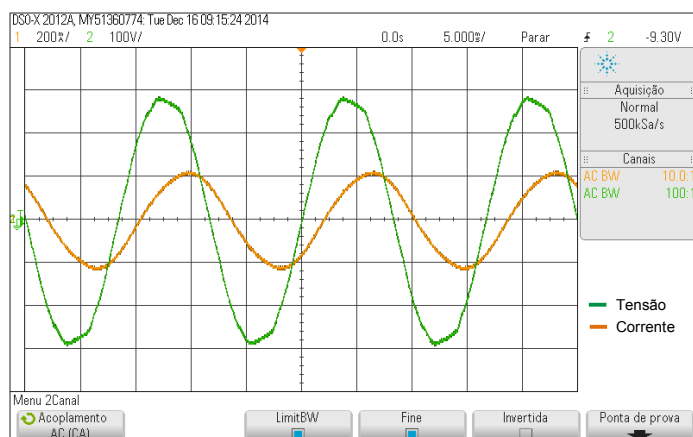


Figura 3.22. Curvas de tensão e corrente do ventilador.

Na tabela 3.23 são mostrados os conteúdos harmônicos de corrente.

Tabela 3.23. Conteúdo harmônico do ventilador.

Harmônicos de Corrente	$I_{rms} = 0,4 \text{ A}$	
	THD %	
	V	I
	2,96	8,08
	Conteúdo harmônico (%)	
3 ^a	5,12	
5 ^a	2,07	
7 ^a	1,57	
9 ^a	1,14	
11 ^a	0,95	

O ventilador residencial, é um eletrodoméstico constituído por uma base de apoio com um motor elétrico em sua parte superior onde é fixada uma hélice de plástico, possui um botão liga-desliga e normalmente 3 opções de velocidades.

Os resultados obtidos, foram os esperados, com a forma de onda próxima da senoidal de acordo com a figura 3.22, apresentando baixa distorção na forma de onda da corrente elétrica. Seu THD% de corrente foi de 8,08% e o conteúdo

harmônico de corrente não é significativo conforme pode ser observada na tabela 3.23.

3.24 CONCLUSÃO

Foram apresentados neste capítulo, o estudo com a medição dos conteúdos harmônicos e forma da onda de corrente de diversos equipamentos eletrodomésticos e eletroeletrônicos com características de cargas lineares e não lineares que estão presentes na maioria das residências.

Estes equipamentos estudados, foram organizados neste trabalho nas seguintes divisões: compressores, eletroeletrônicos, iluminação, motores, resistências e inversores.

Na divisão de compressores, incluindo o condicionador de ar convencional e a geladeira, a forma de onda da corrente não apresentou distorção que a descaracterizasse muito de uma senoide, sendo o THD% próximo de 15% e os poucos conteúdos harmônicos de corrente abaixo de 5%.

Com relação aos eletroeletrônicos, onde estão o carregador de celular, aparelho de som tipo micro system, notebook, rádio relógio e televisores, possuem grandes distorções na forma de onda de corrente e em sua maioria com altos THD% de corrente. Isto ocorre devido a maioria deles fazer uso de uma fonte de energia chaveada em substituição aos transformadores, causando distorções harmônicas.

A iluminação é um dos componentes que estão presentes em todas as residências. As lâmpadas fluorescentes compactas apresentaram características de cargas não lineares com distorção na forma de onda da corrente e alto valor da THD% próximo de 100% e significativos conteúdos harmônicos de corrente.

Os motores constantes deste estudo, onde estão espremedor de laranja, liquidificador, multiprocessador de alimentos e ventilador, não apresentaram distorção significativa na forma de onda da corrente, mantendo o aspecto senoidal, com baixos valores de THD%, em geral abaixo de 10% e não possuindo significativos conteúdos harmônicos de corrente.

Nos equipamentos com resistência, incluindo-se a lâmpada incandescente (que embora seja uma fonte de iluminação, sua constituição é de uma resistência elétrica), as resistências com o chuveiro elétrico, ferro de passar roupas e grill elétrico, por serem cargas com características lineares, a forma de onda da corrente manteve-se senoidal e o THD% de corrente ficou próximo do THD% de tensão.

Nos equipamentos com inversores, mantendo-se as divisões de funcionamento de cada eletrodoméstico, todos apresentaram características de cargas não lineares, apresentando distorção na forma da onda de corrente e em sua maioria significativo THD% de corrente. Neste aspecto estão o condicionador de ar com inverter, esteira elétrica e a máquina de lavar roupa com inverter.

Neste estudo percebeu-se uma mudança em andamento no hábito dos consumidores residenciais. No passado não muito distante, a maioria das cargas eram com características em sua maioria lineares. Atualmente está havendo uma transição, com a implementação de cargas não lineares de pequena potência, como carregador de celular, lâmpadas LFC de até 20 W, aparelhos de som, notebook, televisores com tela de LCD e assim por diante. Esta mudança é constante e sem volta, pois estão sendo inseridos no rol de eletrodomésticos os equipamentos com inversores de frequência que invariavelmente vieram para ficar. A tendência a curto prazo é que quase todos os equipamentos residenciais que possuam motores e compressores sejam em sua totalidade absoluta com inversores, até os chuveiros elétricos estão alcançando uma nova categoria, que é com circuitos eletrônicos para monitoração da temperatura, emissão de iluminação com led durante o banho, permutar de forma automática sem interferência do usuário entre a água da concessionária aquecida com resistência ou água já quente com gás ou calor solar e motores acoplados para aumentar a pressão.

Todas estas inovações tecnológicas possuem como objetivo melhorar a eficiência de consumo e dar conforto, porém, ao mesmo tempo causam distorções nas formas de onda.

CAPÍTULO 4

MEDIÇÕES EM CARGAS RESIDENCIAIS - MEDIÇÕES INSTANTÂNEAS DE FORMA DE ONDA

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir das medições instantâneas realizadas em imóveis residenciais da cidade de João Pessoa na quantidade de três residências, uma em cada grupo de consumo (baixo, médio e alto consumo de energia mensal).

A residência de baixo consumo está localizada no bairro das Indústrias, região oeste da cidade. A moradia de médio consumo localiza-se no bairro dos Bancários e a de consumo mensal alto está situada no bairro de Manaíra.

Nestas residências foram realizadas as medições instantâneas com duração de 60 segundos e serão apresentadas os harmônicos de correntes e suas componentes, a THD de tensão e corrente, as formas de onda de corrente, o gráfico da corrente no momento da medição e uma tabela com os valores medidos das harmônicas de corrente.

A intenção é verificar no final do estudo se os resultados conseguidos com uma medição instantânea são compatíveis com os valores obtidos com uma medição prolongada.

4.2 RESIDÊNCIA 1 - CONSUMO BAIXO

A primeira medição instantânea foi realizada em uma residência com consumo mensal baixo, média de 72 kWh/mês. O imóvel possui área aproximada de 40m².

O equipamento de medição foi instalado na entrada de energia da residência. As cargas encontradas na mesma, são compostas por equipamentos eletrodomésticos e eletroeletrônicos, caracterizando as cargas dos tipos lineares e não lineares. Abaixo apresenta-se a descrição dos principais equipamentos.

Cargas Lineares:

- 01 Liquidificador;
- 01 Ferro de passar roupas;

Cargas Não Lineares:

- 01 Televisor TRC de 14";
- 01 Geladeira Simples;
- 01 Carregador de celular.
- 05 Lâmpadas fluorescentes compactas.
- 01 Aparelho de som tipo Micro system.

Na Figura 4.1 é apresentada a forma de onda instantânea da tensão e da corrente no horário de 7h58min. A partir da análise do gráfico da corrente (cor cinza) percebe-se a presença de harmônicas devido à distorção apresentada na forma de onda da corrente. A Figura 4.2 mostra o gráfico das THD de tensão e de corrente no momento da medição. A THD de corrente total encontrada foi de 20,56%. Os harmônicos presentes são principalmente de número ímpar, apresentando maior amplitude os de 3ª, 5ª e 7ª ordem.

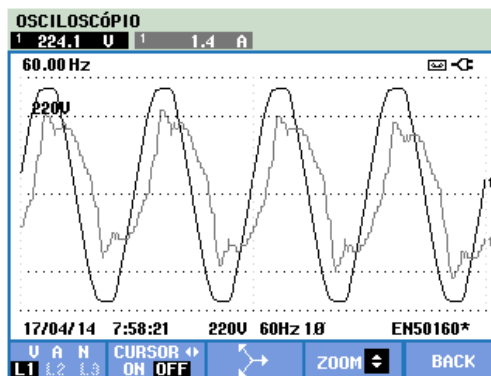


Figura 4.1. Formas de onda de tensão e corrente às 7h58min.

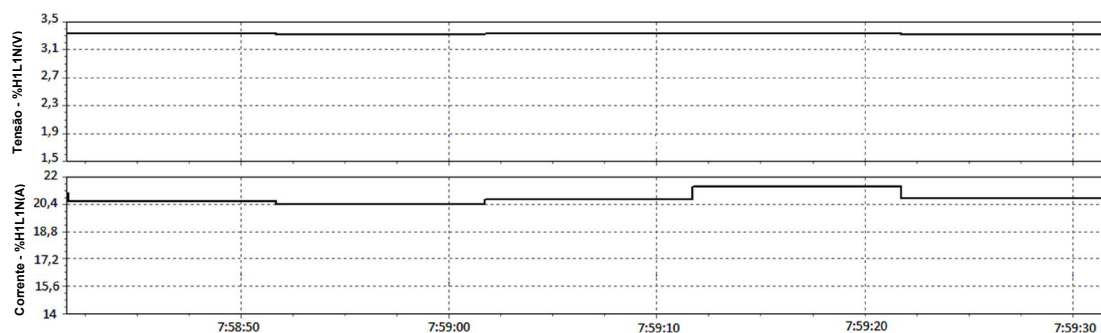


Figura 4.2. Gráfico da THD de tensão e corrente às 7h58min.

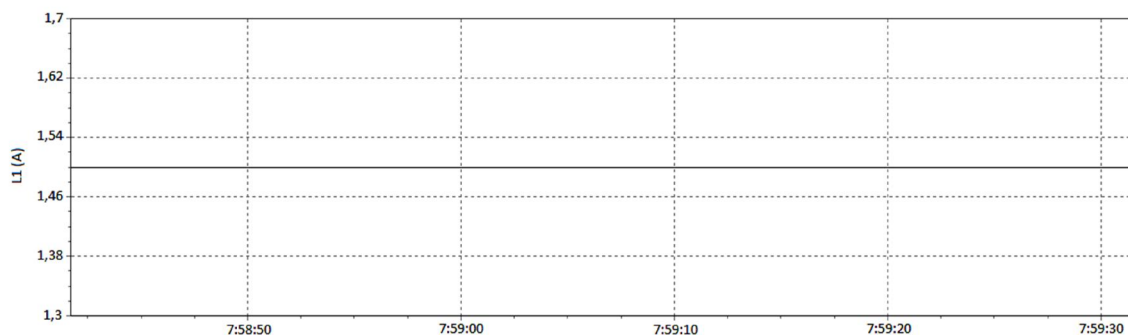


Figura 4.3. Gráfico da corrente às 7h58min.

Para esta mesma residência foi realizada outra medição no mesmo dia, durante o período da noite, às 19h07min. Na Figura 4.4 são apresentadas as formas de onda instantâneas de tensão e corrente para este horário.

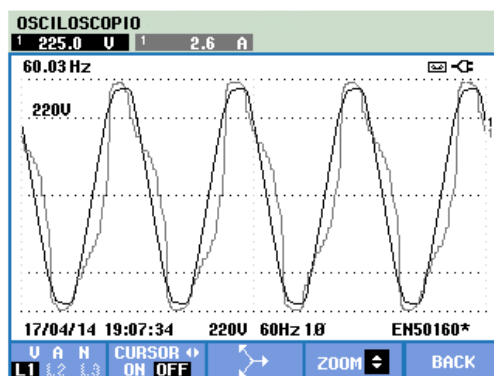


Figura 4.4. Formas de onda de tensão e corrente às 19h07min.

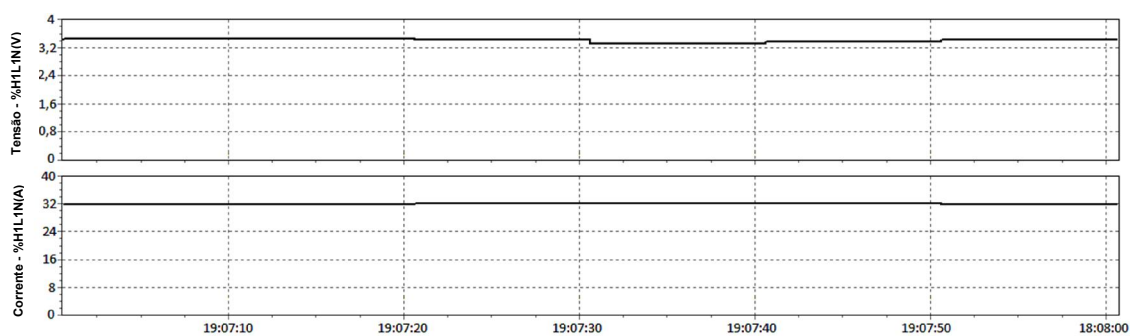


Figura 4.5. Gráfico da THD de tensão e corrente às 19h07min.

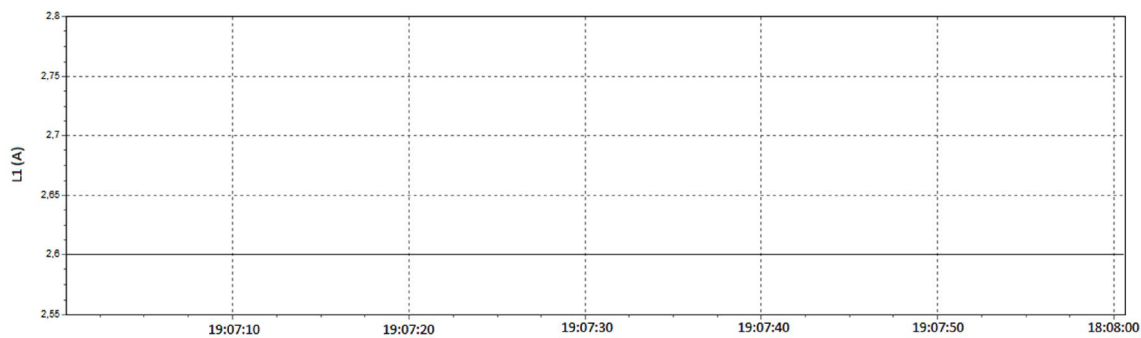


Figura 4.6. Gráfico da corrente às 19h07min.

A partir da análise da Figura 4.4 percebe-se que houve um aumento na distorção harmônica, pois o gráfico da corrente (cor cinza) apresentou uma maior distorção em relação à medição realizada no período da manhã. Uma explicação

para esse fenômeno é que a residência passou a utilizar as lâmpadas fluorescentes compactas, pois já era período noturno. Esta análise pode ser comprovada numericamente através da análise da Tabela 4.1, onde a THD atingiu 32,19%, apresentando um aumento substancial em relação à medição anterior, que apresentou uma THD de 20,56%.

Tabela 4.1. Valores das harmônicas de corrente às 7h58min e às 19h07min.

Harmônicos de corrente		
Harmônicos De corrente	7h58min	19h07min
	I = 1,4 A	I = 2,6 A
	THD% f = 20,56	THD% f = 32,19
3 ^a	16,27	28,41
5 ^a	10,05	7,82
7 ^a	2,85	6,49
9 ^a	2,7	6,9
11 ^a	2,48	5,0
13 ^a	2,72	5,22
15 ^a	2,65	3,58
17 ^a	1,84	2,05
19 ^a	0,46	0,13
21 ^a	1,13	0,84
23 ^a	0,59	0,38
25 ^a	0,7	0,77
27 ^a	0,44	0,59
29 ^a	0,56	0,46
31 ^a	0,53	0,19
33 ^a	0	0
35 ^a	0	0
37 ^a	0	0
39 ^a	0	0

Na Tabela 4.1 podem ser encontrados os valores para as componentes harmônicas para cada frequência, onde pode ser observada que após a 33ª ordem as harmônicas têm valor nulo e a maior incidência se concentra nas harmônicas ímpares de 3ª e 5ª ordem no período da manhã e de 3ª à 15ª ordem a noite.

Na primeira medição foi encontrada uma THD de corrente menor, ou seja, na ordem de 20,46%. Vale salientar que a residência possui uma geladeira tipo simples de uma porta que estava em funcionamento.

No período da noite, a THD de corrente encontrada foi de 32,19%, isto se explica pela presença de cargas não lineares existentes com a utilização de lâmpadas fluorescentes compacta, conjuntamente com a utilização do televisor modelo antigo tipo tubo de imagem e ainda o uso da geladeira.

4.3 RESIDÊNCIA 2 - CONSUMO MÉDIO

A segunda medição instantânea foi realizada em uma residência com consumo mensal médio, grandeza de consumo aproximado de 243 kWh/mês. O imóvel possui área aproximada de 60m². A carga nesta residência é composta por eletrodomésticos e eletroeletrônicos. As principais cargas lineares e não lineares, encontradas nesta residência, são:

Cargas Lineares:

- 01 Ferro de passar roupas;
- 01 Chuveiro elétrico;
- 01 Liquidificador.
- 01 Cafeteira
- 01 Lavadora de roupas

Cargas Não Lineares:

- 01 Televisor TRC de 14";
- 01 Geladeira com 1 porta.

- 01 Computador tipo PC;
- 12 Lâmpadas fluorescentes compactas.
- 02 Carregadores de celular
- 01 Aparelho de som.
- 01 aparelho de DVD.

Na Figura 4.7 são apresentadas as formas de onda instantâneas de tensão e corrente no horário de 08h57min. A partir da análise do gráfico da corrente (cor cinza) percebe-se a presença de harmônicas devido à distorção apresentada na forma de onda da corrente da medição. A Figura 4.8 mostra o gráfico das THD de tensão e de corrente. A THD de corrente total encontrada foi de 43,02%. Os harmônicos presentes são principalmente as de número ímpar, apresentando maior amplitude as de 3ª, 5ª, 7ª e 9ª ordem.

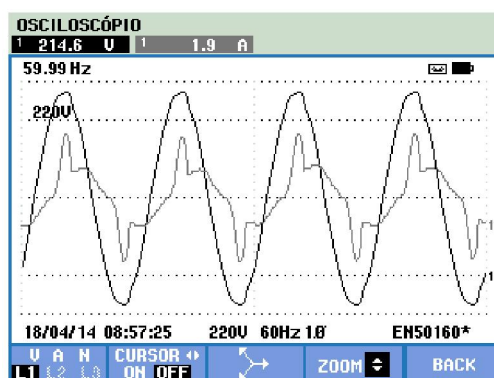


Figura 4.7. Formas de onda de tensão e corrente às 08h57min.

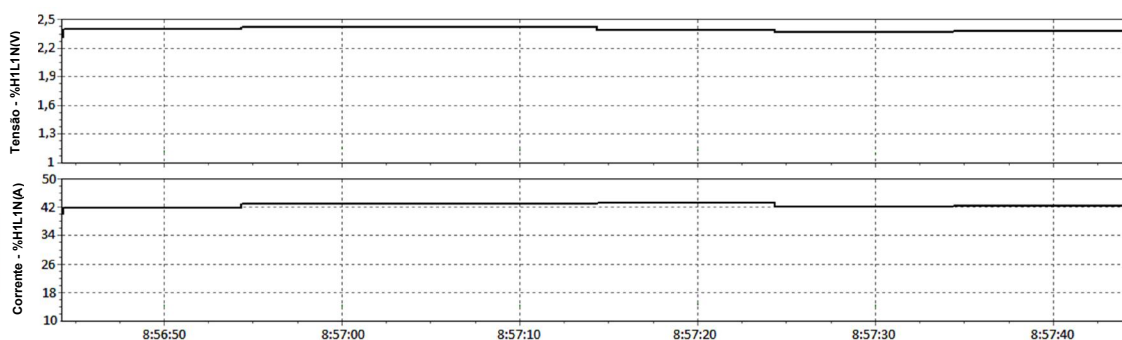


Figura 4.8. Gráfico da THD de tensão e corrente às 8h57min.

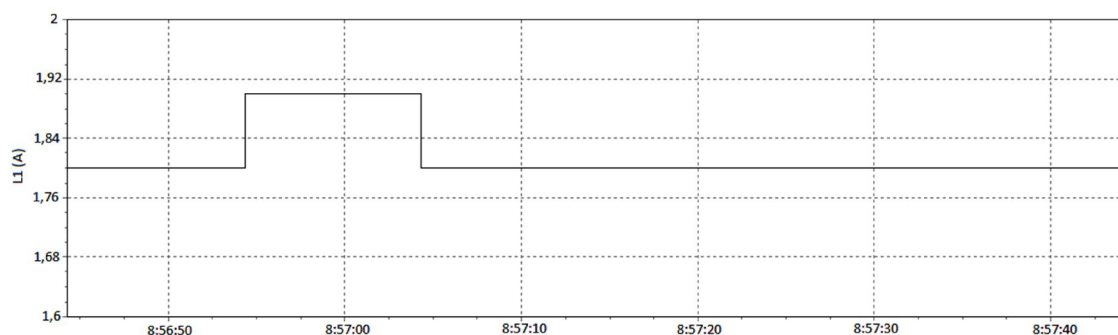


Figura 4.9. Gráfico da corrente às 8h57min.

Para esta mesma residência foi realizada outra medição no mesmo dia, durante a parte da noite, às 18h11min. Na Figura 4.10 é apresentada a forma de onda instantânea da corrente para este horário.

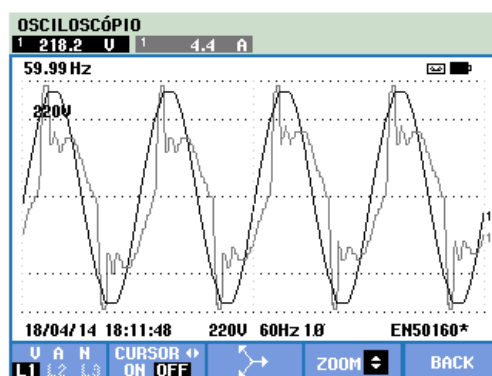


Figura 4.10. Formas de onda de tensão e corrente às 18h11min.

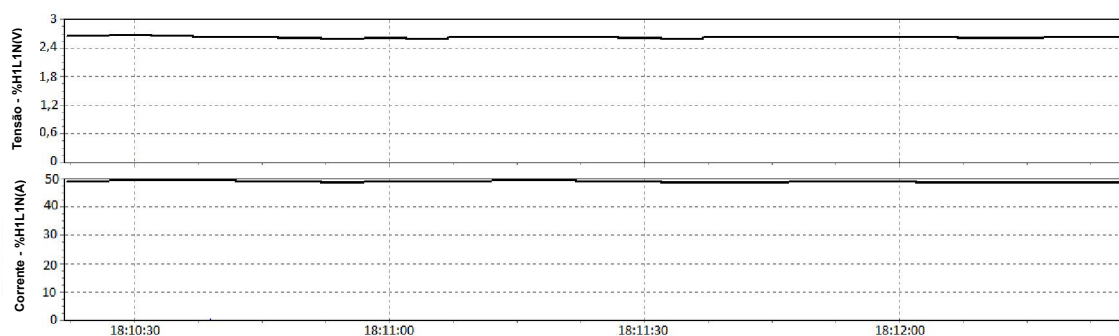


Figura 4.11. Gráfico da THD de tensão e corrente às 18h11min.

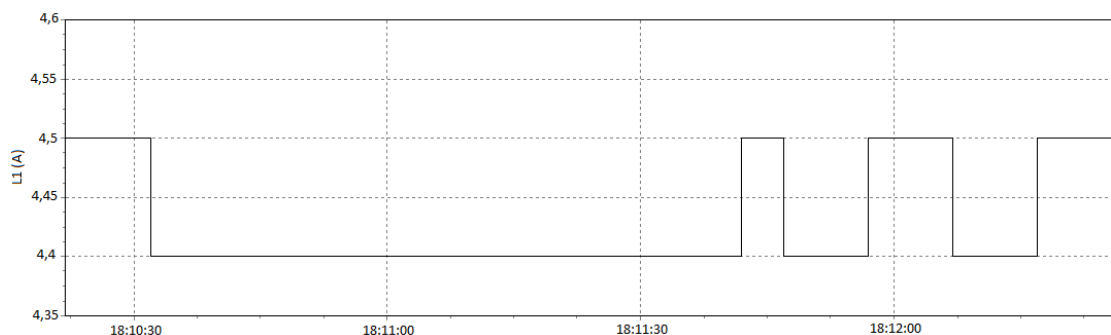


Figura 4.12. Gráfico da corrente às 18h11min.

A partir da análise da Figura 4.10 percebe-se que houve um aumento na distorção harmônica, pois o gráfico da corrente (cor cinza) apresentou uma maior distorção em relação à medição realizada pela manhã. Uma explicação para esse fenômeno é que a residência passou a utilizar as lâmpadas fluorescentes compactas. Esta análise pode ser comprovada numericamente através da análise da Tabela 4.2, onde a THD atingiu 48,78%, apresentando um aumento em relação à medição anterior, que apresentou uma THD de aproximadamente 40%.

Tabela 4.2. Valores das harmônicas de corrente às 8h57min e às 18h11min.

Harmônicos de corrente		
Harmônicos De corrente	8h57min	18h11min
	I = 1,9 A	I = 4,4 A
	THD% f = 43,02	THD% f = 48,78
3 ^a	29,36	38,38
5 ^a	26,05	16,09
7 ^a	14,39	12,21
9 ^a	7,78	16,69
11 ^a	3,53	12,53
13 ^a	2,65	5,87
15 ^a	2,49	3,29
17 ^a	2,17	2,66
19 ^a	1,65	1,39
21 ^a	1,22	1,27

23 ^a	0,92	0,87
25 ^a	0,96	0,33
27 ^a	0,92	0,8
29 ^a	0,6	0,84
31 ^a	0,38	0,43
33 ^a	0	0
35 ^a	0	0
37 ^a	0	0
39 ^a	0	0

Na Tabela 4.2 podem ser encontrados os valores para as componentes harmônicas para cada frequência, onde pode ser observada que após a 33^a ordem as harmônicas têm valor nulo e a maior incidência se concentra nas harmônicas de 3^a, 5^a e 7^a ordem no período da manhã e da 3^a à 11^a a noite.

Na medição realizada no período da manhã a THD encontrada foi menor que a do período da noite, com uma THD de corrente de 43,02%, isto se justifica pelo habito dos moradores da residência que estavam com o televisor ligado pela manhã, juntamente com a presença de outras cargas não lineares.

Na medição realizada a noite, a THD de corrente sofreu um acréscimo em relação a medição da manhã, sendo registrado o valor de 48,78%, isto se justifica devido ao implemento de outras cargas não lineares, como por exemplo a iluminação através de lâmpadas fluorescente compactas.

4.4 RESIDÊNCIA 3 - CONSUMO ALTO

A terceira medição instantânea realizada foi em uma residência com consumo mensal alto, grandeza de consumo aproximado de 540 kWh/mês. Este imóvel é um apartamento com área aproximada de 155m². A carga nesta residência

é composta por eletrodomésticos e eletroeletrônicos. As principais cargas lineares e não lineares encontradas, são:

Cargas Lineares:

- 01 Ferro de passar roupas.
- 01 Grill Elétrico.
- 01 Secador de Cabelos.
- 02 Chuveiros Elétrico.
- 01 Liquidificador.
- 01 Multiprocessador de alimentos.
- 01 Máquina de lavar de roupas comum.

Cargas Não Lineares:

- 02 Condicionadores de ar Split 9000 BTUS.
- 03 Televisores com tela de LCD de 32".
- 01 Geladeira com duas portas.
- 01 Aparelho de som.
- 16 Lâmpadas fluorescentes compactas.
- 02 Carregadores de celular.
- 02 Notebooks.
- 01 receptor de TV a cabo.
- 01 radio relógio.

Na Figura 4.13 são apresentadas as formas de onda instantânea de tensão e de corrente no horário de 09h04min. A partir da análise do gráfico da corrente (cor cinza) percebe-se a presença de harmônicas devido à distorção apresentada na forma de onda da corrente. A Figura 4.14 mostra a distribuição das harmônicas de corrente. A THD total encontrada foi de 16,2%. As harmônicas presentes são principalmente os de número ímpar, apresentando maior amplitude as de 3^a, 5^a, 7^a e 9^a ordem.

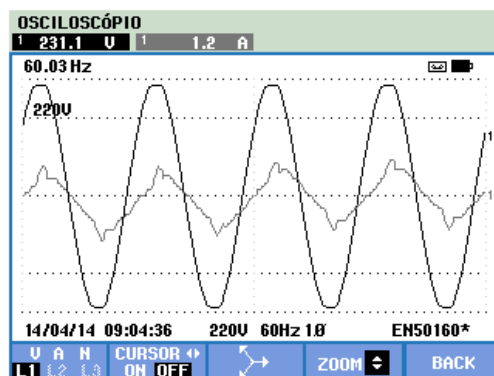


Figura 4.13. Formas de onda de tensão e corrente às 09h04min.

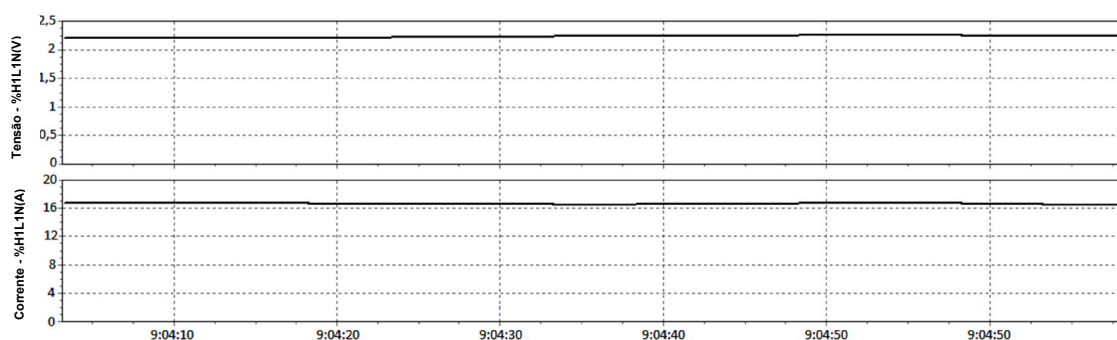


Figura 4.14. Gráfico da THD de tensão e corrente às 9h04min.

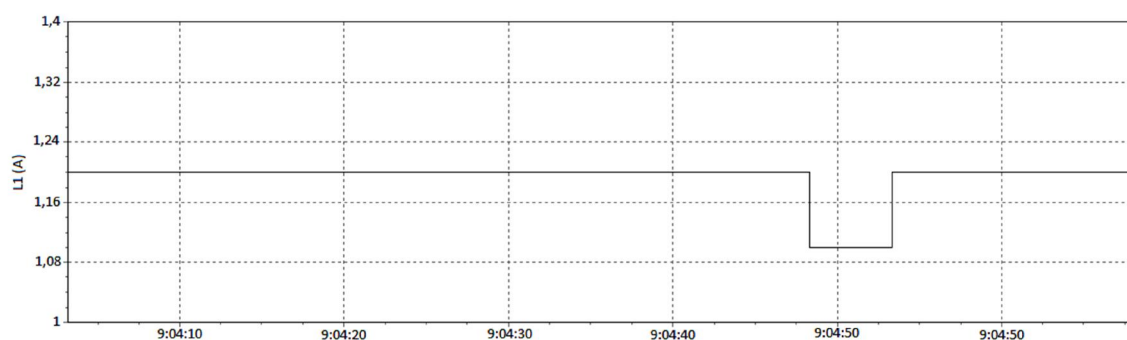


Figura 4.15. Gráfico da corrente às 9h04min.

Para esta mesma residência foi realizada outra medição no mesmo dia, durante a parte da noite, às 18h09min. Na Figura 4.16 é apresentada a forma de onda instantânea de corrente para este horário.

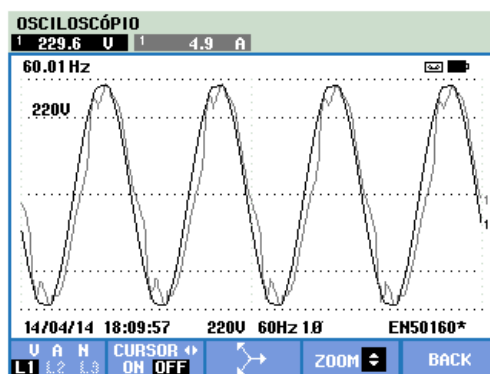


Figura 4.16. Formas de onda de tensão e corrente às 18h09min.

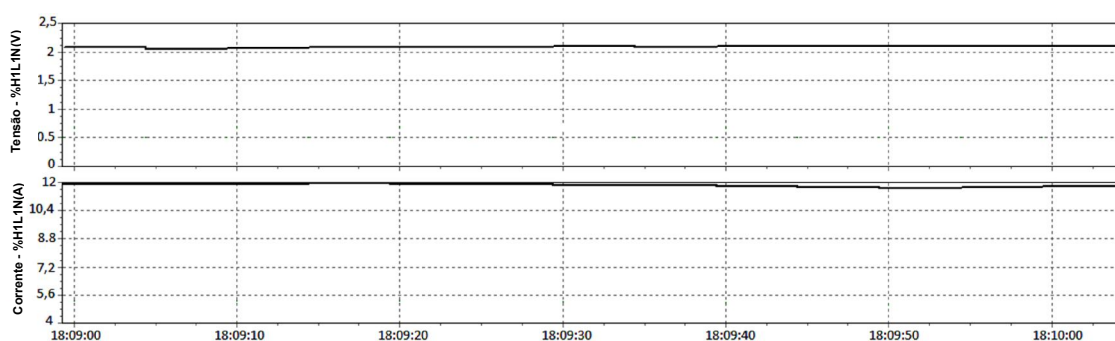


Figura 4.17. Gráfico da THD de tensão e corrente às 18h09min.

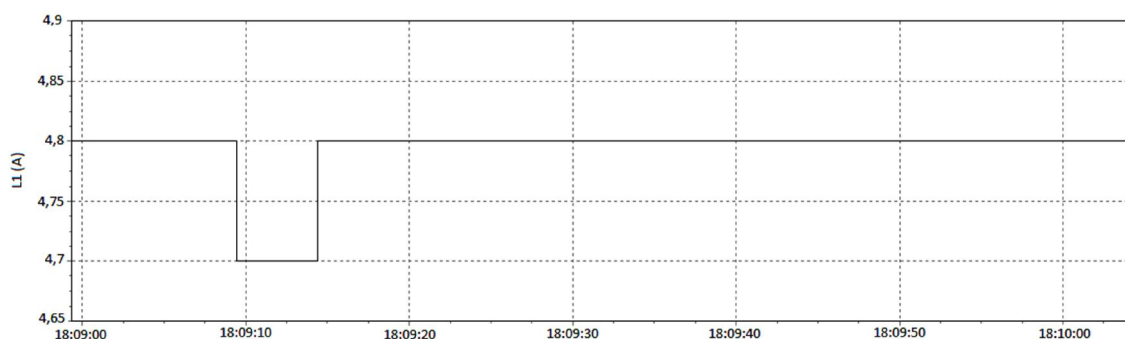


Figura 4.18. Gráfico da corrente às 18h09min.

A partir da análise da Figura 4.16 percebe-se que houve uma redução na distorção harmônica, pois o gráfico da corrente (cor cinza) apresentou uma menor distorção em relação à medição realizada pela manhã. Uma explicação para esse fenômeno é que houve a diminuição da utilização das cargas não lineares utilizadas na residência. Esta análise pode ser comprovada numericamente através da análise da Tabela 4.3, onde a THD apresentou um valor de 12,1%, apresentando uma

redução em relação à medição anterior, que apresentou uma THD de aproximadamente 16%.

Tabela 4.3. Valores das harmônicas de corrente às 9h04min e às 18h09min.

Harmônicos de corrente		
Harmônicos De corrente	9h04min	18h09min
	I = 1,2 A	I = 4,9 A
	THD% f = 16,21	THD% f = 12,10
3 ^a	9,28	2,42
5 ^a	8,03	6,53
7 ^a	6,37	5,06
9 ^a	5,55	5,02
11 ^a	3,02	2,38
13 ^a	1,36	0,97
15 ^a	0,82	0,94
17 ^a	2,29	0,34
19 ^a	1,16	0,72
21 ^a	0,83	0,67
23 ^a	0,41	0,48
25 ^a	0,25	0,7
27 ^a	0,69	0,32
29 ^a	0,67	0,17
31 ^a	0,63	0,43
33 ^a	0	0
35 ^a	0	0

Na tabela 4.3, estão os valores dos componentes harmônicos de corrente encontrados nas medições realizadas nos dois períodos nesta residência. Na primeira medição no horário da manhã o valor da THD% de corrente foi maior que o verificado na segunda medição, isto ocorreu devido a uma menor utilização nesta residência de cargas não lineares e um aumento da utilização de cargas lineares.

4.5 CONCLUSÃO

Verificando os dados obtidos nestas medições instantâneas, observa-se que as mesmas mostram que independentemente do nível de consumo de cada uma, seja ele baixo, médio ou alto, todas possuem equipamentos eletrodomésticos e eletroeletrônicos que produzem harmônicos de corrente. A diferenciação entre ambas é na quantidade de equipamentos que cada uma possui.

A medição instantânea se mostrou válida para obtenção de dados de forma mais simples, pois se conseguiu realizar a aquisição das grandezas necessárias para formulação de uma compreensão dos níveis destes harmônicos, mostrando ser uma ferramenta positiva para realização de estudos.

Nos três níveis de consumo medidos, foi verificado a presença de baixos e altos THD% de corrente, devido a utilização de cargas não lineares. Observou-se que em todos os três tipos de residências, os harmônicos de corrente se concentraram mais fortemente nas 3ª e 5ª ordem, de forma média nas de 7ª, 9ª e 11ª ordem e com valores baixos da 13ª ordem em diante, sendo de valor zero a partir da 33ª ordem.

Os resultados obtidos nestas três residências, estão de acordo com o esperado, sendo o perfil do consumo residencial no período da noite de uma maneira geral maior que durante o dia, salvo o perfil individualizado de cada consumidor.

CAPÍTULO 5

MEDIÇÕES EM CARGAS RESIDENCIAIS - MEDIÇÃO AO LONGO DE 5 DIAS

5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir das medições realizadas ao longo de 5 dias em imóveis residenciais da cidade de João Pessoa na quantidade de três residências, uma em cada grupo de consumo (baixo, médio e alto consumo de energia mensal).

A residência de baixo consumo está localizada no Conjunto Gervásio Maia. A moradia de médio consumo localiza-se no bairro dos Ipês e a de consumo mensal alto está situada no bairro da Torre.

Nestas residências foram realizadas as medições com longa duração, ou seja 24 horas por dia durante 5 dias e são apresentadas as figuras com as potências ativa (kW), potência reativa (kvar) e aparente (kVA), fator de potência (PF), fator de potência de deslocamento (DPF) e conteúdos harmônicos de corrente.

5.2 RESIDÊNCIA 4 - CONSUMO BAIXO

Esta medição foi realizada por um período de 5 dias em uma residência com consumo mensal baixo, média de 190 kWh/mês. O imóvel possui área aproximada de 80m². As principais cargas nesta residência são:

Cargas Lineares:

- 01 Ventilador 30 cm.
- 01 Ventilador 40 cm.
- 01 Ferro de passar roupas.
- 01 Liquidificador.
- 01 Grill elétrico tipo sanduicheira.

Cargas Não Lineares:

- 01 Aparelho de DVD.
- 01 Aparelho de som.
- 01 Televisor TRC de 21".
- 01 Televisor com tela de LED de 32".
- 12 Lâmpadas fluorescentes compactas.
- 01 Notebook.
- 01 Geladeira com duas portas.
- 02 Carregadores de celular.

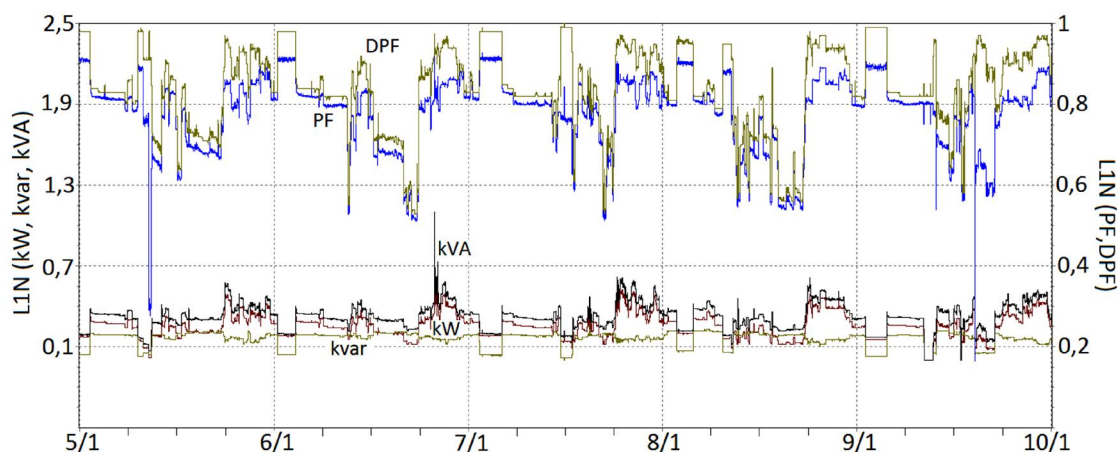


Figura 5.1. Gráfico da medição de 5 dias da potência ativa, reativa, aparente, PF, DPF da residência 4

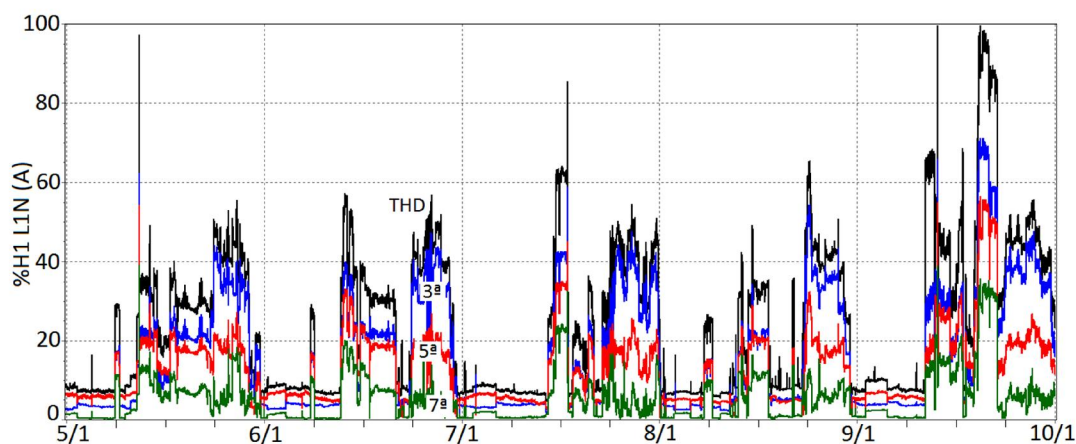


Figura 5.2. Gráfico da medição de 5 dias, %H1L1N(A)-THD-3ªH-5ªH-7ªH da residência 4.

Na análise da figura 5.1, com relação a potência reativa verifica-se que quando há sua diminuição o fator de potência e o DPF aumentam, e com relação a potência ativa, quando ocorre uma brusca diminuição há um grande decréscimo no fator de potência.

Na Figura 5.2 são apresentados os registros das medições de correntes harmônicas durante um período de 5 dias consecutivos. Os gráficos são apresentados para todo período e mostram as curvas de THD, 3ª, 5ª e 7ª harmônicos de corrente.

A partir da figura de 5.3 até 5.37, são mostradas os gráficos com as curvas de harmônicos de corrente diária da 9ª, 11ª e 13ª ordem. Observa-se apenas um

pico da 13ª harmônica próximo a 12% em um único dia. No restante do período de medição, a partir da 13ª harmônica, as correntes harmônicas registradas pelo equipamento de medição estavam abaixo de 10%.

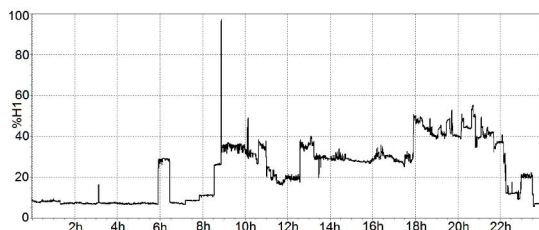


Figura 5.3 - %H1 L1N(A) x horas- THD(A)-dia 05

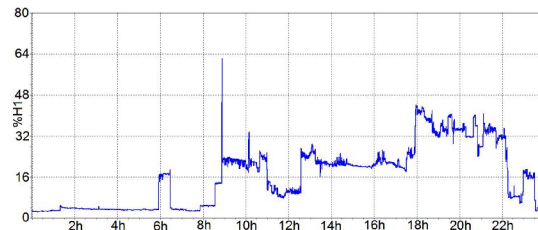


Figura 5.4 - %H1 L1N(A) x horas- 3ªH (A)-dia 05

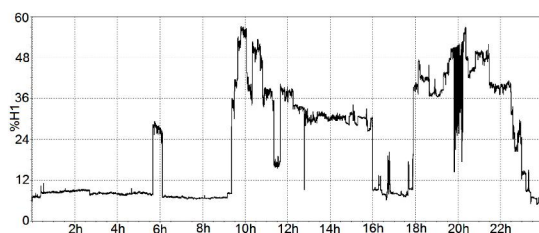


Figura 5.5 - %H1 L1N(A) x horas- THD(A)-dia 06

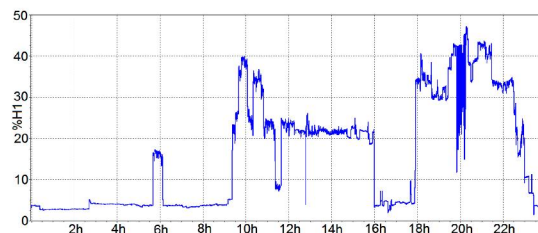


Figura 5.6 - %H1 L1N(A) x horas- 3ªH (A)-dia 06

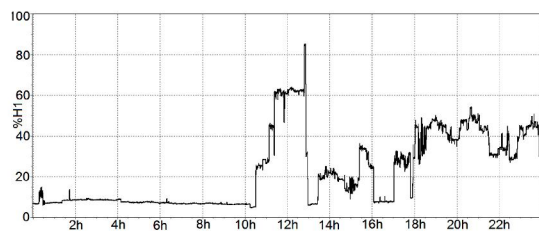


Figura 5.7 - %H1 L1N(A) x horas- THD(A)-dia 07

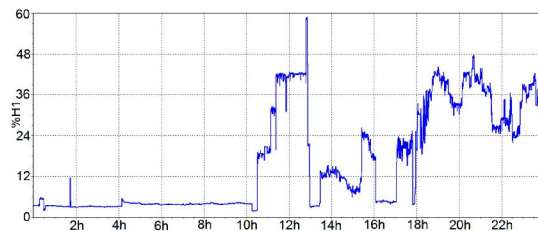


Figura 5.8 - %H1 L1N(A) x horas- 3ªH (A)-dia 07

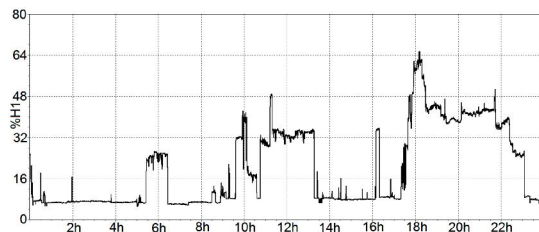


Figura 5.9 - %H1 L1N(A) x horas- THD(A)-dia 08

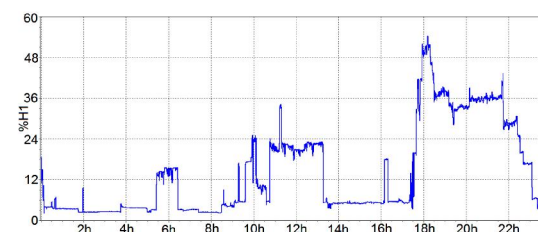


Figura 5.10 - %H1 L1N(A) x horas- 3ªH (A)-dia 08

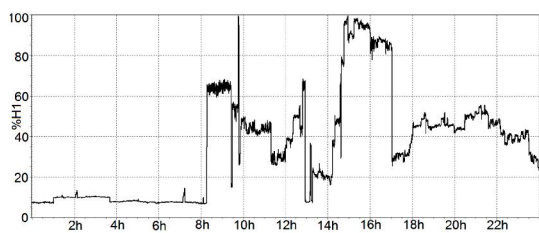


Figura 5.11 - %H1 L1N(A) x horas- THD(A)-dia 09

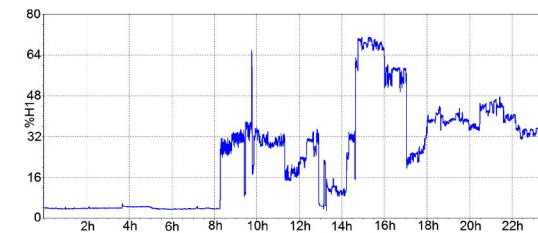


Figura 5.12 - %H1 L1N(A) x horas- 3ªH (A)-dia 09

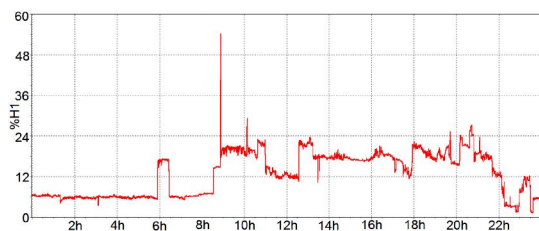


Figura 5.13 - %H1 L1N(A) x horas- 5ªH (A)-dia 05

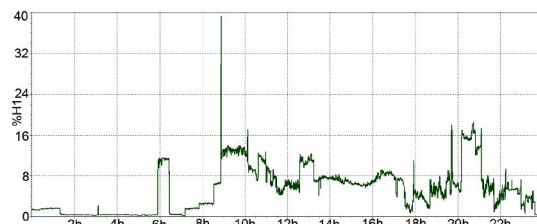


Figura 5.14 - %H1 L1N(A) x horas- 7ªH (A)-dia 05

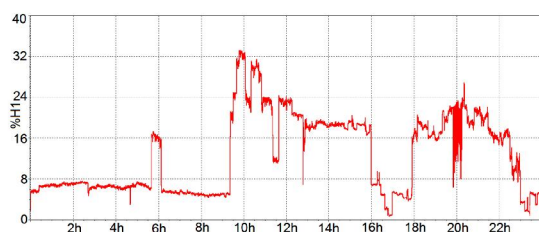


Figura 5.15 - %H1 L1N(A) x horas- 5ªH (A)-dia 06

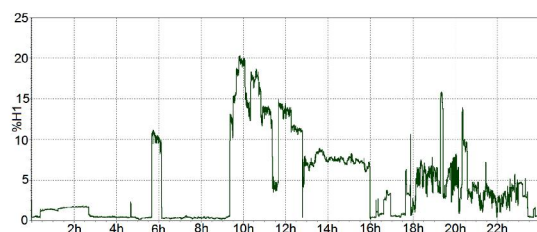


Figura 5.16 - %H1 L1N(A) x horas- 7ªH (A)-dia 06

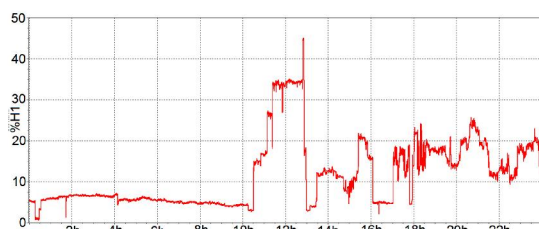


Figura 5.17 - %H1 L1N(A) x horas- 5ªH (A)-dia 07



Figura 5.18 - %H1 L1N(A) x horas- 7ªH (A)-dia 07

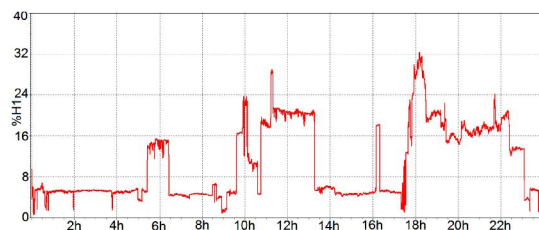


Figura 5.19 - %H1 L1N(A) x horas- 5ªH (A)-dia 08

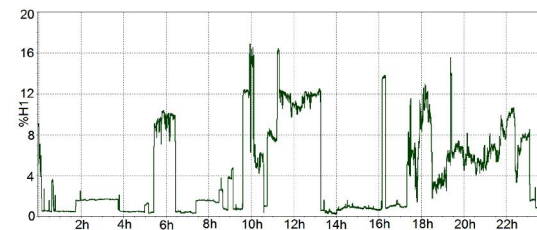


Figura 5.20 - %H1 L1N(A) x horas- 7ªH (A)-dia 08

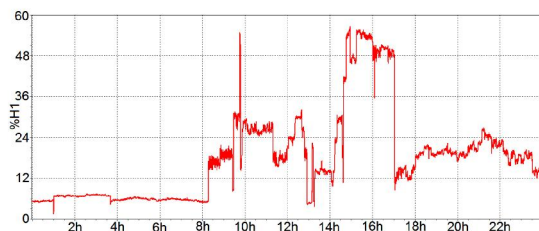


Figura 5.21 - %H1 L1N(A) x horas- 5ªH (A)-dia 09

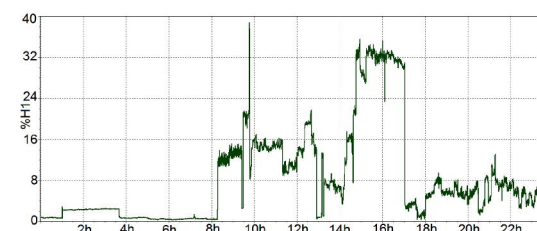


Figura 5.22 - %H1 L1N(A) x horas- 7ªH (A)-dia 09

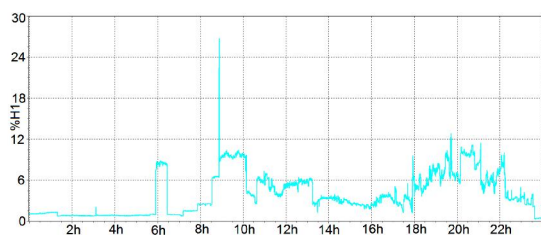


Figura 5.23 - %H1 L1N(A) x horas- 9ªH (A)-dia 05

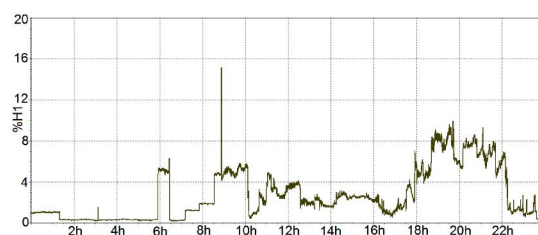


Figura 5.24 - %H1 L1N(A) x horas- 11ªH (A)-dia 05

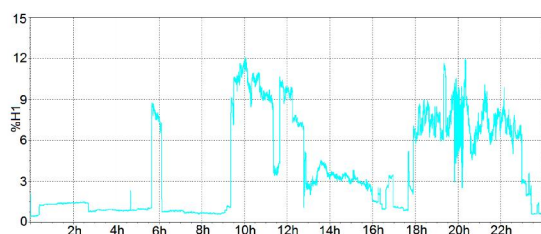


Figura 5.25 - %H1 L1N(A) x horas- 9ªH (A)-dia 06

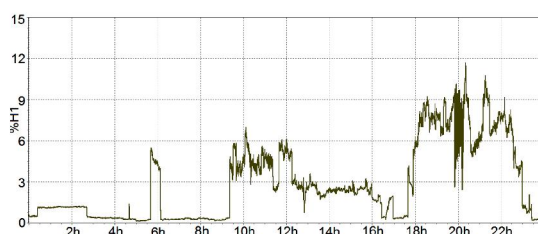


Figura 5.26 - %H1 L1N(A) x horas- 11ªH (A)-dia 06

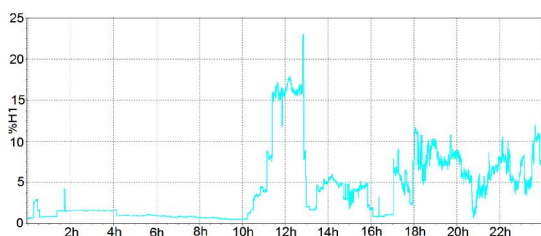


Figura 5.27 - %H1 L1N(A) x horas- 9ªH (A)-dia 07

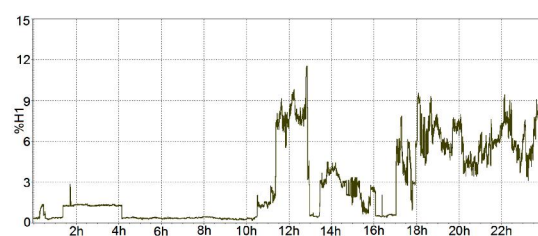


Figura 5.28 - %H1 L1N(A) x horas- 11ªH (A)-dia 07

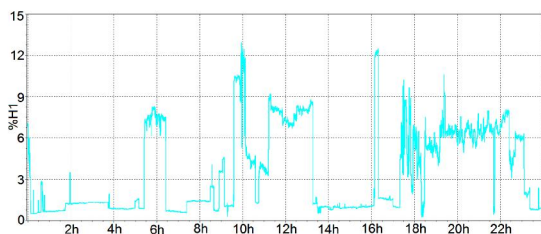


Figura 5.29 - %H1 L1N(A) x horas- 9ªH (A)-dia 08

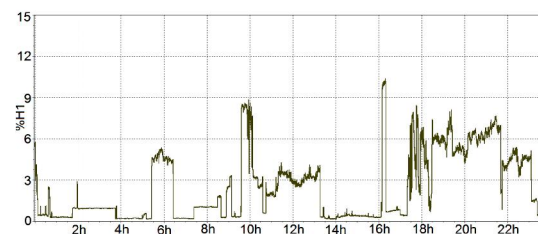


Figura 5.30 - %H1 L1N(A) x horas- 11ªH (A)-dia 08

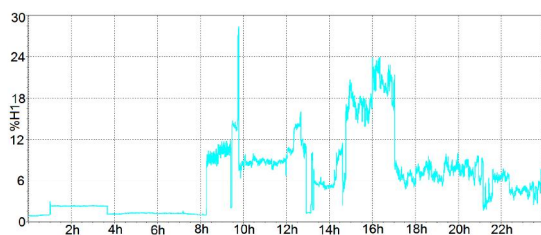


Figura 5.31 - %H1 L1N(A) x horas- 9ªH (A)-dia 09

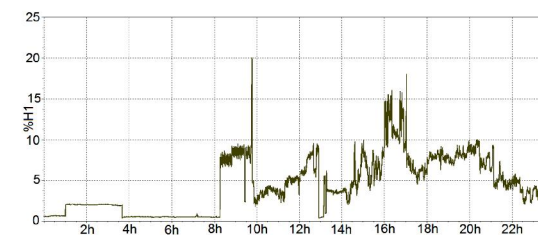


Figura 5.32 - %H1 L1N(A) x horas- 11ªH (A)-dia 09

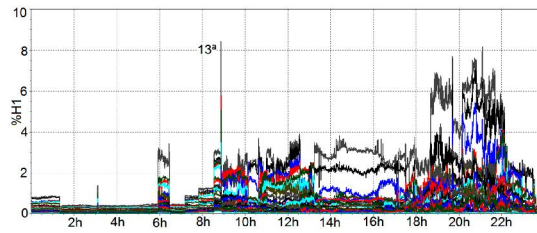


Figura 5.33 - %H1 L1N(A) x horas- 13ªH (A)-dia 05

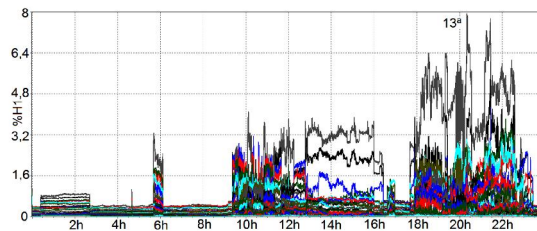


Figura 5.34 - %H1 L1N(A) x horas- 13ªH (A)-dia 06

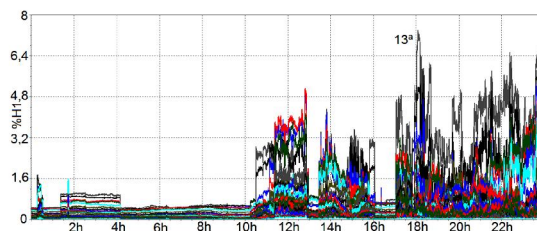


Figura 5.35 - %H1 L1N(A) x horas- 13ªH (A)-dia 07

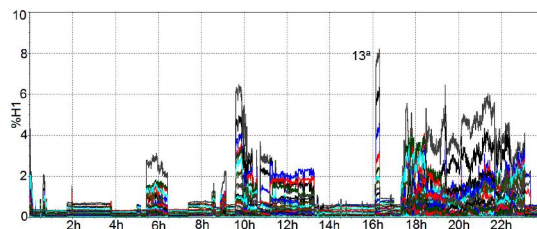


Figura 5.36 - %H1 L1N(A) x horas- 13ªH (A)-dia 08

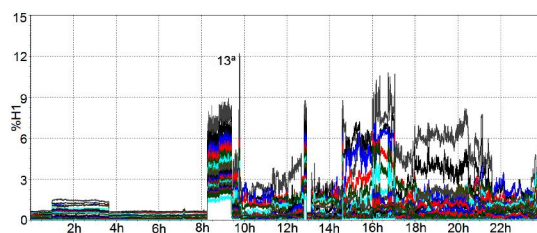


Figura 5.37 - %H1 L1N(A) x horas- 13ªH (A)-dia 09

5.2.1 CONCLUSÃO

Analisando os gráficos apresentados da Figura 5.3 até a Figura 5.37 percebe-se que nesta residência existe uma predominância nas harmônicas de corrente de 3ª e 5ª ordem, com seus valores variando entre 20 e 30% nos períodos onde a THD apresentou valores mais elevados. Os harmônicos de 7ª ordem também apresentaram valores significativos, tendo sua variação entre 10 e 15% da THD. As harmônicas de 9ª e 11ª ordem apresentaram sua variação na faixa de 5 a 10%. A harmônica de 13ª ordem apresenta valores bem mais baixos se comparados aos citados anteriormente.

As ocorrências registradas de maior intensidade situam-se entre os períodos das 10h às 12h e entre 17h e 22h. Para o período noturno, a utilização de iluminação realizada por lâmpadas fluorescentes compactas, bem como o uso de aparelhos eletrônicos contribuem para a elevação da THD. No período da manhã também destaca-se o alto uso de cargas não lineares pelos consumidores desta unidade residencial.

5.3 RESIDÊNCIA 5 - CONSUMO MÉDIO

Esta medição foi realizada por um período de 5 dias em uma residência com consumo mensal médio, média de 475 kWh/mês. O imóvel possui área aproximada de 120m². As principais cargas nesta residência são:

Cargas Lineares:

- 01 Ferro de passar roupas.
- 01 Liquidificador.
- 01 Espremedor de frutas.
- 01 Forno elétrico 9 litros.
- 01 Sanduicheira.
- 04 Ventiladores de 30 cm.

Cargas Não Lineares:

- 01 Televisor com tela de LCD de 32".
- 01 Televisor TRC de 21".
- 01 Televisor TRC de 29".
- 01 Geladeira com duas portas.
- 09 Lâmpadas fluorescentes compactas.
- 01 Máquina de lavar louça.
- 01 Forno micro-ondas.
- 01 Gelagua.
- 01 Condicionador de ar de 7500 btus.
- 02 Freezers H50.
- 01 Máquina de Lavar roupas.
- 01 Notebook.
- 03 carregadores de celular.
- 01 Aparelho de som com MP3.
- 01 sintonizador de TV a cabo.

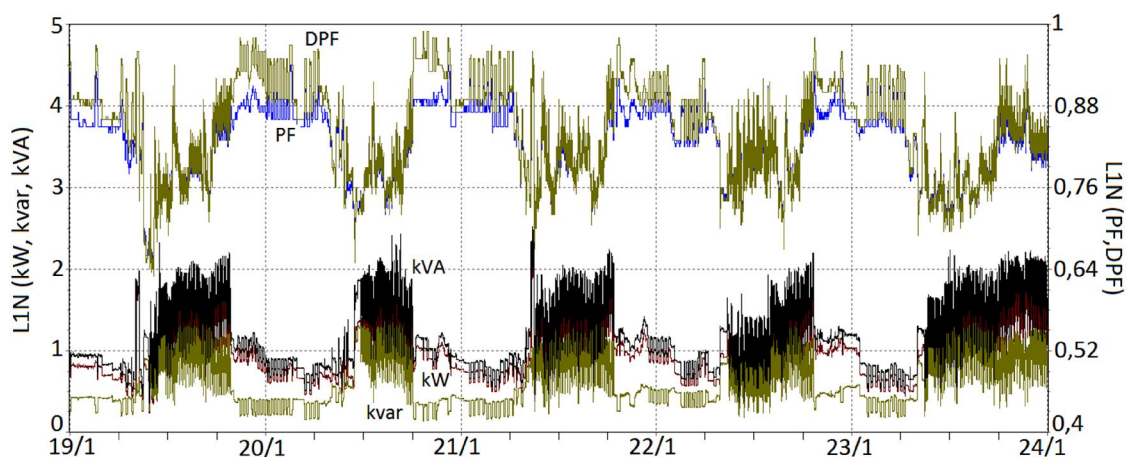


Figura 5.38. Gráfico da medição de 5 dias da potência ativa, reativa, aparente, PF, DPF da residência 5

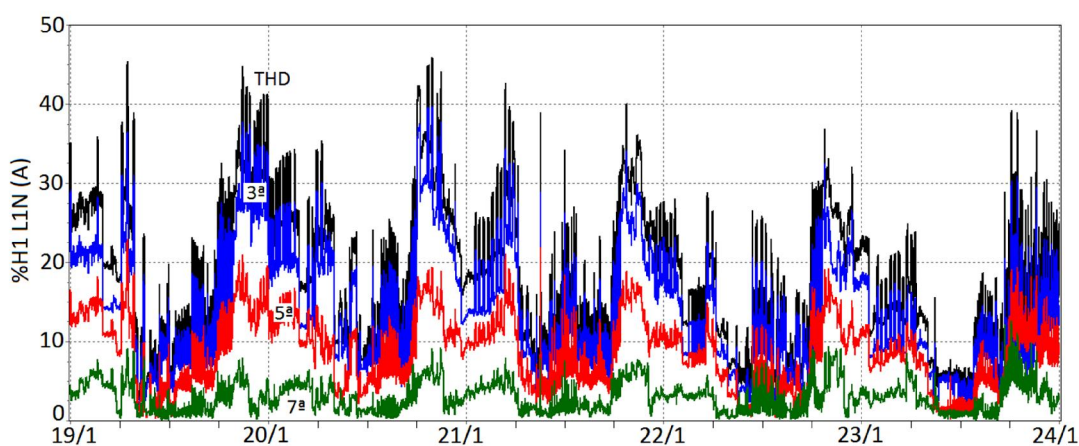


Figura 5.39. Gráfico da medição de 5 dias, %H1L1N(A)-THD-3ªH-5ªH-7ªH da residência 5.

A partir da Figura 5.39 até a Figura 5.74 são apresentados os registros das medições de correntes harmônicas durante um período de 5 dias consecutivos. Os gráficos são apresentados para um período de 24 horas e mostram as curvas de THD, 3ª, 5ª, 7ª, 9ª, 11ª e 13ª harmônicas de corrente.

A partir da 13ª harmônica observa-se que as correntes harmônicas registradas pelo equipamento de medição estavam abaixo de 10%.

Na figura 5.38 podemos verificar o comportamento do fator de potência (PF) e do fator de potência de deslocamento (DPF). Observando em sequência as figuras 5.38 e 5.39 simultaneamente, temos uma visão do comportamento das potências ativa, reativa e aparente em relação ao PF e DPF e os níveis da THD% de corrente conjuntamente com os harmônicos de 3ª, 5ª e 7ª ordem.

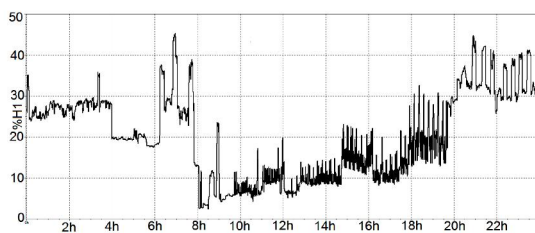


Figura 5.40- %H1 L1N(A) x horas- THD(A)-dia 19

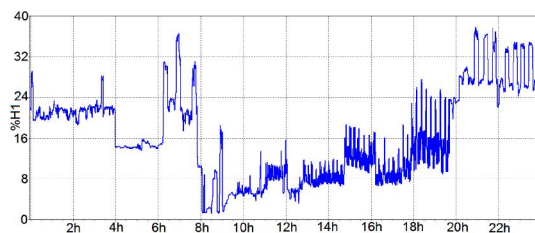


Figura 5.41 - %H1 L1N(A) x horas- 3ªH (A)-dia 19

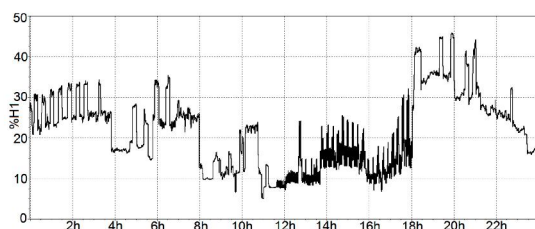


Figura 5.42- %H1 L1N(A) x horas- THD(A)-dia 20

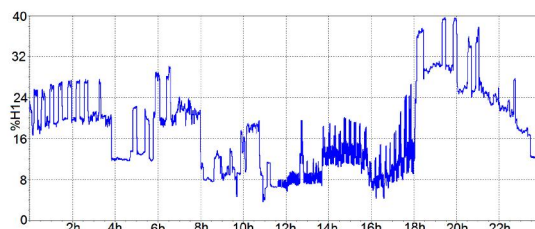


Figura 5.43 - %H1 L1N(A) x horas- 3ªH (A)-dia 20

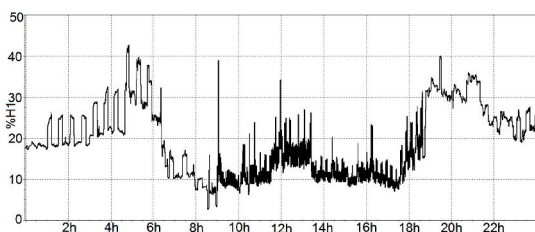


Figura 5.44 - %H1 L1N(A) x horas- THD(A)-dia 21

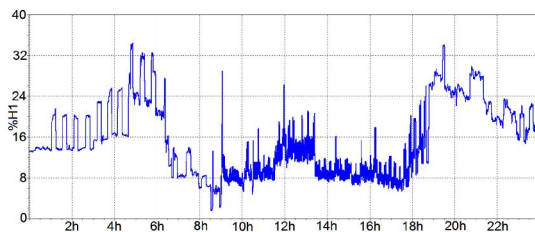


Figura 5.45 - %H1 L1N(A) x horas- 3ªH (A)-dia 21

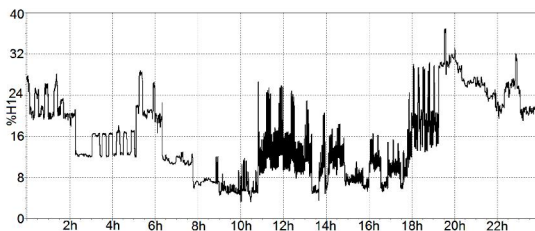


Figura 5.46 - %H1 L1N(A) x horas- THD(A)-dia 22

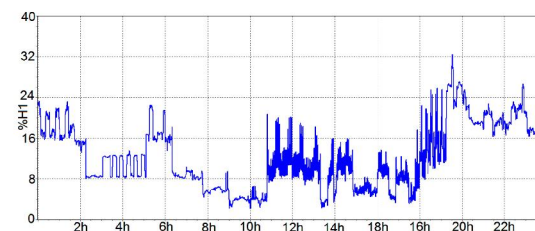


Figura 5.47 - %H1 L1N(A) x horas- 3ªH (A)-dia 22

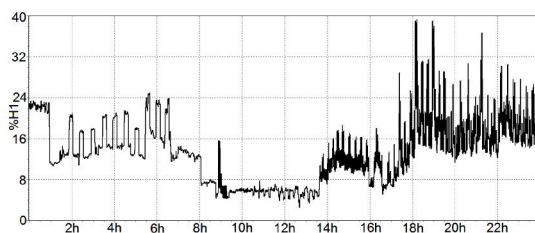


Figura 5.48 - %H1 L1N(A) x horas- THD(A)-dia 23

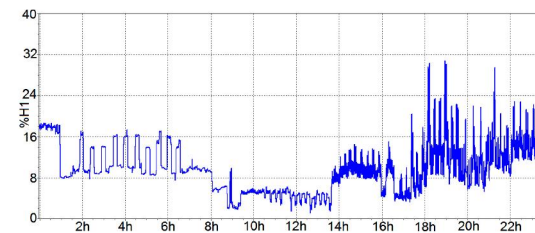


Figura 5.49 - %H1 L1N(A) x horas- 3ªH (A)-dia 23

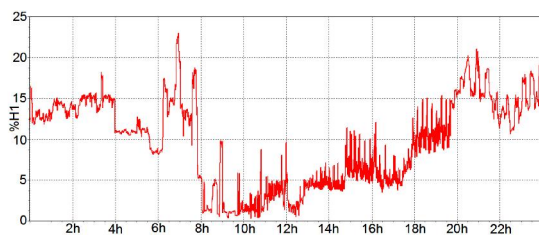


Figura 5.50 - %H1 L1N(A) x horas- 5ªH (A)-dia 19

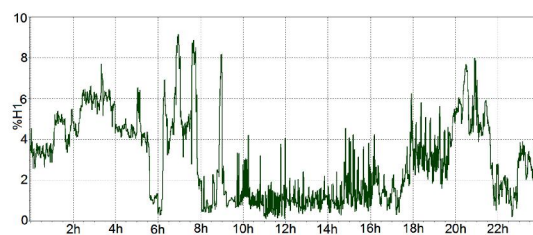


Figura 5.51 - %H1 L1N(A) x horas- 7ªH (A)-dia 19

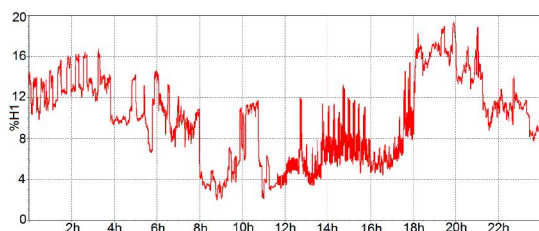


Figura 5.52 - %H1 L1N(A) x horas- 5ªH (A)-dia 20

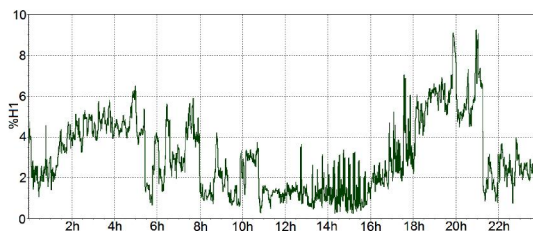


Figura 5.53 - %H1 L1N(A) x horas- 7ªH (A)-dia 20

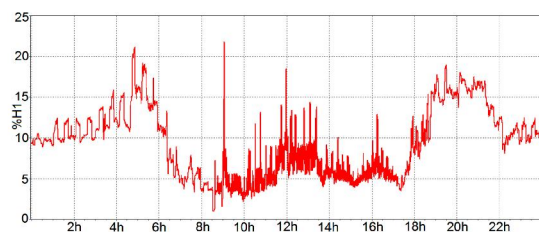


Figura 5.54 - %H1 L1N(A) x horas- 5ªH (A)-dia 21

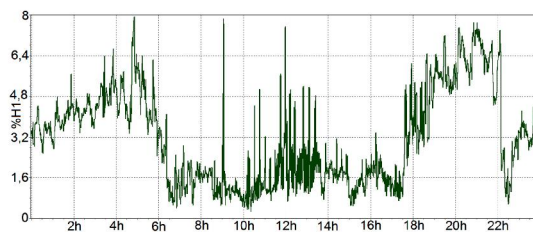


Figura 5.55 - %H1 L1N(A) x horas- 7ªH (A)-dia 21

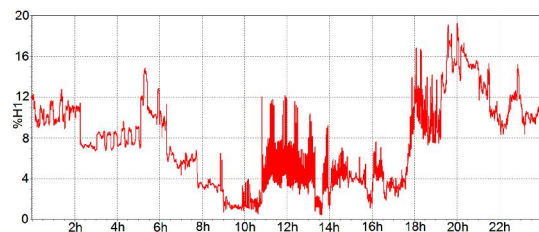


Figura 5.56 - %H1 L1N(A) x horas- 5ªH (A)-dia 22

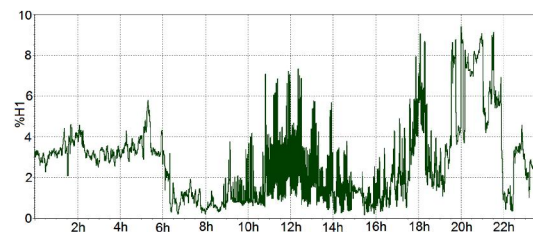


Figura 5.57 - %H1 L1N(A) x horas- 7ªH (A)-dia 22

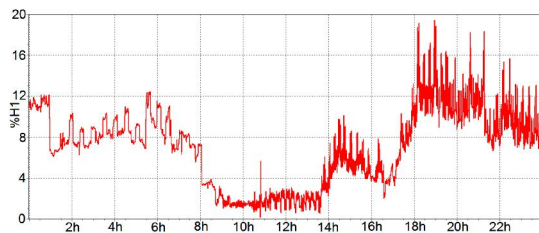


Figura 5.58 - %H1 L1N(A) x horas- 5ªH (A)-dia 23

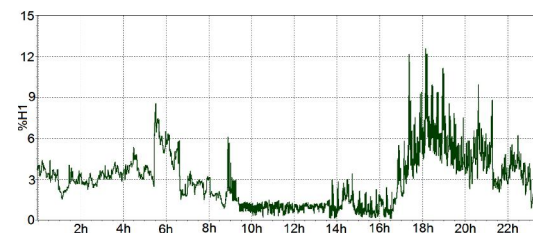


Figura 5.59 - %H1 L1N(A) x horas- 7ªH (A)-dia 23

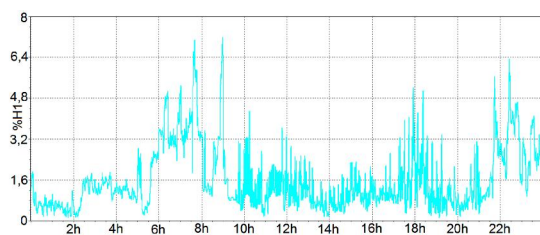


Figura 5.60 - %H1 L1N(A) x horas- 9ªH (A)-dia 19

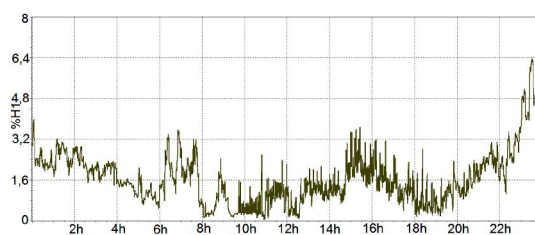


Figura 5.61 - %H1 L1N(A) x horas- 11ªH (A)-dia 19

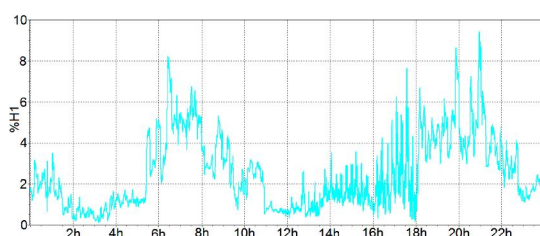


Figura 5.62 - %H1 L1N(A) x horas- 9ªH (A)-dia 20

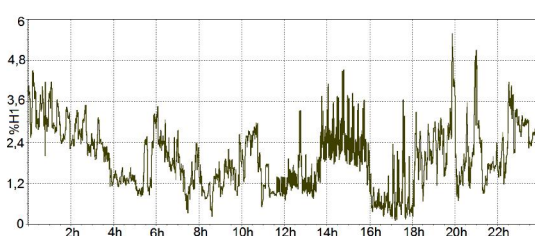


Figura 5.63 - %H1 L1N(A) x horas- 11ªH (A)-dia 20

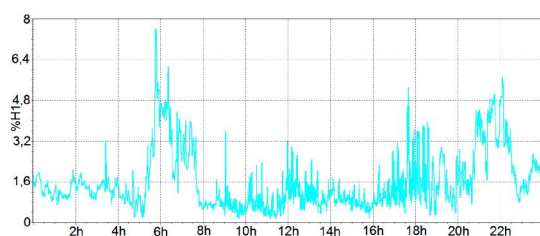


Figura 5.64 - %H1 L1N(A) x horas- 9ªH (A)-dia 21

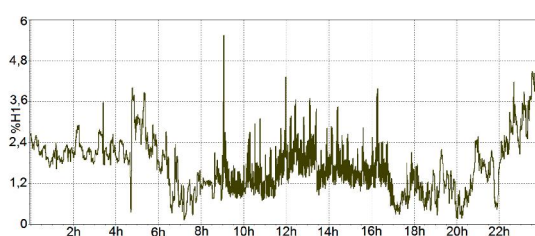


Figura 5.65 - %H1 L1N(A) x horas- 11ªH (A)-dia 21

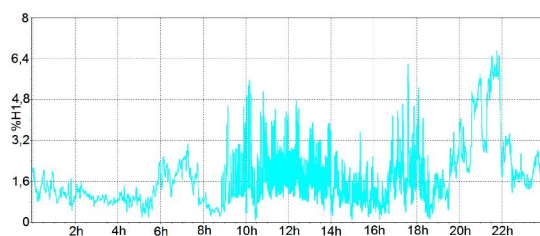


Figura 5.66 - %H1 L1N(A) x horas- 9ªH (A)-dia 22

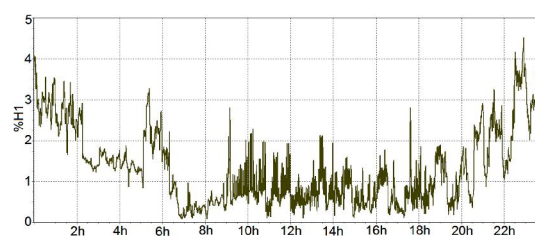


Figura 5.67 - %H1 L1N(A) x horas- 11ªH (A)-dia 22

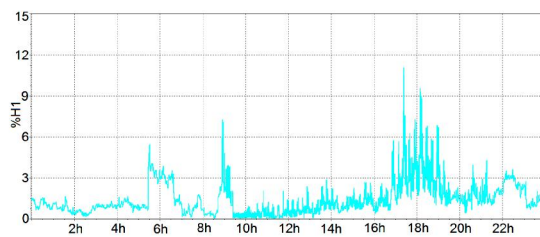


Figura 5.68 - %H1 L1N(A) x horas- 9ªH (A)-dia 23

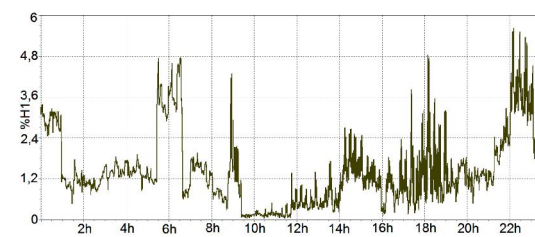


Figura 5.69 - %H1 L1N(A) x horas- 11ªH (A)-dia 23

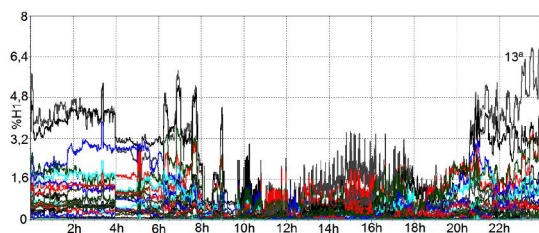


Figura 5.70 - %H1 L1N(A) x horas- 13ªH (A)-dia 19

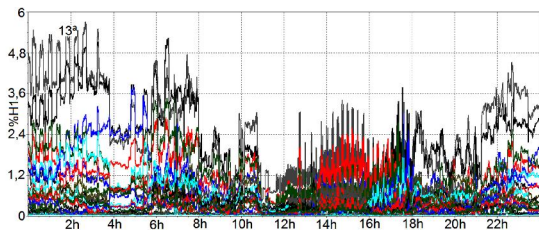


Figura 5.71 - %H1 L1N(A) x horas- 13ªH (A)-dia 20

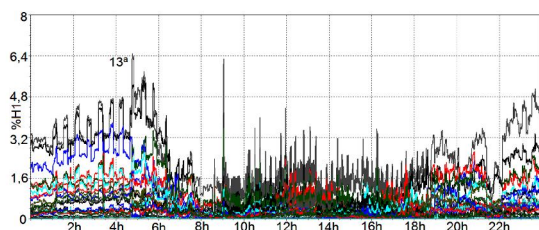


Figura 5.72 - %H1 L1N(A) x horas- 13ªH (A)-dia 21

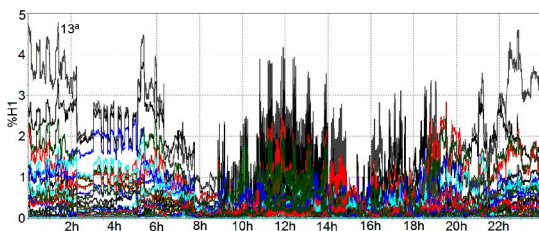


Figura 5.73 - %H1 L1N(A) x horas- 13ªH (A)-dia 22

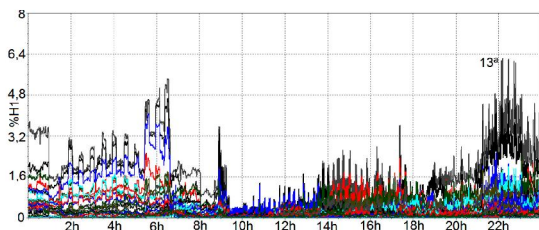


Figura 5.74 - %H1 L1N(A) x horas- 13ªH (A)-dia 23

5.3.1 CONCLUSÃO

Analizando os gráficos apresentados da Figura 5.40 até a Figura 5.74 percebe-se que nesta residência existe uma predominância nas harmônicas de 3ª e 5ª ordem, com seus valores variando entre 20 e 30% nos períodos onde a THD apresenta valores mais elevados. As harmônicas de 7ª ordem não apresentam valores significativos, sendo sua variação abaixo de 10% da THD, com um único registro próximo a 12% da THD. As harmônicas de 9ª e 11ª ordem apresentam sua variação na faixa de 5 a 10%. A harmônica de 13ª ordem apresenta valores mais baixos se comparados aos citados anteriormente, ficando numericamente abaixo de 5%.

As ocorrências registradas de maior intensidade situam-se entre os períodos de 0h às 6h e entre 18h e 22h. Para o período noturno, a utilização de iluminação realizada por lâmpadas fluorescentes compactas, bem como o uso de aparelhos eletrônicos contribuem para a elevação da THD. Na madrugada o valor elevado de THD explica-se pelo uso de condicionador de ar, que é uma carga não linear.

5.4 RESIDÊNCIA 6 - CONSUMO ALTO

Esta medição foi realizada por um período de 5 dias em uma residência com consumo mensal alto, média de 850 kWh/mês. O imóvel possui área aproximada de 180m². As principais cargas nesta residência são:

Cargas Lineares:

- 01 Ferro de passar roupas;
- 01 Grill elétrico;
- 01 Liquidificador.
- 01 Chuveiro elétrico.
- 01 Espremedor de laranja.
- 02 Ventiladores.
- 02 Secadoras de roupas
- 01 Multiprocessador de alimentos.

Cargas não lineares:

- 03 Condicionares de ar Split de 7000 Btu's.
- 02 Televisores tela de LCD de 40".
- 02 Televisores tela de LCD de 32".
- 01 Geladeira Duplex 440 Litros.
- 15 Lâmpadas fluorescentes compactas.
- 01 Portão com motor elétrico.
- 01 Forno de Microondas.
- 01 Máquina de lavar roupas.
- 01 Esteira elétrica com motor CC.
- 03 Computadores.
- 01 Cerca elétrica.
- 03 Aparelhos de TV a cabo.
- 01 Home theater.

- 01 Rádio relógio.
- 04 carregadores de celular.

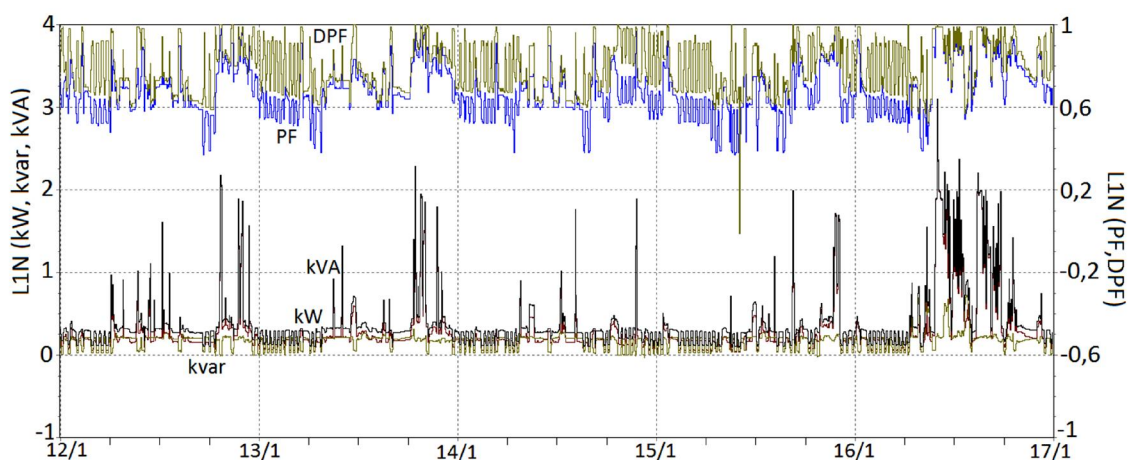


Figura 5.75. Gráfico da medição de 5 dias da potência ativa, reativa, aparente, PF, DPF da residência 6.

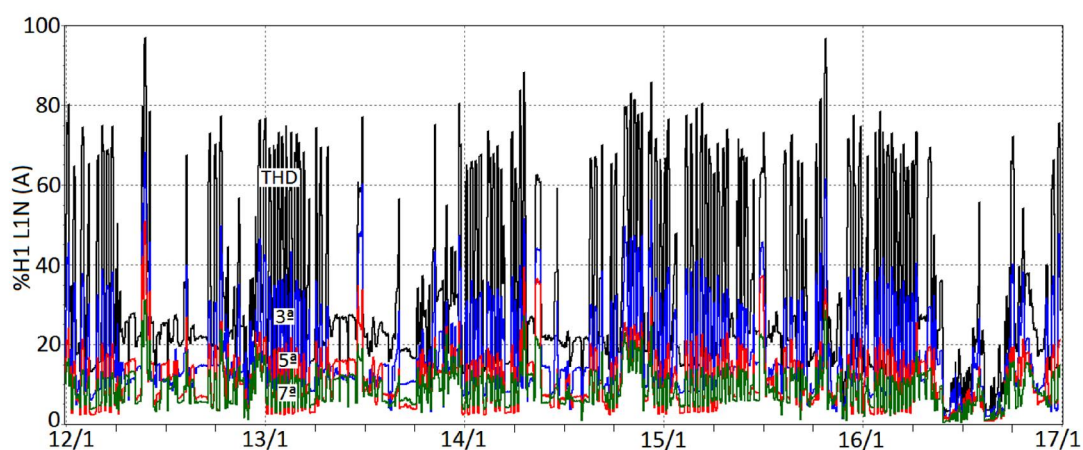


Figura 5.76. Gráfico da medição de 5 dias, %H1L1N(A)-THD-3ªH-5ªH-7ªH da residência 6.

Na Figura 5.76 são apresentados os registros das medições de correntes harmônicas durante um período de 5 dias consecutivos. Os gráficos são apresentados para todo período e mostram as curvas de THD, 3ª, 5ª e 7ª harmônicos de corrente.

A partir da Figura 5.77 até a Figura 5.111 são apresentados os registros das medições de correntes harmônicas durante o período de aquisição de dados. Os

gráficos são apresentados para um período de 24 horas e mostram as curvas de THD, 3^a, 5^a, 7^a, 9^a, 11^a e 13^a harmônicas de corrente.

Da mesma forma das residências anteriores deste capítulo, na figura 5.75 podemos verificar o comportamento do fator de potência (PF) e do fator de potência de deslocamento (DPF). Na figura 5.75 é mostrado o comportamento das potências ativa, reativa e aparente em relação ao PF e DPF e na figura 5.76 os níveis da THD% de corrente conjuntamente com os harmônicos de 3^a, 5^a e 7^a ordem.

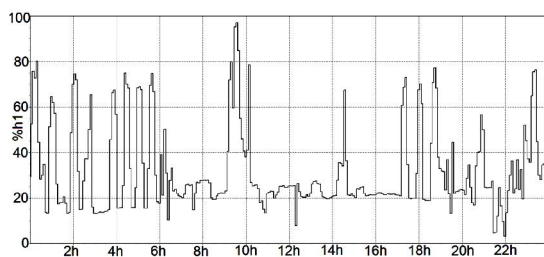


Figura 5.77- %H1 L1N(A) x horas- THD(A)-dia 12

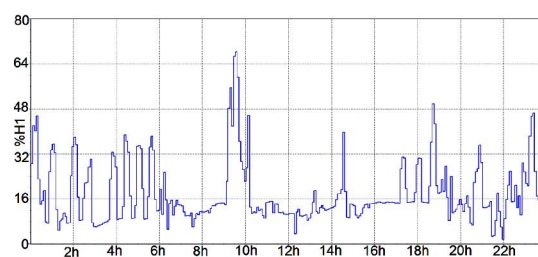


Figura 5.78 - %H1 L1N(A) x horas- 3ªH (A)-dia 12

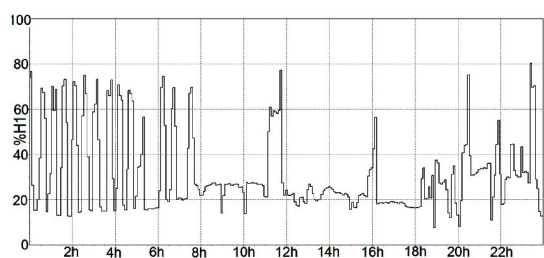


Figura 5.79- %H1 L1N(A) x horas- THD(A)-dia 13

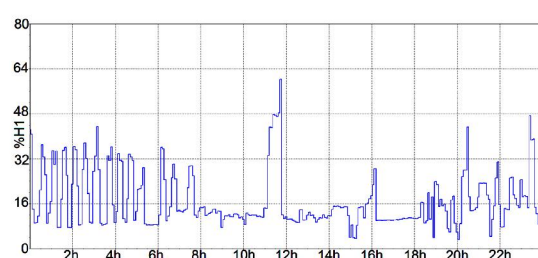


Figura 5.80 - %H1 L1N(A) x horas- 3ªH (A)-dia 13

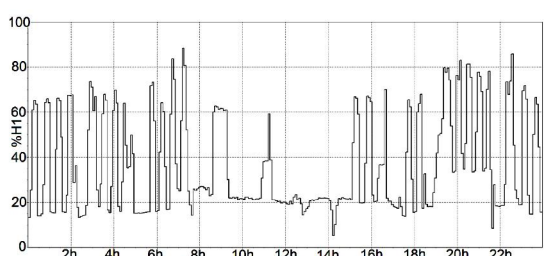


Figura 5.81 - %H1 L1N(A) x horas- THD(A)-dia 14

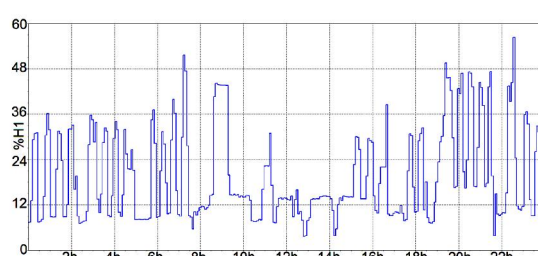


Figura 5.82- %H1 L1N(A) x horas- 3ªH (A)-dia 14

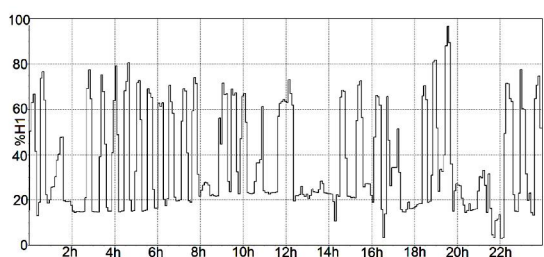


Figura 5.83 - %H1 L1N(A) x horas- THD(A)-dia 15

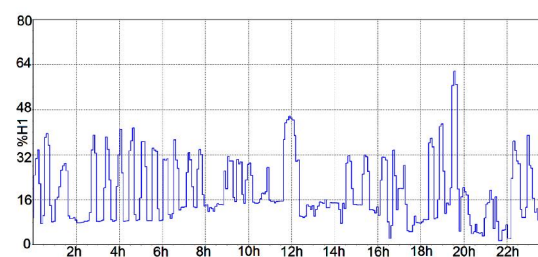


Figura 5.84 - %H1 L1N(A) x horas- 3ªH (A)-dia 15

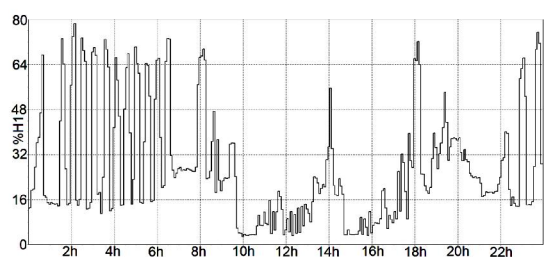


Figura 5.85 - %H1 L1N(A) x horas- THD(A)-dia 16

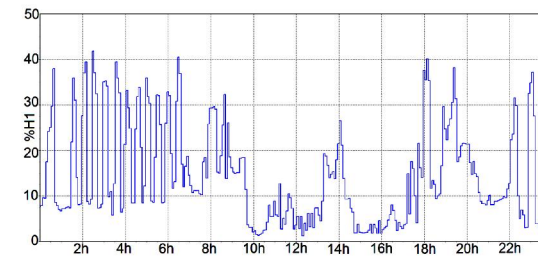


Figura 5.86 - %H1 L1N(A) x horas- 3ªH (A)-dia 16

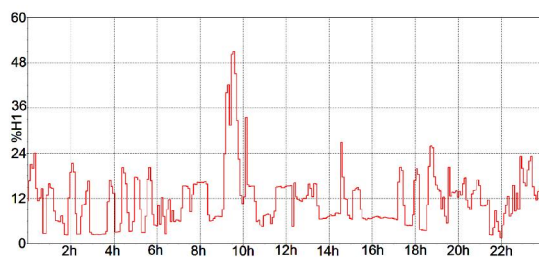


Figura 5.87 - %H1 L1N(A) x horas- 5ªH (A)-dia 12

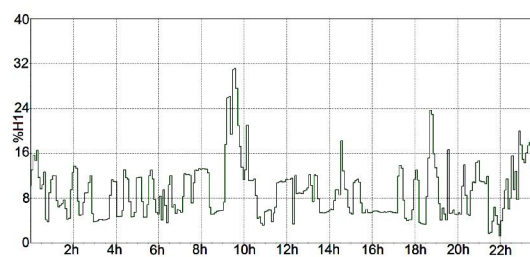


Figura 5.88 - %H1 L1N(A) x horas- 7ªH (A)-dia 12

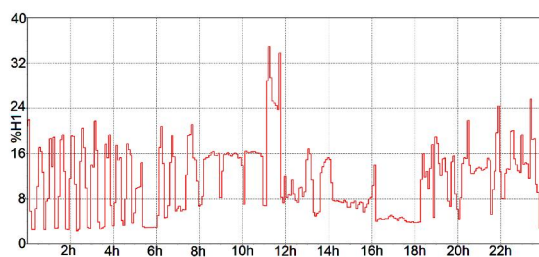


Figura 5.89 - %H1 L1N(A) x horas- 5ªH (A)-dia 13

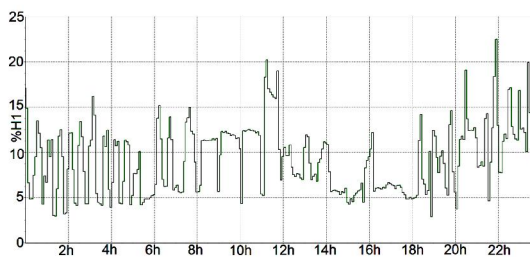


Figura 5.90 - %H1 L1N(A) x horas- 7ªH (A)-dia 13

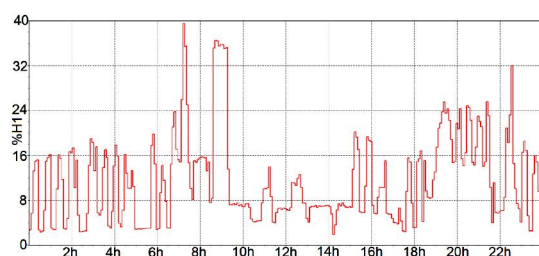


Figura 5.91 - %H1 L1N(A) x horas- 5ªH (A)-dia 14

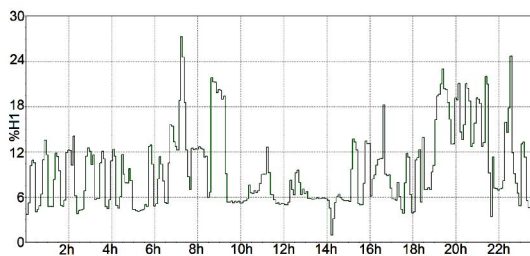


Figura 5.92 - %H1 L1N(A) x horas- 7ªH (A)-dia 14

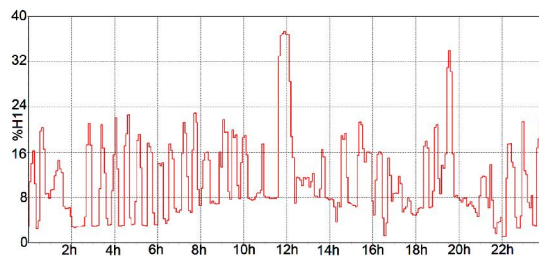


Figura 5.93 - %H1 L1N(A) x horas- 5ªH (A)-dia 15

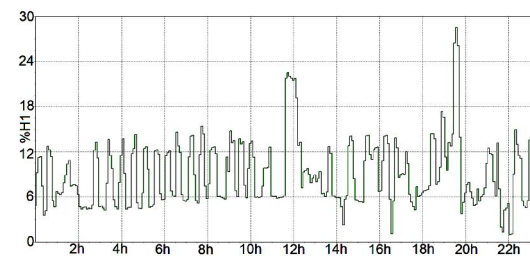


Figura 5.94 - %H1 L1N(A) x horas- 7ªH (A)-dia 15

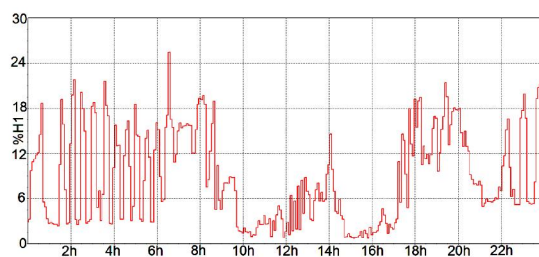


Figura 5.95 - %H1 L1N(A) x horas- 5ªH (A)-dia 16

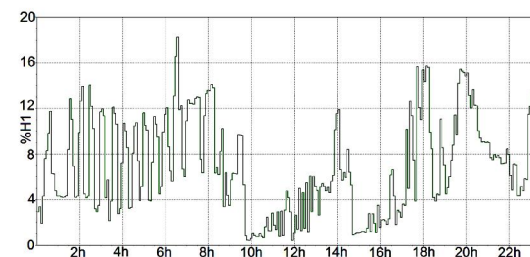


Figura 5.96 - %H1 L1N(A) x horas- 7ªH (A)-dia 16

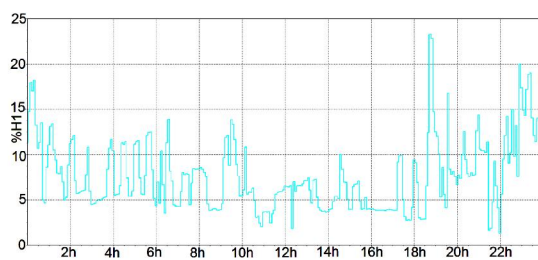


Figura 5.97 - %H1 L1N(A) x horas- 9ªH (A)-dia 12

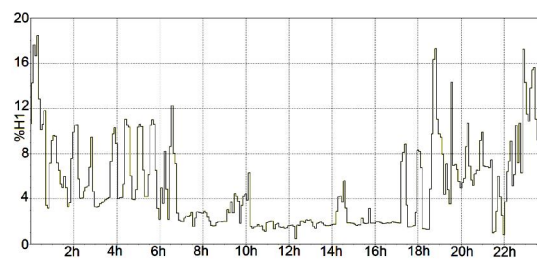


Figura 5.98 - %H1 L1N(A) x horas- 11ªH (A)-dia 12

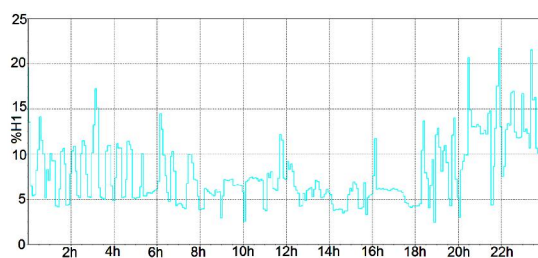


Figura 5.99 - %H1 L1N(A) x horas- 9ªH (A)-dia 13

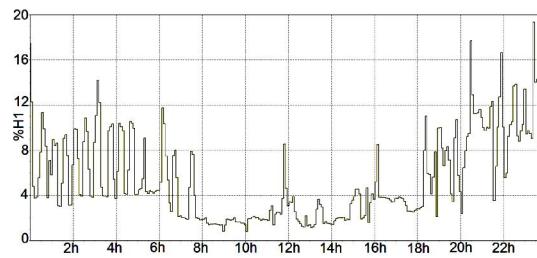


Figura 5.100 - %H1 L1N(A) x horas- 11ªH (A)-dia 13

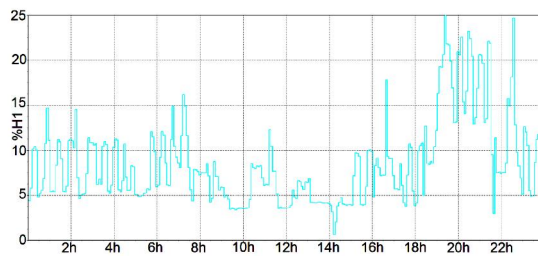


Figura 5.101 - %H1 L1N(A) x horas- 9ªH (A)-dia 14

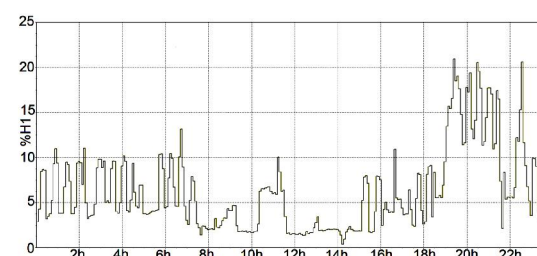


Figura 5.102 - %H1 L1N(A) x horas- 11ªH (A)-dia 14

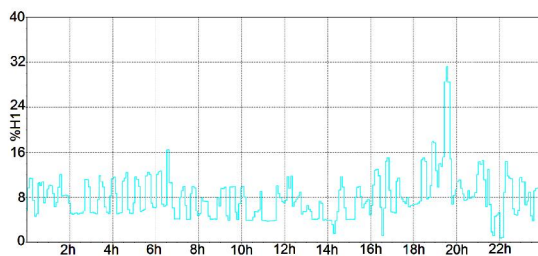


Figura 5.103 - %H1 L1N(A) x horas- 9ªH (A)-dia 15

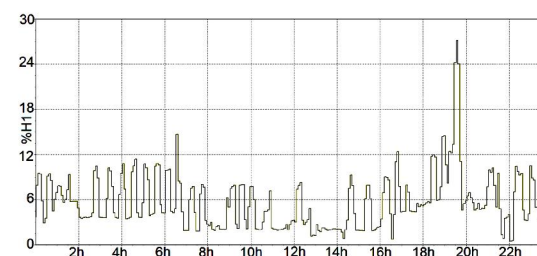


Figura 5.104 - %H1 L1N(A) x horas- 11ªH (A)-dia 15

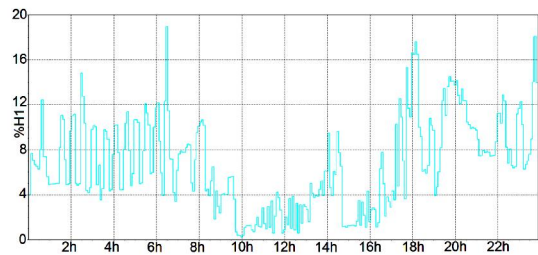


Figura 5.105 - %H1 L1N(A) x horas- 9ªH (A)-dia 16

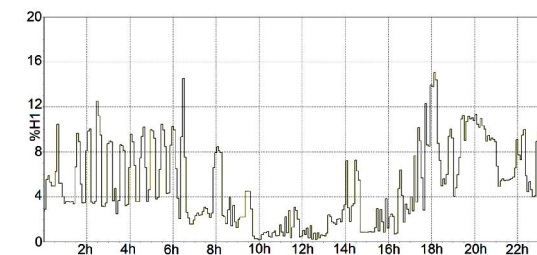


Figura 5.106 - %H1 L1N(A) x horas- 11ªH (A)-dia 16

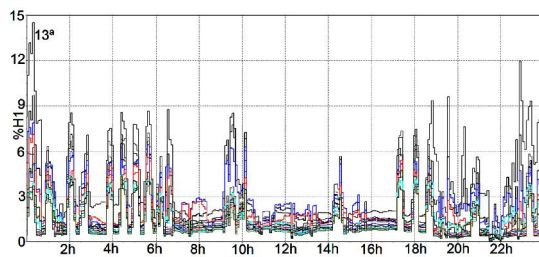


Figura 5.107 - %H1 L1N(A) x horas- 13ªH (A)-dia 12

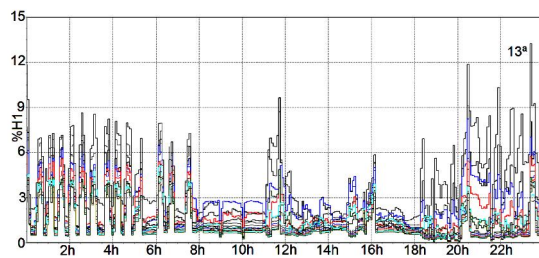


Figura 5.108 - %H1 L1N(A) x horas- 13ªH (A)-dia 13

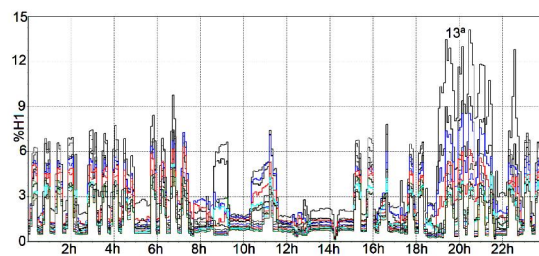


Figura 5.109 - %H1 L1N(A) x horas- 13ªH (A)-dia 14

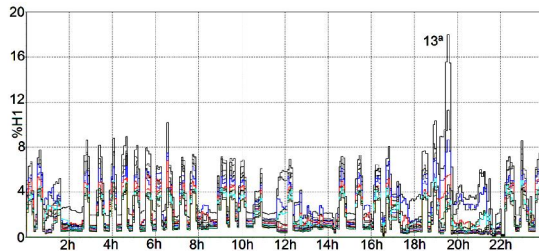


Figura 5.110 - %H1 L1N(A) x horas- 13ªH (A)-dia 15

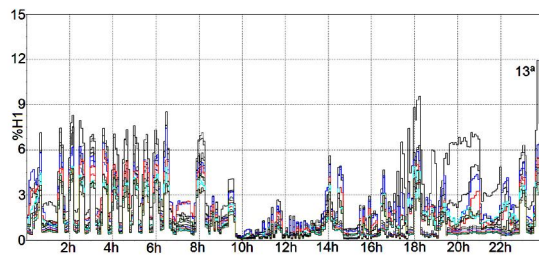


Figura 5.111 - %H1 L1N(A) x horas- 13ªH (A)-dia 16

5.4.1 CONCLUSÃO

A partir da 13^a harmônica foi observado que as correntes harmônicas registradas pelo equipamento de medição estão abaixo de 10%.

Analizando os gráficos apresentados da Figura 5.77 até a Figura 5.111 percebe-se que nesta residência existe uma predominância nas harmônicas de 3^a, 5^a, 7^a, 9^a e 11^a ordem.

As ocorrências registradas de maior intensidade situam-se entre os períodos das 17h às 22h, e entre 0h e 6h. Esse fenômeno acontece devido aos hábitos de consumo de energia elétrica da residência estudada durante estes horários citados, onde as cargas não lineares estão sendo utilizadas em maior intensidade. Dentre as cargas relacionadas desta residência, podemos citar o uso nesses momentos de condicionador de ar, geladeira, televisores e computadores.

5.5 CONCLUSÃO

Neste capítulo foi apresentado o comportamento de cargas residenciais de grupos diferentes, contemplando consumos de energia aqui nomeados de baixo, médio e alto, onde foram analisados gráficos de potência ativa, reativa e aparente em comparação com o fator de potência (PF) e o fator de potência de deslocamento (DPF).

O fator de potência de deslocamento (DPF) em uma situação teoricamente perfeita teria seu valor igual a 1, neste cenário seria igual ao fator de potência (PF), pois as ondas de tensão e corrente seriam totalmente senoidais sem qualquer distorção harmônica, com cargas puramente lineares, situação incompatível com a realidade encontrada nas residências.

De uma maneira geral, todas as residências deste capítulo, ficaram com conteúdos harmônicos de corrente alto da 3ª até a 11ª ordem e em poucos casos com valor próximo de 10% na 13ª ordem, apresentado valores não significativos da 15ª ordem em diante.

A presença desses harmônicos de corrente, se justifica pela utilização de cargas não lineares na residências.

Para correção destas distorções harmônicas, sugere-se a colocação de filtros que podem ser do tipo passivo, ativo ou transformador isolador.

O transformador isolador possui uma relação de tensão 1:1, mas possui suas limitações em relação as ordens de corrente, não conseguindo filtrar todas as ordens de corrente com um único equipamento.

Nas medições realizadas, as maiores correntes rms encontradas nas residências estão abaixo relacionadas.

Residência 4: $I_{rms} = 10,6 \text{ A}$.

Residência 5: $I_{rms} = 24,2 \text{ A}$.

Residência 6: $I_{rms} = 17,9 \text{ A}$.

Como há várias ordens de harmônicos de corrente, uma possibilidade, é a utilização de filtros ativos, por possuírem mais eficiência que o passivo, pois é um circuito eletrônico que compensa o efeito da harmônica através da injeção ou dissipação de corrente na linha.

O dimensionamento do filtro ativo é feito pela corrente de harmônica, ou seja, o THD que está presente no circuito

No caso da residência 4, o THDi é de 99,61%, com uma corrente máxima de carga registrada no período no valor $I_{rms} = 10,6$ A, teremos que o filtro a ser instalado é de 10,55 A para que elimine por completo as correntes harmônicas presentes.

De forma análoga, a residência 5 com uma THDi de 45,88% e corrente $I_{rms} = 24,2$ A, o filtro a ser instalado é de 11,10 A e a residência 6 com THDi de 99,95% e a corrente 17,9 A, terá a necessidade de uma corrente de filtro de 17,89 A para que elimine por completo as correntes harmônicas presentes.

De forma comercialmente falando, um filtro ativo com 20 A de corrente, estaria com uma pequena folga para variação das cargas e implementos de outras novas e atenderia de forma satisfatória a todas as residências.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO GERAL

Neste trabalho realizou-se uma análise e exposição das bases teóricas sobre distorções harmônicas, de maneira a trazer uma melhor compreensão sobre esse fenômeno.

Um analisador de energia foi instalado em várias residências da cidade de João Pessoa, de maneira que fosse possível obter medições reais sobre o comportamento das componentes harmônicas de corrente em redes elétricas residenciais.

Observa-se a necessidade de normas internacionais e brasileira para apresentar parâmetros referentes a conteúdos harmônicos de corrente para consumidores residenciais na classe de tensão abaixo de 220 V. A norma brasileira propõe valores para harmônicos de tensão no índice de 10%, que é regulamentado pela Agência Nacional Energia Elétrica (ANEEL) no seu documento 'Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema nacional', Prodist, módulo 8 - qualidade de energia elétrica, conforme já citado no capítulo 1. As normas internacionais que tratam de harmônicas de corrente, também não são aplicáveis a consumidores residenciais na tensão até 220V, a exemplo da EN 50160 Power Quality Standard, que é Européia, e é utilizada em países como Alemanha e Polônia, por ser aplicada em tensões no mínimo de 1 kV e em sistemas de distribuição de energia elétrica nos pontos de conexão comum. Por não se aplicar aos casos residenciais, também não há aplicabilidade com a recomendação da IEEE-519 por tratar de limites de distorção harmônicas no ponto de conexão comum dos sistemas de energia elétrica, ela estabelece relação entre corrente de curto-circuito I_{cc} e corrente de carga.

Os resultados obtidos neste trabalho, contemplam os mais diversos cenários de perfis de consumidores e de composição das cargas nas instalações elétricas residenciais propostas para serem estudadas.

Foi realizada uma análise dos resultados obtidos de maneira a evidenciar e apresentar com embasamento a problemática da distorção harmônica em ambientes residenciais.

A partir da análise dos resultados observou-se a existência de componentes harmônicas de corrente na rede elétrica de todas as residências.

Analisando os dados obtidos nas medições realizadas, observou-se que há uma variação nos níveis de harmônicas de corrente devido não exclusivamente à carga, mas também ao hábito de utilização dos moradores das residências. Isso se justifica pelo fato de que embora possam haver equipamentos similares em todas as residências, o horário, período de utilização dos mesmos e a quantidade utilizada de forma conjunta variam de acordo com o perfil do consumidor.

Observou-se nos dados obtidos nas medições residenciais, a presença de componentes harmônicas de corrente em todas as ordens, sendo relevantes as harmônicas ímpares da 3ª à 11ª, com predominância das harmônicas de 3ª, 5ª e 7ª e 9ª ordem. Estes fatos podem ser observados nas figuras apresentadas nos capítulos 4 e 5.

Um dos itens presente em todas as residências onde realizou-se medição é a lâmpada fluorescente compacta. Este item, conforme observa-se na figura 3.12, apresenta uma elevada distorção harmônica, chegando ao valor de 96% de THD, 53% de distorção para 3ª ordem, e 33%, 31%, 32% e 26% respectivamente nas 5ª, 7ª, 9ª e 11ª ordem. Com base nestes valores fica evidenciado uma contribuição negativa deste componente na qualidade da energia elétrica dos consumidores residenciais.

Foram realizadas medições de curta duração e de longa duração. A intenção como foi dito no início do capítulo 4 foi verificar no final do estudo, se os resultados conseguidos com uma medição instantânea são compatíveis com os valores obtidos com uma medição prolongada, a fim de evitar em trabalhos futuros toda logística necessária e os inconvenientes existentes para instalar o equipamento de medição, de certa forma invadindo a residência das pessoas causando vários transtornos característicos da instalação, assim como a preocupação com a segurança do equipamento que fica exposto por um período tão prolongado.

Do ponto de vista do conteúdo harmônico conseguiu-se verificar a existência de valores significativos da 3ª, 5ª e 7ª harmônica, porém, conclui-se que

independentemente da faixa de consumo ou se a medição é longa ou curta, ambas são válidas, pois o diferencial são os hábitos dos residentes. Não há uma média em relação à esta variável, há residências que possuem diversos eletrodomésticos e eletroeletrônicos, e o proprietário faz pouco uso e em outras em situação contrária faz muito uso.

Com a análise dos resultados obtidos, observou-se que em todas as residências, seja a medição curta ou longa, baixo, médio ou alto consumo, foi detectado uma distorção harmônica de corrente com valores elevados, e a tendência é só piorar em relação a qualidade de energia.

Dado as THDi encontradas, os filtros necessários para correção da distorção na forma da corrente são aproximadamente do tamanho da corrente fundamental para que ocorra a eliminação completa das correntes harmônicas presentes.

6.1 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, propomos a continuação do estudo dos harmônicos em ambientes residenciais estudando a poluição da forma de onda que os novos equipamentos estão ou não causando nas instalações elétricas, como as lâmpadas de led, os efeitos causados pela nova geração de inversores instalados nos novos eletrodomésticos, o comportamento dos medidores de energia e seu eficaz funcionamento na presença destas novas cargas não lineares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, J. L.; MARTINS, J. S. QUALIDADE DE ENERGIA ELÉCTRICA NA INDÚSTRIA. As Oportunidades das Ameaças: A Qualidade da Energia Eléctrica 2003, EUVEO, ISBN: 972-8063-15-6, pp. 1-35 (Capítulo de Livro).

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica: *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional* - PRODIST. Módulo 8 - Qualidade de Energia Elétrica, 2013.

ARRILLAGA, J. *Power system harmonic analysis*, Chichester, New York: Wiley, 1997.

ASTORGA, O. A. M. et al, Um estudo da substituição das lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas em instalações elétricas residenciais e o compromisso entre conservação e qualidade de energia, XVI SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (2001), Brasil.

AVENDAO-MORA, M.; MILANOVIC, J. V. Monitor placement for reliable estimation of voltage sags in powernetworks. *IEEE Trans. Power Del.*, 27(2):936–944, Apr. 2012.

BOLLEN, M. H. J., “What is power quality? Eletric Power Systems Reasearch”, 66, 2003, pags. 5-14;

BRASIL. Portaria nº 1.007 de 31-12-2010 do MME - Ministério de Minas e Energia.

CAPELLI, ALEXANDRE. Energia Elétrica: Qualidade e eficiência para aplicações industriais - 1ª ed. - São Paulo - Érica, 2013.

DATTA, S., Power Pollution Caused By Lighting Control Systems, IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 1991.

DUGAN, R. C., SANTOSO, S., 2003, "Electrical power Systems quality", 2nd edition, MacGraw-Hill, 2003.

FLUKE. Disponível <http://www.fluke.com>. Acesso em: 12 nov. 2014.

FUENTES, R. C. Apostila de automação industrial. 2005. 5.2p. Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

FUJIWARA, J. K. et al, Interferência causada pelo uso de fluorescentes compactas em residências, Eletricidade Moderna, pag. 134-142, Setembro, 1998.

GALLEGO, L. E.; TORRES, H.; PAVAS, F.A.; URRUTIA, D. F.; CAJAMARCA, G. A.; RONDÓN, D. A Methodological Proposal for Monitoring, Analyzing and Estimating Power Quality Indices: the case of Bogotá-Colombia. IEEE, 2005.

GAMA, P. H. R. P. e OLIVEIRA, A., "Conservação de Energia e sua relação com a qualidade de Energia Elétrica", XV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (1999), Brasil;

GYUGYI, L., STRYKULA, E. C. Active AC Power Filters, in Proc. IEEE Ind. Appl. Ann. Meeting. vol. 19-C, 1976, pp. 529-535.

IEC 61000-3-2. Limits for harmonic current emissions (equipment input current $16 \leq$ A per phase). International Electrotechnical Commission.

IEC 61000-3-3. Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection. International Electrotechnical Commission.

IEEE Std 519. IEEE Recommended Practices and Requirements for Control in Electrical Power System. 1993.

IEEE Std. 1159, "Recommended practice for monitoring electric power quality". IEEE Standards Board, 1995;

KAGAN, N.; ROBBA, E.J.; SCHMIDT, H. P. Estimação de indicadores de qualidade da energia elétrica. SÃO PAULO: Edgard Plücher, 2010. 230p.

LUZ, J. M. e FELBERBAUM, M. I. , Ensaios em reatores eletrônicos e o impacto na conservação de energia elétrica, III SBQEE – Seminário Brasileiro de Qualidade de Energia Elétrica, ST 8 – IT 61, 8-12 de agosto de 1999, Brasília – DF.

MARQUES, C. A. G; RIBEIRO, M. V.; GOMES, P. H. C.; SILVA, E. A. B. TÉCNICA DE ESTIMAÇÃO DE HARMÔNICOS PARA IMPLEMENTAÇÃO EM DSP DE BAIXO CUSTO. Revista Controle & Automação/Vol.20 no.4/Outubro, Novembro e Dezembro 2009.

MARTINHO, E. Distúrbios da Energia Elétrica. *Conceitos de Distúrbios que Influenciam na Qualidade de Energia*. p.35-87. Editora Érica, 2ª Edição, São Paulo 2012.

MARTINS, J. S.; COUTO, C.; AFONSO, J. L. Qualidade de Energia Elétrica. 3º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia – CLME'2003 Engenharia e Inovação para o Desenvolvimento Maputo, Moçambique, 19-21 Agosto 2003, pp. 219-231.

MATANA, G. M. Proposta de equipamento para medição dos fenômenos relativos à qualidade da energia elétrica utilizando conceitos de instrumentos virtuais. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2008. 210 p.

MATANA, G. M. Proposta de equipamento para medição dos fenômenos relativos à qualidade da energia elétrica utilizando conceitos de instrumentos virtuais. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2008. 210 p.

PENNA, C. et al, O impacto dos programas de eficiência energética na Qualidade de Energia Elétrica, I Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 6 e 7 de novembro de 2001, Brasília – DF.

PLANALTO. Disponível em: <http://www2.planalto.gov.br/excluir-historico-nao-sera-migrado/lampadas-incandescentes-com-potencias-de-61-a-100-watts-nao-podem-mais-ser-produzidas-ou-importadas-pelo-brasil>. Acesso em: 29 dez. 2014.

RASHID, MUHAMMAD H. *Power Electronics Handbook*, Academic Press, California, 2001.

RIBEIRO, PAULO F. “Tópicos Avançados em QEE”, PUC-RS, Agosto 2005.

STONES, J.; COLLINSON, A. Power quality. *Power Engineering Journal*, v. 15, n. 2, p.58-64, April 2001.

TOSTES, M. E. L. et. al., Impactos Harmônicos em redes de distribuição de energia da Iluminação Pública, XV SENDI – Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (2002), Brasil.