

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COELE – COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA
ENGENHARIA ELETRÔNICA**

ANTONIO MOTA NUNES JÚNIOR

**ANÁLISE DOS INDICADORES DE QUALIDADE DE ENERGIA DOS BLOCOS A E
C DA UTFPR CAMPUS TOLEDO COM PROPOSIÇÕES CORRETIVAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2014

ANTONIO MOTA NUNES JÚNIOR

**ANÁLISE DE INDICADORES DE QUALIDADE DE ENERGIA DOS BLOCOS A E C
DA UTFPR CAMPUS TOLEDO COM PROPOSIÇÕES CORRETIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Ms.C Ednei Luiz Miotto

TOLEDO

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Câmpus Toledo



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso Nº 005

Análise comparativa dos indicadores de qualidade de energia dos blocos A e C da UTFPR Câmpus Toledo, com proposições corretivas

por

Antônio Mota Nunes Junior

Esse Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 8:20 h do dia **04 de agosto de 2014** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Eletrônica**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. M. Marcos Roberto Bombacini

(UTFPR-TD)

Prof. M. Victor Alexandre Franco de Carvalho

(UTFPR-TD)

Prof. M. Ednei Luiz Miotto

(UTFPR-TD)

Orientador

Visto da Coordenação

Prof. M. Alessandro Paulo de Oliveira
Coordenador da COELE

Dedico este trabalho a quem se importa...
e a quem realmente importa.

AGRADECIMENTOS

Às vezes, acredito que o sentimento mais bonito que possa existir é a gratidão. Desta maneira, gostaria de agradecer, primeiramente, aos meus pais, Antonio e Carolina, pelo apoio, amor e paciência infindáveis. Agradecer às minhas irmãs, Renata e Fernanda, por todo o apoio nas horas de necessidade.

Agradecer à minha namorada, Thaís, por me suportar, amar e entender as diversas situações vividas desde o início deste projeto. E por ser quem é.

Agradecer aos meus sogros, Cláudio e Norma, pelo apoio, mesmo que indireto durante a parte final desta trajetória.

Agradecer aos amigos, primos, demais familiares e pessoas que estiveram comigo durante grande parte desta caminhada, que por outros motivos não estão mais.

Agradecer ao meu orientador Mestre Ednei Luiz Miotto pela maravilhosa orientação e por todo conhecimento passado para mim.

Agradecer à COELE, Coordenação de Engenharia Eletrônica, pela disponibilidade e atenção nas horas de necessidade.

Agradecer à UTFPR pela ajuda financeira e por toda estrutura cedida para nós, alunos, durante meu período como acadêmico.

Poderia me manter agradecendo por muito tempo, até porque é impossível, em algumas linhas, traduzir o que se passa em toda vida, até então. De qualquer forma, essas linhas que escrevo traz consigo a sinceridade de um sentimento verdadeiro. Meu muito, muitíssimo obrigado.

“Veja bem, não é que eu esteja isento de
deslumbramentos e de seduções. É que
eu me sinto um tanto encabulado quando
me perguntam qual vai ser de mim. E
corro risco de dizer algo tolo, dessas
conversas de quem não tem ambições. E
um outro diz, no ato, que eu estou por
fora... e que eu já fiquei pra trás.”

(CASTRO, Rafael, 2009)

RESUMO

NUNES JÚNIOR, A. M. **Análise dos indicadores de qualidade de energia dos blocos A e C da UTFPR campus Toledo com proposições corretivas.** 2014. 132 páginas. Bacharelado em Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2014.

Este trabalho se baseia em um dos conceitos que surgiu em pauta durante os últimos anos e tem se revelado de extrema importância no que se diz respeito às condições atuais de desenvolvimento de todo o mundo: a qualidade da energia elétrica.

A coleta dos dados deu-se através da utilização de equipamentos de monitoração dos indicadores de qualidade de energia instalado nos quadros de distribuição de energia dos pavimentos dos blocos A e C.

Sabe-se que os problemas em qualidade de energia elétrica têm se agravado com o crescimento da indústria eletrônica e a inserção de cargas pesadas e não lineares do sistema, levando à diminuição da vida útil de equipamentos, trazendo consigo relevantes prejuízos financeiro e material. Com o intuito de sanar, ou pelo menos amenizar os distúrbios no sistema elétrico, deu-se um enfoque maior aos problemas de tensão, tais como interrupções, transientes, afundamentos e elevações de tensão, variações da frequência, *flicker* e, por fim, distorções harmônicas, as quais foram estudadas através do espectro harmônico e das formas de onda e da taxa de distorção harmônica total. Utilizou-se, também, a curva ITI CBEMA para avaliar os possíveis danos dos eventos de variação brusca de tensão nos equipamentos espalhados pelo campus. Realizou-se também uma análise documental através dos indicadores DIC, FIC e DMIC obtidos pelas faturas da concessionária COPEL, a variação dos valores registrados pelo excesso de energia reativa consumida ao longo do dia, além do estudo da variação fator de potência durante os dois últimos anos.

Palavras-chave: Qualidade de energia elétrica, Fluke, harmônicas.

ABSTRACT

NUNES JÚNIOR, A. M. Analysis of indicators of quality of energy of blocks A and C UTFPR Toledo campus with corrective propositions. 2014. 132 pages. Bachelors Degree in Electronics Engineering. Federal Technological University of Paraná. Toledo, 2014.

This work relies on one of the concepts that emerged in recent years and has proved to be of extreme importance as it relates to the current conditions of development around the world: the quality of electrical power. The data used in this research was collected with equipment that monitors indicators of quality of power installed in electric panels on the floors of blocks A and C.

It is a known fact that the quality of electrical power has worsened following the growth of the electronics industry and the insertion of heavy loads and a nonlinear system, leading to reduced life of equipment and consequently adding relevant financial and material losses. In order to restore, or at least minimize the disturbances in the electrical system, a greater focus was put on the issues of tension: interruptions, transients, sag and swells, frequency variations, flicker and harmonic distortion (which was analyzed using the harmonic spectrum and waveform rate and total harmonic distortion). In addition, a curve ITI CBEMA was utilized to evaluate the possible damage of abrupt changes in tension on equipment throughout the campus. Finally, a documentary analysis was conducted through windows DIC, FIC and DMIC obtained from the university's Copel invoices; the variation of the values registered by excess reactive energy consumed during the day, and the study of the variation of power factor over the last two years.

Keywords: Quality of electric power, Fluke, harmonics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Onda senoidal.	18
Figura 2 – Representação vetorial das tensões trifásicas equilibradas, onde $\theta = 0^\circ$	19
Figura 3 – Transiente impulsivo.	21
Figura 4 – Transiente oscilatório.	22
Figura 5 – Interrupção.	24
Figura 6 – Afundamento de tensão.	25
Figura 7 – Elevação de tensão.	26
Figura 8 – Desequilíbrio de fase em magnitude e fase.	26
Figura 9 – Forma de onda com nível DC.	27
Figura 10 – Presença de harmônicas em uma onda senoidal.	28
Figura 11 – Presença de inter-harmônicas no sinal senoidal.	28
Figura 12 – Recorte de comutação causado por um conversor trifásico.	29
Figura 13 – Ruído Elétrico.	29
Figura 14 – Flutuação de tensão.	30
Figura 15 – Analisador de qualidade de energia <i>FLUKE®</i> 434.	32
Figura 16 – Modo de ligação do analisador de qualidade de energia	32
Figura 17 – Gráfico do fator de potência amostrado a cada 15 minutos entre o período de 01 de dezembro de 2011 a 08 de março de 2012.	36
Figura 18 - Gráfico do fator de potência amostrado a cada 15 minutos entre o período de 08 de março de 2012 a 08 de maio de 2012.	37
Figura 19 - Gráfico do fator de potência amostrado a cada 15 minutos entre o período de 12 de junho de 2012 a 11 de junho de 2013.	37
Figura 20 - Gráfico do fator de potência amostrado a cada 15 minutos entre o período de 12 de junho de 2013 a 31 de dezembro de 2013.	38
Figura 21 - Gráfico do fator de potência amostrado a cada 15 minutos entre o período de 1º de janeiro de 2014 a 11 de junho de 2014.	38
Figura 22 – Valores de referência para DIC, FIC e DMIC.	42
Figura 23 – Transformador ferroressonante.	46
Figura 24 – Compensadores ativos em série.	47
Figura 25 - Interrupção, Térreo, Bloco C, 19/04/2014, 7:33:52:353.	48
Figura 26 – Afundamentos de tensão no QD do pavimento térreo do bloco A.	49
Figura 27 – Afundamento de tensão no QGF do bloco A.	50
Figura 28 – Afundamentos de tensão no QD do terceiro pavimento do bloco A.	51
Figura 29 - Afundamentos de tensão no QD do segundo pavimento do bloco C.	51
Figura 30 - Afundamentos de tensão no QD do terceiro pavimento do bloco C.	52
Figura 31 – <i>Flicker</i> ocorrido no QGF do bloco A.	56
Figura 32 - <i>Flicker</i> ocorrido no QD térreo do bloco A.	57
Figura 33 - <i>Flicker</i> ocorrido no QD térreo do bloco A.	57

Figura 34 - <i>Flicker</i> ocorrido no QD térreo do bloco A.	57
Figura 35 - <i>Flicker</i> ocorrido no QD do terceiro pavimento do bloco A.	58
Figura 36 - <i>Flicker</i> ocorrido no QD do térreo do bloco C.	59
Figura 37 - <i>Flicker</i> ocorrido no QD do segundo pavimento do bloco C.	60
Figura 38 - <i>Flicker</i> ocorrido no QD do terceiro pavimento do bloco C.	60
Figura 39 - Evento de variação de frequência no QGF do bloco A.	63
Figura 40 - Evento de variação de frequência no QD térreo do bloco C.	64
Figura 41 – Curva CBEMA e seus limites de duração de sobre e subtensões.	65
Figura 42 – Curva ITIC com seus limites para sub e sobretensão.	66
Figura 43 – Curva ITI (CBEMA), QGF, bloco A, 29/01 a 05/02 de 2014.	67
Figura 44 - Curva ITI (CBEMA), QD do pavimento térreo, bloco A, 12/02 a 19/02 de 2014.	68
Figura 45 - Curva ITI (CBEMA), QD do terceiro pavimento, bloco A, 12/03 a 18/03 de 2014.	68
Figura 46 - Curva ITI (CBEMA), QD do pavimento térreo, bloco C, 14/04 a 21/04 de 2014.	69
Figura 47 - Curva ITI (CBEMA), QD do segundo pavimento, bloco C, 14/05 a 21/05 de 2014.	69
Figura 48 - Curva ITI (CBEMA), QD do terceiro pavimento, bloco C, 28/05 a 04/06 de 2014.	70
Figura 49 – Influência da Terceira harmônica na corrente de neutro.	72
Figura 50 – Representação da série de Fourier para a soma de sinais senoidais. ...	75
Figura 51 – Espectro harmônico.	76
Figura 52 – Forma de onda da corrente do QGF do bloco A. Dia 12/02/2014 às 16:32:42.	78
Figura 53 – Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QGF do bloco A. Dia 05/02/2014 às 18:15:52.	78
Figura 54 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QGF do bloco A. Dia 05/02/2014 às 18:15:52.	78
Figura 55 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QGF do bloco A. Dia 05/02/2014 às 18:15:52.	79
Figura 56 – Forma de onda da tensão do QGF do bloco A. Dia 12/02/2014 às 16:31:43.	79
Figura 57 - Espectro harmônico da tensão da fase A/L1 do QGF do bloco A. Dia 05/02/2014 às 18:15:52.	80
Figura 58 - Espectro harmônico da tensão da fase B/L2 do QGF do bloco A. Dia 05/02/2014 às 18:15:52.	80
Figura 59 - Espectro harmônico da tensão da fase C/L3 do QGF do bloco A. Dia 05/02/2014 às 18:15:52.	80
Figura 60 - Forma de onda da corrente do QD do pavimento térreo do bloco A. Dia 12/02/2014 às 16:58:44.	82
Figura 61 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do pavimento térreo do bloco A. Dia 19/02/2014 às 19:12:43.	82

Figura 62 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do pavimento térreo do bloco A. Dia 19/02/2014 às 19:12:43.	82
Figura 63 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do pavimento térreo do bloco A. Dia 19/02/2014 às 19:12:43.	83
Figura 64 - Forma de onda da tensão do QD do pavimento térreo do bloco A. Dia 12/02/2014 às 16:58:44.....	83
Figura 65 - Espectro harmônico da tensão da fase A/L1 do QD do pavimento térreo do bloco A. Dia 19/02/2014 às 19:12:42.	84
Figura 66 - Espectro harmônico da tensão da fase B/L2 do QD do pavimento térreo do bloco A. Dia 19/02/2014 às 19:12:43.	84
Figura 67 - Espectro harmônico da tensão da fase C/L3 do QD do pavimento térreo do bloco A. Dia 19/02/2014 às 19:12:43.	84
Figura 68 - Forma de onda da corrente do QD do primeiro pavimento do bloco A. Dia 12/03/2014 às 17:44:39.....	85
Figura 69 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do primeiro pavimento do bloco A. Dia 05/03/2014 às 14:40:28.....	86
Figura 70 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do primeiro pavimento do bloco A. Dia 05/03/2014 às 14:40:28.....	86
Figura 71 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do primeiro pavimento do bloco A. Dia 05/03/2014 às 14:40:28.....	86
Figura 72 - Forma de onda da tensão do QD do primeiro pavimento do bloco A. Dia 12/03/2014 às 17:44:23.....	87
Figura 73 - Espectro harmônico da tensão da fase A/L1 do QD do primeiro pavimento do bloco A. Dia 05/03/2014 às 14:40:28.....	87
Figura 74 - Espectro harmônico da tensão da fase B/L2 do QD do primeiro pavimento do bloco A. Dia 05/03/2014 às 14:40:28.....	87
Figura 75 - Espectro harmônico da tensão da fase C/L3 do QD do primeiro pavimento do bloco A. Dia 05/03/2014 às 14:40:28.....	88
Figura 76 - Forma de onda da corrente do QD do segundo pavimento do bloco A. Dia 14/04/2014 às 16:09:49.	89
Figura 77 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do segundo pavimento do bloco A. Dia 02/04/2014 às 15:55:45.....	89
Figura 78 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do segundo pavimento do bloco A. Dia 02/04/2014 às 15:55:45.....	89
Figura 79 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do segundo pavimento do bloco A. Dia 02/04/2014 às 15:55:45.....	90
Figura 80 - Forma de onda da tensão do QD do segundo pavimento do bloco A. Dia 14/04/2014 às 16:09:40.....	90
Figura 81 - Espectro harmônico da tensão da fase A/L1 do QD do segundo pavimento do bloco A. Dia 02/04/2014 às 15:55:45.....	90
Figura 82 - Espectro harmônico da tensão da fase B/L2 do QD do segundo pavimento do bloco A. Dia 02/04/2014 às 15:55:45.....	91
Figura 83 - Espectro harmônico da tensão da fase C/L3 do QD do segundo pavimento do bloco A. Dia 02/04/2014 às 15:55:45.....	91

Figura 84 - Forma de onda da corrente do QD do terceiro pavimento do bloco A. Dia 25/03/2014 às 16:45:02.....	92
Figura 85 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do terceiro pavimento do bloco A. Dia 19/03/2014 às 17:00:57.....	92
Figura 86 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do terceiro pavimento do bloco A. Dia 19/03/2014 às 17:00:57.....	92
Figura 87 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do terceiro pavimento do bloco A. Dia 19/03/2014 às 17:00:57.....	93
Figura 88 - Forma de onda da tensão do QD do terceiro pavimento do bloco A. Dia 25/03/2014 às 16:44:56.....	93
Figura 89 - Espectro harmônico da tensão da fase A/L1 do QD do terceiro pavimento do bloco A. Dia 19/03/2014 às 17:00:57.....	93
Figura 90 - Espectro harmônico da tensão da fase B/L2 do QD do terceiro pavimento do bloco A. Dia 19/03/2014 às 17:00:57.....	94
Figura 91 - Espectro harmônico da tensão da fase C/L3 do QD do terceiro pavimento do bloco A. Dia 19/03/2014 às 17:00:57.....	94
Figura 92 - Forma de onda da corrente do QD do pavimento térreo do bloco C. Dia 30/04/2014 às 15:33:00.....	95
Figura 93 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do pavimento térreo do bloco C. Dia 23/04/2014 às 17:17:11.....	95
Figura 94 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do pavimento térreo do bloco C. Dia 23/04/2014 às 17:17:11.....	96
Figura 95 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do pavimento térreo do bloco C. Dia 23/04/2014 às 17:17:11.....	96
Figura 96 - Forma de onda da corrente do QD do pavimento térreo do bloco C. Dia 30/04/2014 às 15:33:00.....	96
Figura 97 - Espectro harmônico da tensão da fase A/L1 do QD do pavimento térreo do bloco C. Dia 23/04/2014 às 17:17:11.....	97
Figura 98 - Espectro harmônico da tensão da fase B/L2 do QD do pavimento térreo do bloco C. Dia 23/04/2014 às 17:17:11.....	97
Figura 99 - Espectro harmônico da tensão da fase C/L3 do QD do pavimento térreo do bloco C. Dia 23/04/2014 às 17:17:11.....	97
Figura 100 - Forma de onda da corrente do QD do primeiro pavimento do bloco C. Dia 14/05/2014 às 15:16:58.....	99
Figura 101 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do primeiro pavimento do bloco C. Dia 07/05/2014 às 15:26:42.....	99
Figura 102 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do primeiro pavimento do bloco C. Dia 07/05/2014 às 15:26:42.....	99
Figura 103 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do primeiro pavimento do bloco C. Dia 07/05/2014 às 15:26:42.....	100
Figura 104 - Forma de onda da tensão do QD do primeiro pavimento do bloco C. Dia 14/05/2014 às 15:16:49.....	100
Figura 105 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do primeiro pavimento do bloco C. Dia 07/05/2014 às 15:26:42.....	100

Figura 106 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do primeiro pavimento do bloco C. Dia 07/05/2014 às 15:26:42.....	101
Figura 107 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do primeiro pavimento do bloco C. Dia 07/05/2014 às 15:26:42.....	101
Figura 108 – Forma de onda da corrente do QD do segundo pavimento do bloco C. Dia 28/05/2014 às 15:20:10.	102
Figura 109 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do segundo pavimento do bloco C. Dia 21/05/2014 às 17:32:27.....	102
Figura 110 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do segundo pavimento do bloco C. Dia 21/05/2014 às 17:32:27.....	102
Figura 111 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do segundo pavimento do bloco C. Dia 21/05/2014 às 17:32:27.....	103
Figura 112 - Forma de onda da tensão do QD do segundo pavimento do bloco C. Dia 28/05/2014 às 15:20:06.	103
Figura 113 - Espectro harmônico da tensão da fase A/L1 do QD do segundo pavimento do bloco C. Dia 21/05/2014 às 17:32:27.....	103
Figura 114 - Espectro harmônico da tensão da fase B/L2 do QD do segundo pavimento do bloco C. Dia 21/05/2014 às 17:32:27.....	104
Figura 115 - Espectro harmônico da tensão da fase C/L3 do QD do segundo pavimento do bloco C. Dia 21/05/2014 às 17:32:27.....	104
Figura 116 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do terceiro pavimento do bloco C. Dia 04/06/2014 às 16:03:25.....	106
Figura 117 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do terceiro pavimento do bloco C. Dia 04/06/2014 às 16:03:25.....	106
Figura 118 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do terceiro pavimento do bloco C. Dia 04/06/2014 às 16:03:25.....	106
Figura 119 - Espectro harmônico da tensão da fase A/L1 do QD do terceiro pavimento do bloco C. Dia 04/06/2014 às 16:03:25.....	107
Figura 120 - Espectro harmônico da tensão da fase B/L2 do QD do terceiro pavimento do bloco C. Dia 04/06/2014 às 16:03:25.....	107
Figura 121 - Espectro harmônico da tensão da fase C/L3 do QD do terceiro pavimento do bloco C. Dia 04/06/2014 às 16:03:25.....	107
Figura 122 – Níveis de referência para distorção harmônica individual em relação à tensão fundamental.....	108
Figura 123 – Valores de referência para componentes harmônicas na corrente. ...	109
Figura 124 – Distorção harmônica da tensão, QGF do bloco A, 29/01 a 05/02/2014.	111
Figura 125 – Distorção harmônica da corrente, QGF do bloco A, 05/02 a 12/02/2014.	111
Figura 126 - Distorção harmônica da tensão, QD do pavimento térreo do bloco A, 12/02 a 19/02/2014.	112
Figura 127 - Distorção harmônica da corrente, QD do pavimento térreo do bloco A, 19/02 a 26/02/2014.	112
Figura 128 - Distorção harmônica da tensão, QD do primeiro pavimento do bloco A, 26/02 a 05/03/2014.	113

Figura 129 - Distorção harmônica da corrente, QD do primeiro pavimento do bloco A, 05/03 a 12/03/2014.	113
Figura 130 - Distorção harmônica da tensão, QD do segundo pavimento do bloco A, 26/03 a 02/04/2014.	114
Figura 131 - Distorção harmônica da corrente, QD do segundo pavimento do bloco A, 26/03 a 02/04/2014.	114
Figura 132 - Distorção harmônica da tensão, QD do terceiro pavimento do bloco A, 12/03 a 18/03/2014.	115
Figura 133 - Distorção harmônica da corrente, QD do terceiro pavimento do bloco A, 18/03 a 25/03/2014.	115
Figura 134 - Distorção harmônica da tensão, QD do pavimento térreo do bloco C, 14/04 a 21/04/2014.	116
Figura 135 - Distorção harmônica da tensão, QD do primeiro pavimento do bloco C, 30/04 a 07/05/2014.	117
Figura 136 - Distorção harmônica da corrente, QD do primeiro pavimento do bloco C, 07/05 a 14/05/2014.	117
Figura 137 - Distorção harmônica da tensão, QD do segundo pavimento do bloco C, 14/05 a 21/05/2014.	118
Figura 138 - Distorção harmônica da corrente, QD do segundo pavimento do bloco C, 21/05 a 28/05/2014.....	118
Figura 139 - Distorção harmônica da tensão, QD do terceiro pavimento do bloco C, 28/05 a 04/06/2014.	120
Figura 140 - Distorção harmônica da corrente, QD do terceiro pavimento do bloco C, 04/06 a 10/06/2014.	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Energia reativa excedente obtida a partir da análise das faturas de energia	34
Tabela 2 - DIC, FIC, DMIC.	39
Tabela 3 - DIC, FIC e DMIC em seu período trimestral.....	40
Tabela 4 - DIC, FIC e DMIC em seu período anual.....	41
Tabela 5 - Eventos de afundamento de tensão no QD pavimento térreo do bloco A.	49
Tabela 6 - Eventos de afundamento de tensão no QGF do bloco A.	49
Tabela 7 - Eventos de afundamento de tensão no QD do terceiro pavimento do bloco A.....	50
Tabela 8 - Eventos de afundamento de tensão no QD do segundo pavimento do bloco C.....	51
Tabela 9 - Eventos de afundamento de tensão no QD do terceiro pavimento do bloco C.....	52
Tabela 10 - Valores de referência para <i>flicker</i>	55
Tabela 11 - Evento de <i>flicker</i> no QGF do bloco A.	56
Tabela 12 - Eventos de <i>flicker</i> no QD térreo do bloco A.	56
Tabela 13 - Eventos de <i>flicker</i> no QD do terceiro pavimento do bloco A.	58
Tabela 14 - Eventos de <i>flicker</i> no QD térreo do bloco C.	58
Tabela 15 - Eventos de <i>flicker</i> no QD do segundo pavimento do bloco C.	59
Tabela 16 - Eventos de <i>flicker</i> no QD do terceiro pavimento do bloco C.	59
Tabela 17 - Variação da frequência e seus limites de tempo.	62
Tabela 18 - Eventos de variação de frequência no QGF do bloco A.....	63
Tabela 19 - Eventos de variação de frequência no QD térreo do bloco C.	63

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
PIB	Produto Interno Bruto

LISTA DE SIGLAS

QEE	Qualidade de energia elétrica
DIC	Duração de interrupção individual por unidade consumidora
FIC	Frequência de interrupção individual por unidade consumidora
DMIC	Duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora no ponto de conexão
QD	Quadro de Distribuição
QGF	Quadro Geral de Força

LISTA DE ACRÔNIMOS

RMS	Root-mean-square
DC	Direct Current
AC	Alternating Current

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 CONDIÇÕES IDEIAS DE FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA ELÉTRICO 17	
2.1.1 Forma de onda senoidal	17
2.1.2 Amplitude constante	18
2.1.3 Frequência constante	18
2.1.4 Equilíbrio de fases	19
2.1.5 Fator de potência unitário	20
2.1.6 Perdas nulas	20
2.2 CONDIÇÕES REAIS DE FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA ELÉTRICO	20
2.2.1 Transientes	21
2.2.1.1 Transiente impulsivo	21
2.2.1.2 Transiente oscilatório	21
2.2.2 Variações de tensão de longa duração.....	22
2.2.2.1 Sobretensões (<i>overvoltages</i>)	22
2.2.2.2 Subtensões (<i>undervoltages</i>)	23
2.2.2.3 Interrupções sustentadas	23
2.2.3 Variações de tensão de curta duração	23
2.2.3.1 Interrupção	23
2.2.3.2 Afundamento de tensão (<i>voltage sags</i>).....	24
2.2.3.3 Elevação de tensão (<i>voltage swells</i>)	25
2.2.4 Desequilíbrio de tensão	26
2.2.5 Distorção da forma de onda.....	26
2.2.5.1 Nível contínuo	27
2.2.5.2 Harmônicas	27
2.2.5.3 Inter-harmônicas	28
2.2.5.4 Recorte de comutação	28
2.2.5.5 Ruídos.....	29
2.2.6 Flutuação de tensão	29
2.2.7 Variação na frequência	30
3 EQUIPAMENTOS E MÉTODOS	31
4 ANÁLISE DOCUMENTAL.....	34
5 ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA.....	44
5.1 VARIAÇÕES NA AMPLITUDE DE TENSÃO E TRANSIENTES.....	44
5.1.1 Variações da amplitude da tensão.....	44
5.1.2 Registro de acontecimentos	47
5.1.2.1 Interrupções	47

5.1.2.2 Afundamentos de tensão	48
5.1.2.3 Elevações de tensão.....	53
5.1.2.4 Transientes	53
5.2 FLICKER.....	53
5.2.1 Registro de acontecimentos	55
5.3 VARIAÇÕES NA FREQUÊNCIA.....	61
5.3.1 Registro de acontecimentos	62
5.4 CURVA ITI CBEMA.....	64
5.4.1 Registro de acontecimentos	67
5.5 DISTORÇÕES HARMÔNICAS	70
5.5.1 Conteúdo Harmônico (Um breve estudo da série de Fourier)	74
5.5.2 Análise dos indicadores de distorção harmônica.....	75
5.5.3 Apresentação e análise dos dados	76
6 CONCLUSÃO	122
REFERÊNCIAS	125

1 INTRODUÇÃO

Antes considerada um sinônimo de luxo para a sociedade, hoje a energia elétrica se faz fundamental no desenvolvimento de toda a vida moderna, seja ela no campo, nas grandes cidades, nos centros industriais ou no ambiente residencial. Presente nas mais simples tarefas do dia a dia, como assistir à televisão ou carregar a bateria de um telefone celular, às tarefas, mais complexas como uma cirurgia delicada ou na indústria aeroespacial. Diante da importância de tal insumo para fomentar o crescimento econômico de um país ou conforto de uma família, é que ao longo dos anos várias pesquisas foram e continuam sendo desenvolvidas para analisar diferentes aspectos que compõem um grande sistema energético, desde a geração até o consumidor final. Assim, este trabalho vem dar sua contribuição dentro de um tema muito recorrente no setor elétrico nos últimos anos: a qualidade de energia elétrica (QEE).

Segundo Kennedy em *Power Quality Primer (2000)*, a qualidade de energia pode ser definida em três diferentes perspectivas: geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Como exemplo, tem-se que a qualidade de energia em um gerador usualmente refere-se à capacidade deste gerar potência com frequência constante, enquanto a qualidade de energia na transmissão e distribuição refere-se à capacidade do sistema manter a tensão dentro de limites especificados por normas, ou seja, em torno de 5% de erro em relação à sua amplitude nominal. Para Dugan *et al* em *Power Systems Quality (2002, p. 3)*, qualidade de energia é definida como: “Qualquer problema manifestado em um sistema elétrico em forma de tensão, corrente ou variações de frequência que resultam em falhas ou não operação em equipamentos do usuário final.”

No entanto, os distúrbios relacionados à tensão, corrente ou frequência estão aumentando cada vez mais devido a alguns processos naturais dentro do desenvolvimento do setor elétrico, tais como:

- 1) Aumento de cargas não lineares operando no sistema, pois devido à necessidade de sistemas cada vez mais eficientes, utilizam-se equipamentos que acabam aumentando a quantidade de componentes harmônicas na rede;
- 2) A ampliação do sistema elétrico e suas interligações faz aumentar a sua complexidade. Isso se deve a quantidade de diferentes equipamentos com

diferentes características e dinâmicas de operação. Assim, qualquer falha em um desses equipamentos pode levar a interrupções de fornecimento para grandes blocos consumidores;

Isso tem justificado o crescente número de pesquisas em torno desse assunto, além, é claro, do viés econômico que a deficiência na qualidade de energia traz para as concessionárias, para a indústria e para o usuário cativo em sua residência. (Oliveira, 2009).

É dentro deste contexto, que este trabalho de conclusão de curso propôs uma análise dos principais indicadores de QEE apresentados nas literaturas sobre o assunto. Para esta análise foram coletados dados nos quadros gerais de força (QGF), e nos quadros de distribuição (QD) de cada pavimento dos blocos A e C da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Toledo. A análise desses indicadores possibilita apontar problemas relacionados à QEE em nosso campus, e a partir disso, propor ações corretivas para amenizar os problemas encontrados.

Os indicadores de QEE analisados neste trabalho foram os seguintes:

- 1) Transientes;
- 2) Variações de tensão de curta e longa duração;
- 3) Desequilíbrio de tensão;
- 4) Distorções na forma de onda;
- 5) Flutuação de tensão;
- 6) Variações na frequência;
- 7) Distorções harmônicas.

O equipamento utilizado para aquisição dos dados foi o *FLUKE® 434*, um analisador de qualidade de energia, e os dados obtidos foram analisados a partir dos softwares *PowerLog V. 4.0.2* e *FlukeView V3.34*.

Os dados foram coletados em dez QD's dos blocos A e C, durante um período de vinte semanas, ou seja, duas semanas coletando dados em cada um dos QDs. Realizou-se, também, uma análise documental através do histórico das faturas de energia elétrica do campus Toledo, buscando identificar problemas relacionados às interrupções excessivas no fornecimento de energia elétrica. Além destas informações, foram utilizados dados obtidos a partir do *site* da Companhia

Paranaense de Energia Elétrica (COPEL), concessionária que atua no estado do Paraná.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução, mostrando alguns conceitos sobre qualidade de energia elétrica. O segundo capítulo faz uma revisão a respeito da teoria sobre QEE e, no terceiro, se discute a metodologia e os equipamentos utilizados para a realização deste trabalho. No quarto capítulo são apresentados os resultados da análise documental e, no quinto capítulo, apresentam-se os dados obtidos através das coletas de dados nos blocos A e C. A conclusão do trabalho é apresentada no sexto e último capítulo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o aumento da utilização de equipamentos, e de processos produtivos, cada vez mais sensíveis às variações de energia elétrica, fez aumentar as exigências dos consumidores e fabricantes de equipamentos com relação a qualidade da elétrica energia elétrica entregue a estas cargas.

Desse modo, as agências reguladoras, no caso brasileiro a ANEEL, e o próprio mercado, estimulam as concessionárias a gerenciarem a qualidade da energia que vendem, e a prestarem contas das condições de operação e dos eventos que possam alterar a estabilidade do sistema elétrico de distribuição que afetam diretamente o consumidor final (Deckmann; Pomílio, 2010).

Um sistema elétrico torna-se deficiente, quando as cargas ligadas a este sistema, apresentam variações em suas características normais de funcionamento. Por exemplo, as lâmpadas apresentando variações de cintilação, motores sofrendo com vibrações mecânicas, sobreaquecimento, equipamentos, de um modo geral, operando com temperatura elevada, sistemas de proteção atuando indevidamente ou bancos de capacitores com sobretensões ou sobrecorrentes. Estes fatores além de gerar uma diminuição da vida útil do equipamento, tais como motores, transformadores, capacitores, equipamentos em eletrônica de potência ou microeletrônica, podem causar perturbações físicas como o ruído incômodo de um motor que vibra ou desconforto visual devido a variação luminosa, ou seja, efeito *flicker*. (Deckmann; Pomílio, 2010).

Outro ponto importante nesta questão está relacionado aos impactos econômicos que uma má qualidade de energia pode provocar em uma planta industrial. Estudos realizados na Europa, apontam que custos relacionados à área energética devido a estas perturbações podem custar até 1,5% do PIB de um país (Union of The Electricity Industry, 2002).

Ciente da importância da análise da QEE é necessário, também, saber como fazê-la. O processo de análise de QEE possui várias fases, cujas principais são:

- 1) Conhecer o lugar e os possíveis problemas a se enfrentar;
- 2) A partir de documentos cedidos pelo local em questão, deve-se entender as condições locais onde o problema possa se manifestar;

- 3) A partir de equipamentos especializados, obter dados para a futura análise;
- 4) Após a captação dos dados em campo, deve-se realizar a análise citada no item 3, e, com isso, realizar comparações com os conceitos considerados ideais para um sistema elétrico;
- 5) Diagnosticado o problema é possível formular ações corretivas para a melhoria dos indicadores (Deckmann; Pomílio, 2010);

Na próxima seção são apresentadas as condições ideais de funcionamento e os distúrbios analisados neste trabalho.

2.1 CONDIÇÕES IDEIAS DE FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA ELÉTRICO

Nesta sessão são apresentadas as condições ideais de operação para um sistema elétrico trifásico operando em regime permanente, que garantem o atendimento em conformidade com a norma.

2.1.1 Forma de onda senoidal

O uso da forma de onda senoidal está associado ao princípio de conversão eletromagnética de energia, que é expressa pela Lei de indução de Faraday, ou seja, para que a reversibilidade do processo de conversão eletromagnética seja garantida, preservando as formas de ondas do fluxo da corrente e da tensão, é necessário que as variações no tempo sejam senoidais (Deckmann; Pomílio, 2010). A equação característica de uma forma de onda senoidal é descrita abaixo e sua forma de onda é ilustrada na figura 1:

$$v(t) = A \cdot \text{sen}(2\pi ft + \theta)$$

Onde:

A : Amplitude da onda senoidal;

f : frequência da onda;

θ : ângulo de fase relativo à referência temporal;

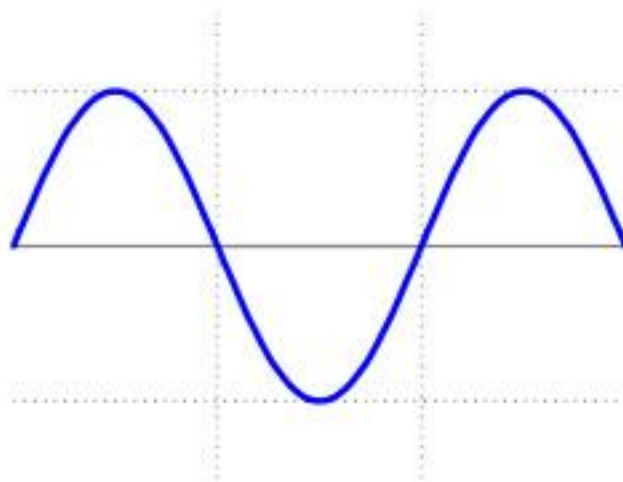


Figura 1 – Onda senoidal.
Fonte: Brasil Escola (2013)

2.1.2 Amplitude constante

A amplitude constante das formas de onda de corrente e tensão de uma rede determina que a potência desejada está sendo entregue às cargas passivas de impedância constante. O controle dessa amplitude deve ser realizado em todo o conjunto que envolve geração, transmissão e distribuição, dado que com a existência de cargas reativas que geram correntes indutivas e/ou capacitivas, aumenta-se o problema de perdas em um sistema elétrico (Oliveira, 2009).

2.1.3 Frequência constante

É fundamental para um sistema de potência operando de forma interligada que a frequência da tensão seja mantida constante, para isso um controle contínuo e rigoroso é estabelecido na geração de energia, para que seja mantida a estabilidade da operação dos geradores síncronos e o sincronismo entre os vários geradores interligados.

2.1.4 Equilíbrio de fases

Um sistema elétrico trifásico, além de possuir ondas senoidais puras, com amplitude e frequência constantes, deve se preocupar com a transmissão e distribuição harmônica de sua potência, ou seja, a mesma quantidade de potência para cada fase. Para que este equilíbrio seja atendido, é necessário que:

- 1) Todos os componentes do circuito possuam as mesmas características magnéticas e elétricas;
- 2) As tensões de fase devem possuir a mesma amplitude e uma defasagem de 120° entre as mesmas;

As condições estarão satisfeitas se as tensões trifásicas forem dadas da seguinte maneira:

$$V_a(t) = A \cdot \text{sen}(2\pi ft + \theta)$$

$$V_b(t) = A \cdot \text{sen}\left(2\pi ft + \theta - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$V_c(t) = A \cdot \text{sen}\left(2\pi ft + \theta + \frac{2\pi}{3}\right)$$

A representação vetorial das tensões de cada uma das fases V_a , V_b e V_c é ilustrada na figura 2, considerando $\theta = 0^\circ$.

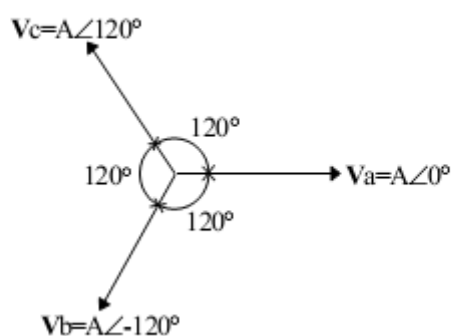


Figura 2 – Representação vetorial das tensões trifásicas equilibradas, onde $\theta = 0^\circ$.
Fonte: Deckmann; Pomílio (2010, P. 3)

Sabe-se que o fluxo de potência de um sistema equilibrado é unidirecional – da fonte para carga – e constante. Sendo assim, a maior contribuição de um sistema equilibrado é a impossibilidade de ocorrer circulação desnecessária de potência na rede e sobrecarga de uma fase em relação às outras (Deckmann; Pomílio, 2010).

2.1.5 Fator de potência unitário

São muitas as vantagens de se operar um sistema com fator de potência unitário, dentre elas se destaca a minimização o fluxo de potência na linha para uma determinada carga, já que não trafega potência reativa, minimiza as perdas na transmissão, melhora a capacidade de regulação de tensão. No Brasil, a ANEEL estabeleceu para o fator de potência o valor igual a 0.92 para tensões menores de 69kV (Deckmann; Pomílio, 2010).

2.1.6 Perdas nulas

Do ponto de vista econômico, a inexistência de perdas seria ideal, porém, na realidade nenhum sistema em operação, por mais simples que seja, apresenta perdas nulas. Uma parcela da energia acaba sendo dissipada na forma de calor na parte resistiva de máquinas girantes, transformadores e linhas de transmissão. Apesar disso, a resistência série em transformadores e linhas de transmissão tem fundamental importância na atenuação de transientes, comuns em sistemas elétricos de potência. Nos sistemas atuais, as perdas correspondem de 3 a 5% da potência transmitida (Deckmann; Pomílio, 2010).

2.2 CONDIÇÕES REAIS DE FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA ELÉTRICO

Por mais desenvolvidos que sejam os componentes de um sistema elétrico, a operação de forma ideal é muito difícil de ser garantida, dado o fato de que sempre podem haver falhas de equipamentos e as condições de uso podem ser adversas às condições de projeto, como exposição ao tempo, ou a distúrbios, como a ação de descargas atmosféricas. Então, conhecendo as condições ideais de funcionamento de um sistema elétrico, é possível comparar o afastamento das condições reais de operação com relação às condições ideais, e portanto, avaliar de forma qualitativa e quantitativa os indicadores de QEE do sistema analisado.

Utilizando esta metodologia podemos inferir índices que avaliam o grau de deterioração da QEE, em função de distúrbios presentes no sistema analisado.

Uma maneira mais clara de se entender quais são esses distúrbios é pontuá-los. Entretanto, há um grande número de problemas que podem prejudicar a QEE, sendo os principais elencados a seguir (Deckmann; Pomílio, 2010).

2.2.1 Transientes

A palavra transiente vem sendo utilizada nos sistemas de potência para indicar um evento indesejável e de natureza momentânea. Os transientes são efeitos eletromagnéticos que alteram de forma abrupta as condições de operação de um sistema elétrico em um curto espaço de tempo. Há duas formas de transiente: impulsivo e oscilatório (Dugan et al, 2002).

2.2.1.1 Transiente impulsivo

Quando há alterações repentinas no regime permanente da tensão, da corrente, ou de ambas, de uma forma unidirecional da polaridade, ou seja, positiva ou negativa, gerando uma frequência completamente diferente da frequência da rede, isto pode ser chamado de transiente impulsivo. Este tipo de transiente, ilustrado na figura 3, é frequentemente causado por descargas atmosféricas e são caracterizados, normalmente, pela sua forma: ascensão e decaimento (Dugan et al, 2002).

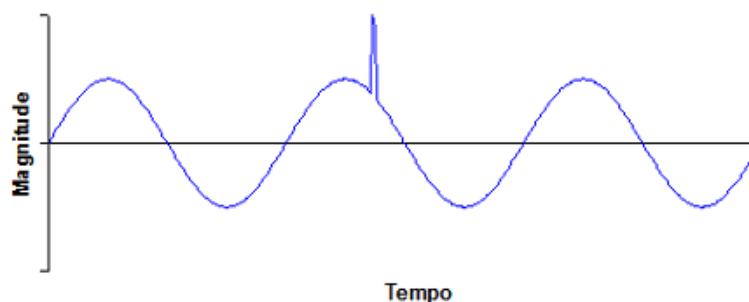


Figura 3 – Transiente impulsivo.
Fonte: Oliveira (2009, P. 6)

2.2.1.2 Transiente oscilatório

De modo semelhante ao transiente impulsivo, o transiente oscilatório também é uma variação abrupta no regime permanente de tensão, corrente, ou de

ambas, no entanto, sua forma não é de polaridade unidirecional, ou seja, durante sua existência, atinge valores negativos e positivos, sendo que a característica de sua forma de onda é dada pela frequência, duração e magnitude. Este tipo de transiente, ilustrado na figura 4, pode ser causado pelo chaveamento de banco de capacitores e transformadores, energização de linhas de transmissão e eliminação de faltas (Dugan *et al*, 2002).

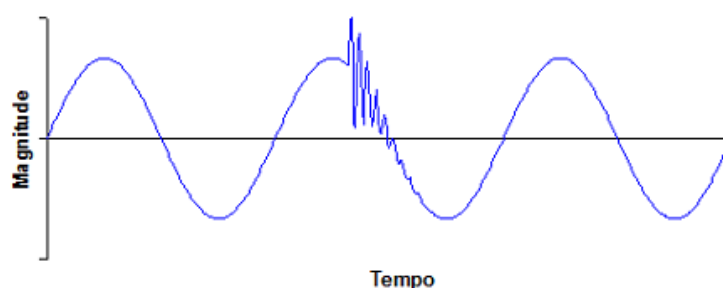


Figura 4 – Transiente oscilatório.
Fonte: Oliveira (2009, P. 6)

2.2.2 Variações de tensão de longa duração

As variações de tensão de longa duração são distúrbios que envolvem o valor RMS, devido às variações de frequência que duram mais de um minuto. Tais variações podem ser divididas em: sobretensões, subtensões e interrupções sustentadas (Dugan *et al*, 2002).

2.2.2.1 Sobretensões (*overvoltages*)

As sobretensões, ou *overvoltages*, são o aumento do valor eficaz da tensão acima de 110% da tensão nominal do sistema durante mais de um minuto. Este efeito pode ser causado devido ao seccionamento de chaves com grandes cargas ou o chaveamento de um banco de capacitores (Dugan *et al*, 2002).

2.2.2.2 Subtensões (*undervoltages*)

Segundo Kennedy em *Power Quality Primer (2000)*, as subtensões, ou *undervoltages*, são fenômenos que ocorrem quando há um decaimento para menos de 90% da tensão nominal do sistema durante mais de um minuto. Este efeito pode ser observado, por exemplo, quando as lâmpadas emitem luz com menos intensidade ou quando motores giram mais lentamente.

2.2.2.3 Interrupções sustentadas

Quando a tensão eficaz vai abaixo de 10% de seu valor nominal por mais de um minuto em uma ou mais fases, dá-se o nome de interrupção sustentada. Este tipo de interrupção pode ser ocasionada, repentinamente, por um problema em uma linha de transmissão que fica impossibilitada de operar, ou por uma manutenção de rotina, ou no momento que ocorre uma transferência de carga (Oliveira, 2009).

2.2.3 Variações de tensão de curta duração

As variações de tensão de curta duração são distúrbios que causam alteração no valor eficaz da tensão e podem ser definidos de acordo com sua duração: instantâneo (0.5 a 30 ciclos), momentâneo (0,5 s a 3 s) ou temporário (3 s a 1 minuto).

Suas principais causas são condições de falha, energização de cargas robustas que necessitam de altas correntes ou perdas intermitentes nas conexões das linhas de transmissão. São divididas em três categorias: afundamento de tensão (*voltage sags*), elevação de tensão (*voltage swells*) ou perda total da tensão (interrupção) (Dugan *et al*, 2002).

2.2.3.1 Interrupção

Como visto acima nas interrupções sustentadas, a interrupção de curta duração ocorre quando a tensão atinge valor menor ou igual a 10% da tensão

nominal, durante um tempo menor que 1 minuto. Suas principais causas são falhas no sistema de transmissão, como curtos-circuitos, mau funcionamento em sistemas de controle e falhas em equipamentos (Dugan *et al*, 2002). A figura 5 exemplifica uma interrupção de curta duração.



Figura 5 – Interrupção.
Fonte: Oliveira (2009, P. 7)

2.2.3.2 Afundamento de tensão (*voltage sags*)

É um distúrbio de curta duração em que o valor nominal da tensão eficaz varia entre 10% a 90% de seu valor, durante um período de 0,0083 s até um minuto. O afundamento de tensão nos sistemas de transmissão e distribuição, ilustrado na figura 6, pode ser causado pela conexão de cargas elevadas (Kennedy, 2000).

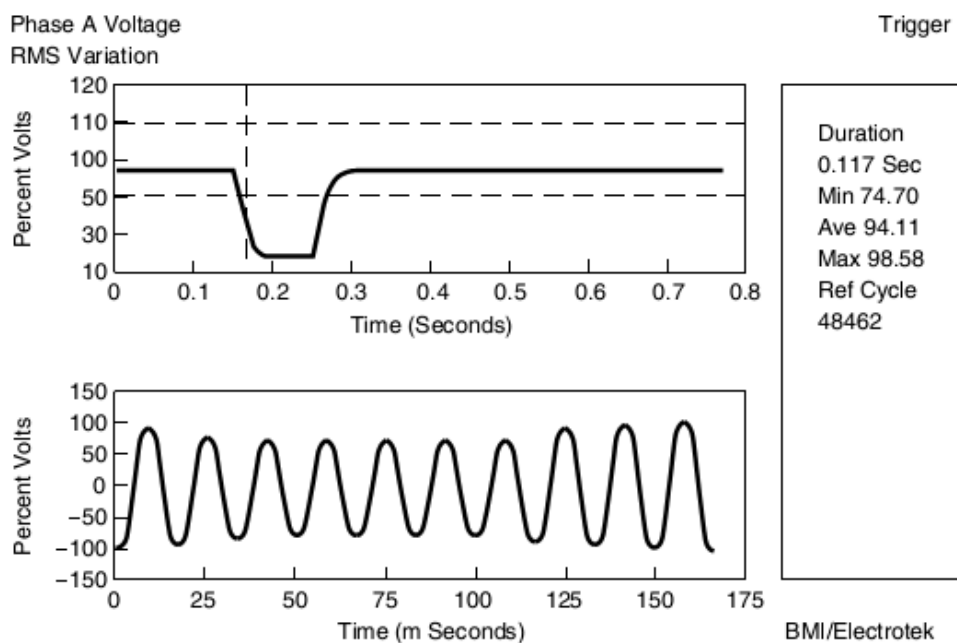


Figura 6 – Afundamento de tensão.
Fonte: Kennedy (2000, P. 36) (Cortesia: Dranetz-BMI/Electrotek)

2.2.3.3 Elevação de tensão (*voltage swells*)

A elevação momentânea de tensão é uma alteração maior de 110% do valor eficaz da tensão nominal durante menos de um minuto, como ilustrado na figura 7. Possuem uma ocorrência muito menor que os afundamentos de tensão. Suas maiores causas são curtos-circuitos devido a incidência de raios ou choques de árvores, por exemplo, em condutores vivos (Kennedy, 2000).

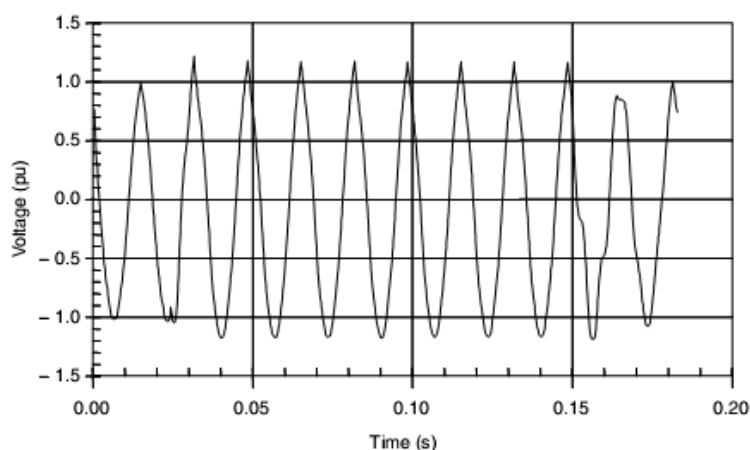


Figura 7 – Elevação de tensão.
Fonte: Dugan *et al* (2002, P. 24)

2.2.4 Desequilíbrio de tensão

O desequilíbrio de tensão se caracteriza como a variação desigual dos ângulos de fase e/ou amplitudes das tensões trifásicas. Tal desequilíbrio é causado pela má distribuição das cargas mono ou bifásicas em sistemas trifásicos, além de grandes cargas trifásicas não lineares, tais como fornos de arco elétrico (Deckmann; Pomílio, 2010). A figura 8 exemplifica um sistema trifásico desequilibrado.

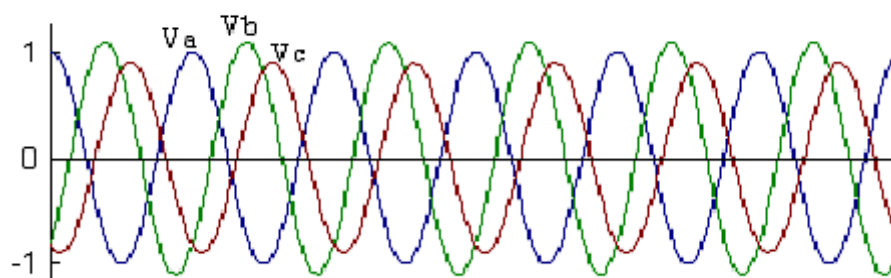


Figura 8 – Desequilíbrio de fase em magnitude e fase.
Fonte: Deckmann; Pomílio (2010, P. 11)

2.2.5 Distorção da forma de onda

Estas distorções são caracterizadas a partir de um conteúdo espectral que causa uma deformação na forma de onda puramente senoidal em regime permanente na frequência fundamental. Existem cinco tipos primários de distorções

da forma de onda, são elas: nível contínuo, harmônicas, inter-harmônicas, recortes de comutação e ruído (Dugan *et al*, 2002).

2.2.5.1 Nível contínuo

Este tipo de distorção, ilustrada na figura 9, é causado pela presença de tensões ou correntes DC em sistemas elétricos AC. Este fenômeno pode ocorrer devido à ocorrência de distúrbios magnéticos ou assimetria em conversores em eletrônica de potência (Dugan *et al*, 2002).

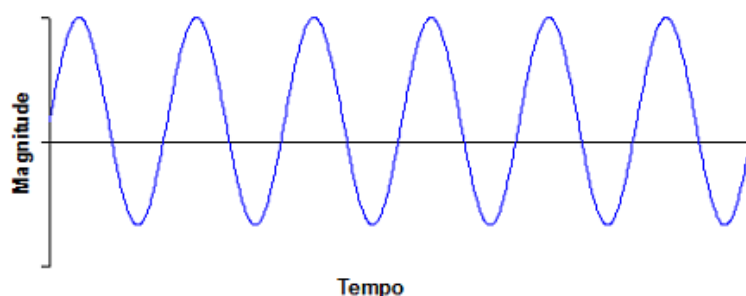


Figura 9 – Forma de onda com nível DC..
Fonte: Oliveira (2009, P. 10)

2.2.5.2 Harmônicas

Define-se como harmônicas a existência de múltiplos inteiros da frequência designada a operar, 50Hz ou 60 Hz, nas formas de onda senoidais de tensão ou corrente. Tais harmônicas são originadas a partir de características não lineares de dispositivos e/ou cargas em sistemas de potência (Dugan *et al*, 2002). Na figura 10 é ilustrado um sinal onde ocorre a presença de harmônicas.

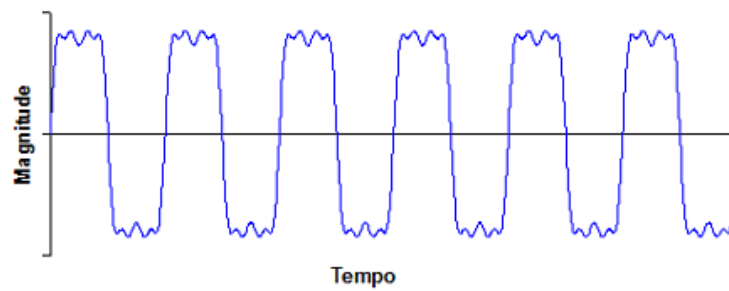


Figura 10 – Presença de harmônicas em uma onda senoidal.
Fonte: Oliveira (2009, P. 10)

2.2.5.3 Inter-harmônicas

Como citado acima, as frequências de operação dos sistemas elétricos possuem múltiplos inteiros que distorcem as formas de onda puramente senoidais de corrente e tensão. As inter-harmônicas são múltiplos não inteiros que também geram distorção nas formas de onda, como ilustrado na figura 11. Tal fenômeno é causado, principalmente, por conversores estáticos de potência, cicloconversores, motores de indução e forno a arco (Dugan *et al*, 2002).

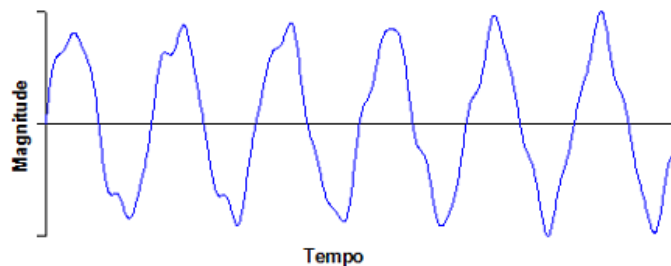


Figura 11 – Presença de inter-harmônicas no sinal senoidal.
Fonte: Oliveira (2009, P. 11)

2.2.5.4 Recorte de comutação

Também conhecido como *notching*, é um distúrbio periódico de tensão causado pela operação normal de dispositivos de eletrônica de potência quando a corrente é comutada de uma fase para a outra. Esse efeito, ilustrado na figura 12, é detectado a partir do conteúdo harmônico da tensão afetada, onde são geradas componentes de frequência de alto valor (Dugan *et al*, 2002).

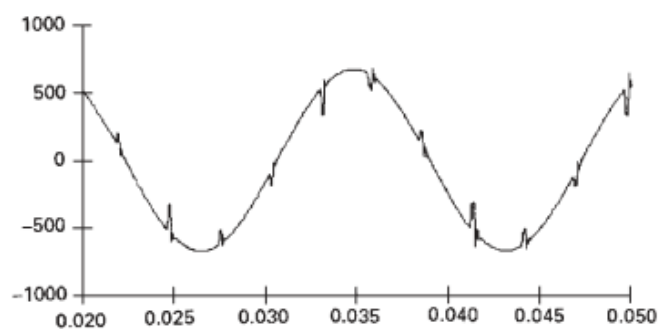


Figura 12 – Recorte de comutação causado por um conversor trifásico.
Fonte: Dugan et al (2002, P. 28)

2.2.5.5 Ruídos

Ruídos são sinais elétricos indesejáveis contendo larga faixa espectral com frequências menores do que 200kHz, onde estes são sobrepostos a tensões ou correntes de fase, ou encontradas em condutores neutros. São causadas por equipamentos de eletrônica de potência, circuitos de controle, forno a arco, fontes chaveadas e aterramentos mal elaborados (Oliveira, 2009). Um exemplo de sinal senoidal com presença de ruídos em ilustrado na figura 13.

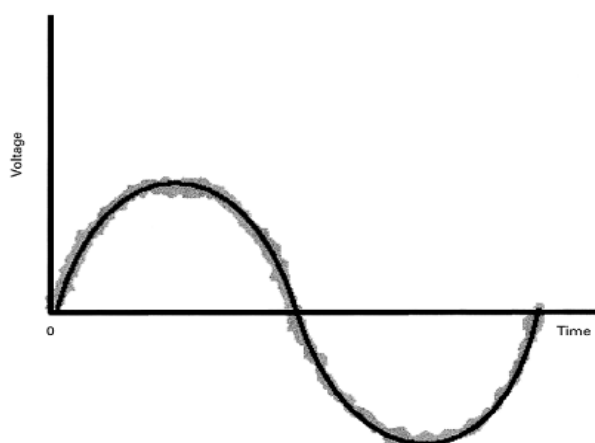


Figura 13 – Ruído Elétrico.
Fonte: Kennedy (2000, P. 50)

2.2.6 Flutuação de tensão

São variações sustentadas da magnitude da tensão fundamental, onde seu valor varia entre 90% a 110% do valor nominal da tensão. Sua principal consequência é o *flicker*, que é a cintilação em lâmpadas visíveis a olho nu, além de

oscilação na potência de motores elétricos, queda de rendimento de equipamentos ou interferência nos sistemas de proteção (Deckmann; Pomílio, 2010; Oliveira, 2009). Um exemplo é ilustrado na figura 14.

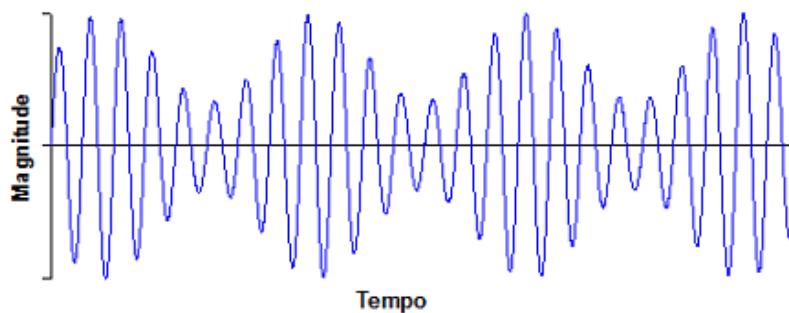


Figura 14 – Flutuação de tensão
Fonte: Oliveira (2009, P. 12)

2.2.7 Variação na frequência

Segundo Dugan *et al* em *Electrical Power Systems Quality (2002)*, variação na frequência é a variação da frequência fundamental de um sistema de potência em relação a seu valor nominal. É causada, principalmente, por falhas no sistema de transmissão ou saída de um grande bloco de carga (Oliveira, 2009).

3 EQUIPAMENTOS E MÉTODOS

O *insight* para a realização deste trabalho surgiu de diversas discussões sobre o assunto QEE, em sala de aula, e também pelo fato desta pesquisa ser inédita em nosso campus, abrindo caminho para outras pesquisas futuras relacionadas a temas afins. Além disso, esta pesquisa irá revelar como anda a qualidade da energia em nosso campus, quais são os problemas, seus impactos sobre a instalação elétrica e sobre os equipamentos nele conectados, e como tratá-los.

Os dados analisados neste trabalho, já comentados no capítulo anterior, foram coletados nos QDs dos blocos A e C. O período de coleta foi de duas semanas para cada QD, compreendendo o período entre o dia 27 de janeiro até o dia 30 de junho de 2014.

A princípio, o período de medição seria de apenas uma semana para cada QD, no entanto, uma limitação técnica do equipamento utilizado, FLUKE® 434, impossibilitou que isso acontecesse: como a universidade não dispunha do equipamento com a versão atualizada do *software*, fez-se necessário obter os dados de taxa de distorção harmônica de corrente de maneira isolada, ou seja, os eventos de tensão foram medidos na primeira semana enquanto os eventos de harmônica foram medidos na segunda semana, isso se repetiu para cada QD analisado.

O equipamento utilizado na coleta de dados é o analisador de qualidade de energia FLUKE® 434, figura15, que foi disponibilizado pela universidade para a realização deste projeto, além de contar, também, com a utilização dos *softwares* *PowerLog V. 4.0.2* e *FlukeView V3.34*, onde foram analisados os dados coletado pelo *hardware* de aquisição.



Figura 15 – Analisador de qualidade de energia *FLUKE*® 434.
Fonte: Própria

A figura 16 mostra a forma de ligação do equipamento ao sistema elétrico, neste caso, aos QD's dos blocos A e C.

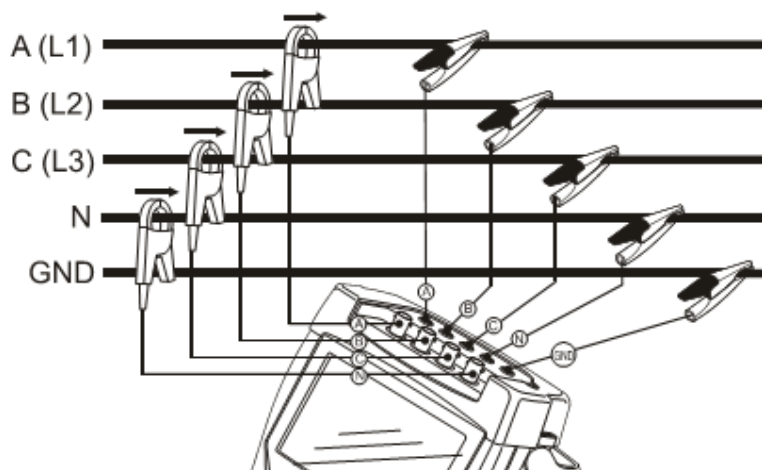


Figura 16 – Modo de ligação do analisador de qualidade de energia
Fonte: *FLUKE*® (2008)

De acordo com o manual do equipamento, o analisador de qualidade de energia tem a capacidade de coletar dados para todos os distúrbios citados no capítulo 2, embora seja necessário aumentar o tempo de coleta. Além da análise dos dados obtidos nos blocos A e C, um segundo estudo, desta vez de documentos, foi realizada, através do histórico das faturas de energia elétrica da UTFPR-Toledo, bem como de dados obtidos diretamente com a concessionária Copel. O próximo capítulo apresenta resultados desta análise, entre eles destacam-se, o consumo de reativos e os indicadores DIC, FIC, DMIC.

4 ANÁLISE DOCUMENTAL

Neste capítulo é realizada uma análise de documentos que mostram o comportamento de alguns indicadores importantes para as conclusões deste trabalho. Dentre estes indicadores estão: Fator de potência mensal médio, obtido através de dados obtidos com a concessionária Copel; Indicadores de interrupção individual, DIC, FIC e DMIC obtidos nas faturas de energia; Valores de demanda de potência ativa, consumo ativo e excedente de consumo de energia reativa.

Partindo deste princípio, analisaram-se as faturas datadas entre dezembro de 2011 a dezembro de 2013 e, a partir destas, retirou-se os valores excedentes de energia reativa, conforme apresentado na tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Energia reativa excedente obtida a partir da análise das faturas de energia
Fonte: COPEL

Meses	Energia Reativa Excedente (R\$)	Energia Reativa Excedente (kVArh)
Dezembro/2011	42,34	236
Janeiro/2012	129,90	724
Fevereiro/2012	125,78	701
Março/2012	76,25	425
Abril/2012	49,87	278
Maio/2012	25,47	142
Junho/2012	21,35	119
Julho/2012	6,74	32
Agosto/2012	9,70	46
Setembro/2012	27,25	129
Outubro/2012	19,00	90
Novembro/2012	20,06	95
Dezembro/2012	15,84	75
Janeiro/2013	53,52	254
Fevereiro/2013	42,87	215
Março/2013	22,58	118
Abril/2013	21,05	110
Maio/2013	10,90	57
Junho/2013	10,08	53
Julho/2013	2,62	13
Agosto/2013	7,14	34
Setembro/2013	3,15	15

Outubro/2013	7,77	37
Novembro/2013	2,50	12
Dezembro/2013	5,64	27
Janeiro/2014	8,20	39
Fevereiro/2014	2,31	11
Março/2014	7,14	34
Abril/2014	9,88	47
Maio/2014	16,18	77
Total	803,08(R\$)	

Percebe-se que a energia reativa excedente tem diminuído com o passar do tempo, mantendo-se relativamente estável a partir de julho de 2013. Uma das medidas para reduzir o consumo de energia reativa excedente seria a implantação de um banco de capacitores, no entanto, o alto custo do equipamento traria um impasse no quesito “custo-benefício”, pois com os baixos valores de energia reativa excedente, o tempo de amortização do investimento seria muito grande; outra possibilidade de melhoria no fator de potência estaria relacionado à substituição dos equipamentos com baixo fator de potência, principalmente as cargas de iluminação e equipamentos de climatização.

As causas para um baixo fator de potência são diversas, abaixo estão relacionadas algumas consideradas as principais (Manual de Orientação aos Consumidores: Energia Reativa Excedente, CODI – 2004):

- Motores e transformadores operando em “vazio” ou com pequenas cargas;
- Motores e transformadores superdimensionados;
- Grande quantidade de motores de pequena potência;
- Máquinas de solda;
- Lâmpadas de descarga: fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio – sem reatores de alto fator de potência;
- Excesso de energia capacitiva reativa.

As figuras 17 a 21 apresentam as curvas do fator de potência amostrado a cada 15 minutos, através do site da Copel. Analisando estas curvas, é possível afirmar se os níveis do fator de potência estão dentro do estabelecido pela ANEEL, que é de 0,92.

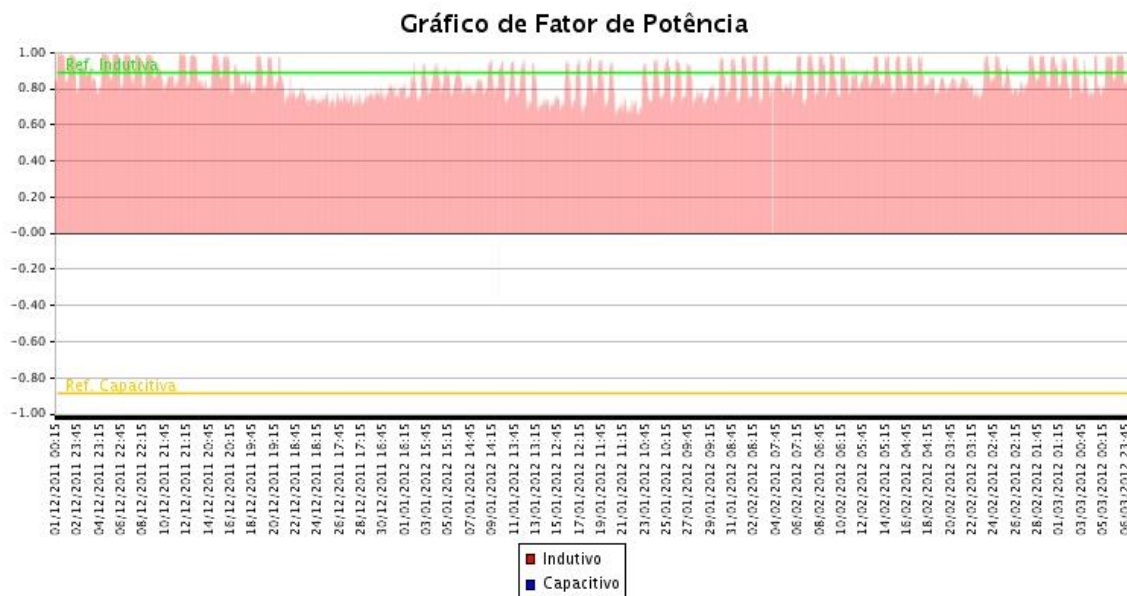


Figura 17 – Gráfico do fator de potência amostrado a cada 15 minutos entre o período de 01 de dezembro de 2011 a 08 de março de 2012.
Fonte: COPEL

A figura 17 mostra um fator de potência defasado em relação ao estabelecido pela ANEEL, o que pode ser causado pela sobrecarga do transformador ou de seu funcionamento a vazio, motores de indução operando a vazio, sendo esse o caso de alguns laboratórios, lâmpadas fluorescentes que utilizam reatores eletrônicos de baixo fator de potência.

Nas figuras 18 e 19 observa-se uma melhora significativa do desempenho do fator de potência em relação ao nível de 0,92

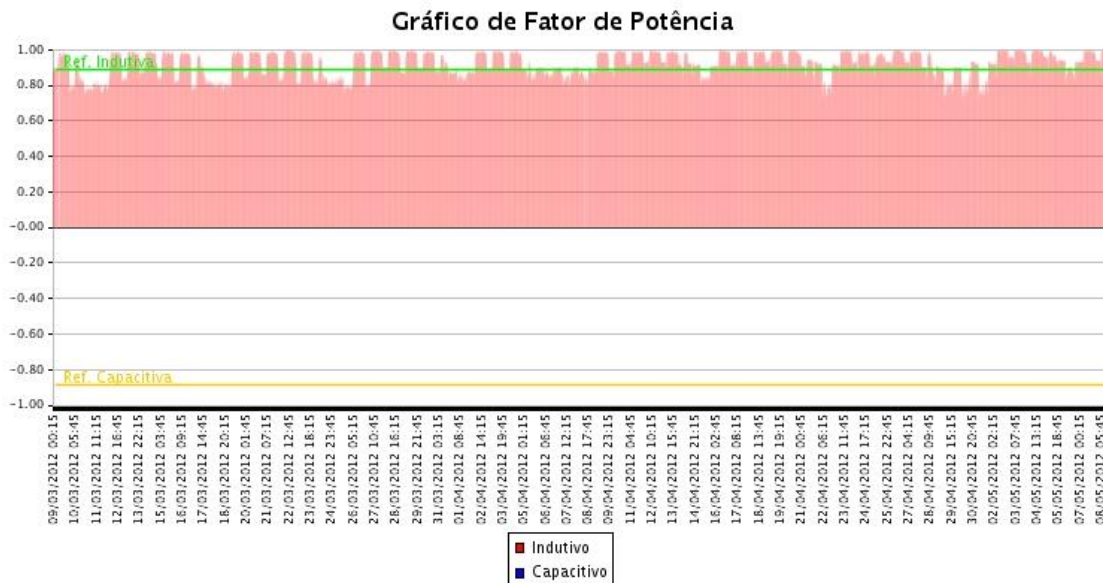


Figura 18 - Gráfico do fator de potência amostrado a cada 15 minutos entre o período de 08 de março de 2012 a 08 de maio de 2012.

Fonte: COPEL

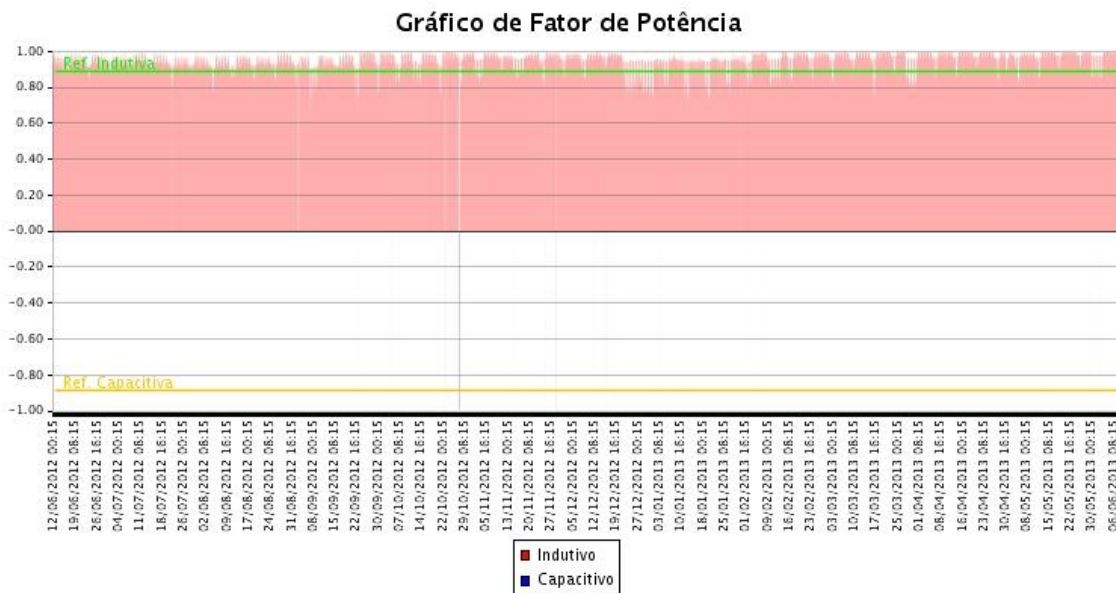


Figura 19 - Gráfico do fator de potência amostrado a cada 15 minutos entre o período de 12 de junho de 2012 a 11 de junho de 2013.

Fonte: COPEL

As figuras 20 e 21 mostram o fator de potência em seus melhores índices.

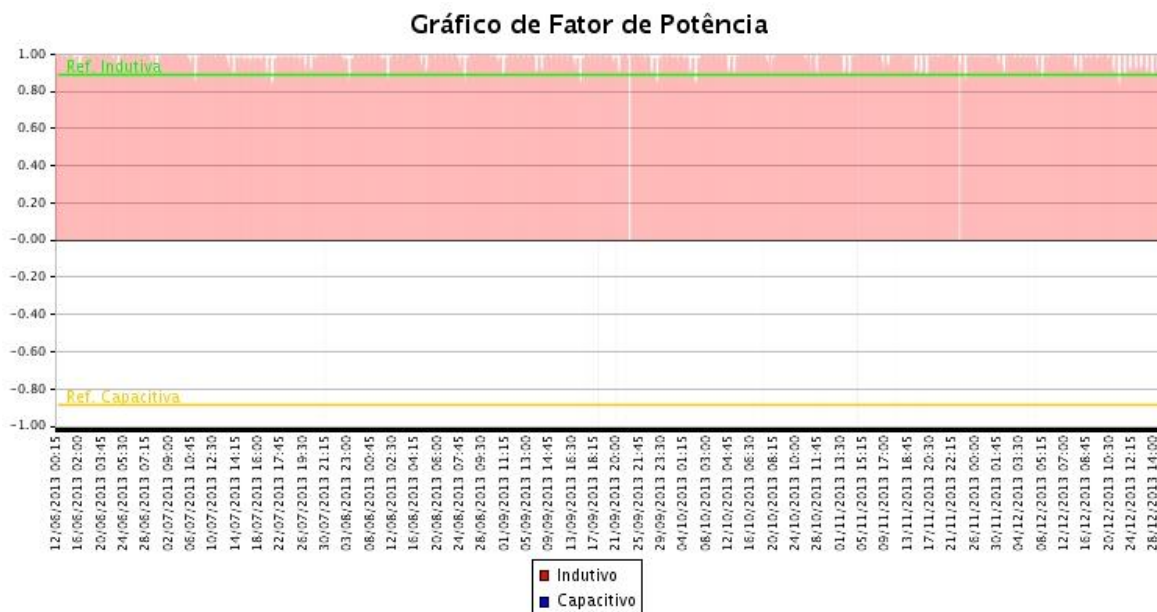


Figura 20 - Gráfico do fator de potência amostrado a cada 15 minutos entre o período de 12 de junho de 2013 a 31 de dezembro de 2013.

Fonte: COPEL

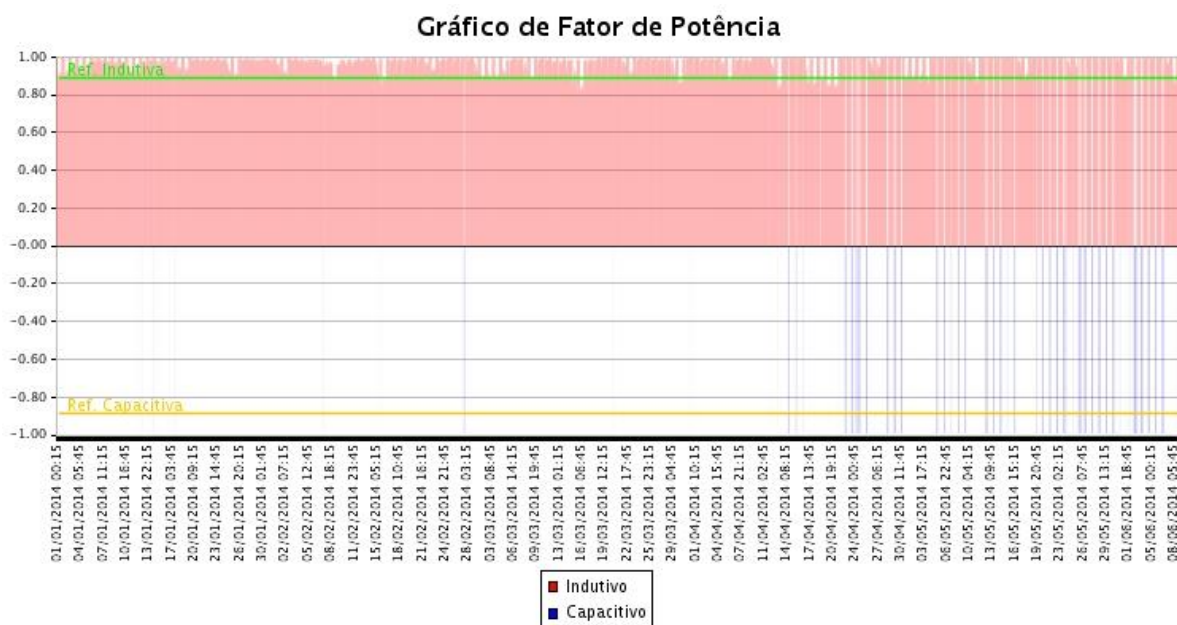


Figura 21 - Gráfico do fator de potência amostrado a cada 15 minutos entre o período de 1º de janeiro de 2014 a 11 de junho de 2014.

Fonte: COPEL

Sabe-se que o nível do fator de potência está intimamente ligado com o excedente reativo pago pela universidade e, realizando uma comparação dos gráficos das figuras 17 a 21 com os valores da tabela 1, nota-se, de fato, que, com o

passar do tempo e a melhora dos níveis do fator de potência, o valor pago à COPEL pelo excedente reativo passa a ser cada vez menor.

Além do fator de potência, outros indicadores como o DIC, FIC e DMIC foram estudados durante a análise documental.

- DIC: duração de interrupção de individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, PRODIST, ANEEL – 2010);
- FIC: frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão, expressa em número de interrupções (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, PRODIST, ANEEL – 2010);
- DMIC: duração máxima da interrupção contínua por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, PRODIST, ANEEL – 2010);

A análise desses indicadores permite, aos consumidores, as concessionárias e a própria ANEEL, avaliar a qualidade do serviço oferecido e o desempenho do sistema elétrico, através do controle das interrupções, do cálculo e da divulgação dos mesmos (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, PRODIST, ANEEL – 2010).

O cálculo dos indicadores é realizado de forma mensal, trimestral e anual (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, PRODIST, ANEEL – 2010). A tabela 2 apresenta os valores para os indicadores DIC, FIC e DMIC da UTFPR – Toledo, medidos mensalmente.

Tabela 2 - DIC, FIC, DMIC.
Fonte: COPEL

Meses	DIC	FIC	DMIC
Limite Mensal	4,12	2,96	2,68
Outubro/2011	0,00	0,00	0,00
Novembro/2011	0,00	0,00	0,00
Dezembro/2011	0,00	0,00	0,00
Janeiro/2012	0,00	0,00	0,00
Fevereiro/2012	2,12	1,00	2,12

Março/2012	1,00	1,00	0,00
Abril/2012	0,77	1,00	0,77
Maio/2012	--	--	--
Junho/2012	0,00	0,00	0,00
Julho/2012	1,07	1,00	1,07
Agosto/2012	0,00	0,00	0,00
Setembro/2012	6,00	2,00	0,05
Outubro/2012	3,68	5,00	2,33
Novembro/2012	2,50	2,00	1,52
Dezembro/2012	0,00	0,00	0,00
Janeiro/2013	1,55	1,00	0,00
Fevereiro/2013	0,00	0,00	0,00
Março/2013	0,00	0,00	0,00
Abril/2013	0,25	1,00	0,25
Maio/2013	0,00	0,00	0,00
Junho/2013	0,00	0,00	0,00
Julho/2013	0,00	0,00	0,00
Agosto/2013	0,48	1,00	0,48
Setembro/2013	--	--	--
Outubro/2013	--	--	--
Novembro/2013	5,85	1,00	0,00

Nas tabelas 3 e 4, são apresentados os valores para os indicadores DIC, FIC e DMIC da UTFPR – Toledo, com período de medição trimestral e anual respectivamente.

Tabela 3 - DIC, FIC e DMIC em seu período trimestral.

Fonte: COPEL

Meses	DIC	FIC
Limite Trimestral	8.24	5.92
Out./Nov./Dez./2011	0.00	0.00
Jan./Fev./Março/2012	3.12	2.00
Abril/Maio/Junho/2012	0.77	1.00
Julho/Ago./Set./2012	7.07	3.00
Out./Nov./Dez./2012	6.18	7.00
Jan./Fev./Maio/2013	1.55	1.00
Abril/Maio/Junho/2013	0.25	1.00
Julho/Ago./Set./2013	0.48	1.00
Out./Nov./Dez./2013	--	--

Tabela 4 - DIC, FIC e DMIC em seu período anual.**Fonte: COPEL**

Ano	DIC	FIC
Limite Anual	16.48	11.84
2011	--	--
2012	17.14	13

É importante salientar que os limites desses indicadores utilizados pela concessionária são estabelecidos pela ANEEL (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, PRODIST, ANEEL – 2012). A figura 22 ilustra quais são os valores utilizados como referência pela Copel:

Faixa de variação dos Limites Anuais de Indicadores de Continuidade dos Conjuntos (DEC ou FEC)	Limite de Continuidade por Unidade Consumidora						
	Unidades Consumidoras situadas em áreas urbanas com Faixa de Tensão Contratada: 1kV < Tensão < 69 kV						
	DIC (horas)			FIC (interrupções)			DMIC (horas)
	Anual	Trim.	Mensal	Anual	Trim.	Mensal	Mensal
1	11,25	5,62	2,81	6,48	3,24	1,62	2,36
2	11,68	5,84	2,92	6,93	3,46	1,73	2,39
3	12,12	6,06	3,03	7,37	3,68	1,84	2,41
4	12,55	6,27	3,13	7,82	3,91	1,95	2,44
5	12,99	6,49	3,24	8,27	4,13	2,06	2,46
6	13,43	6,71	3,35	8,71	4,35	2,17	2,49
7	13,86	6,93	3,46	9,16	4,58	2,29	2,52
8	14,30	7,15	3,57	9,61	4,80	2,40	2,54
9	14,73	7,36	3,68	10,05	5,02	2,51	2,57
10	15,17	7,58	3,79	10,50	5,25	2,62	2,60
11	15,61	7,80	3,90	10,95	5,47	2,73	2,62
12	16,04	8,02	4,01	11,40	5,70	2,85	2,65
13	16,48	8,24	4,12	11,84	5,92	2,96	2,68
14	16,91	8,45	4,22	12,29	6,14	3,07	2,71
15	17,35	8,67	4,33	12,74	6,37	3,18	2,74
16	17,79	8,89	4,44	13,18	6,59	3,29	2,76
17	18,22	9,11	4,55	13,63	6,81	3,40	2,79
18	18,66	9,33	4,66	14,08	7,04	3,52	2,82
19	19,09	9,54	4,77	14,52	7,26	3,63	2,85
20	19,53	9,76	4,88	14,97	7,48	3,74	2,88
>20 e ≤22	19,97	9,98	4,99	15,42	7,71	3,85	2,91
>22 e ≤24	20,84	10,42	5,21	16,31	8,15	4,07	2,98
>24 e ≤26	21,71	10,85	5,42	17,20	8,60	4,30	3,04
>26 e ≤28	22,58	11,29	5,64	18,10	9,05	4,52	3,10
>28 e ≤30	23,45	11,72	5,86	18,99	9,49	4,74	3,17
>30 e ≤32	24,33	12,16	6,08	19,88	9,94	4,97	3,24
>32 e ≤34	25,20	12,60	6,30	20,78	10,39	5,19	3,31
>34 e ≤36	26,07	13,03	6,51	21,67	10,83	5,41	3,38
>36 e ≤38	26,94	13,47	6,73	22,57	11,28	5,64	3,45
>38 e ≤40	27,81	13,90	6,95	23,46	11,73	5,86	3,52
>40 e ≤45	29,34	14,67	7,33	25,02	12,51	6,25	3,55
>45 e ≤50	31,52	15,76	7,88	27,26	13,63	6,81	3,80
>50 e ≤55	33,70	16,85	8,42	29,49	14,74	7,37	4,06
>55 e ≤60	35,88	17,94	8,97	31,72	15,86	7,93	4,34
>60 e ≤65	38,06	19,03	9,51	33,96	16,98	8,49	4,64
>65 e ≤70	40,24	20,12	10,06	36,19	18,09	9,04	4,96
>70 e ≤80	43,51	21,75	10,87	39,54	19,77	9,88	5,47
>80 e ≤90	47,87	23,93	11,96	44,01	22,00	11,00	6,23
>90 e ≤100	52,23	26,11	13,05	48,48	24,24	12,12	7,10
>100 e ≤110	56,59	28,29	14,14	52,95	26,47	13,23	8,07
>110 e ≤120	60,95	30,47	15,23	57,42	28,71	14,35	9,17
>120	63,13	31,56	15,78	59,65	29,82	14,91	9,77

Figura 22 – Valores de referência para DIC, FIC e DMIC.

Fonte: Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, PRODIST, ANEEL – 2010

Conhecendo os limites e analisando as tabelas que dizem respeito aos cálculos mensal, trimestral e anual (tabela 2, 3 e 4), nota-se que, para o cálculo

mensal, o indicador DIC ultrapassou o limite estabelecido em setembro de 2012 e novembro de 2013 e o indicador FIC ultrapassou o limite em outubro de 2012; analisando o cálculo trimestral, observa-se que somente o indicador FIC ultrapassou o limite no quarto trimestre de 2012. O limite anual foi ultrapassado pelo indicador DIC no ano de 2012. É importante salientar que, por falta de algumas tarifas, alguns dados referentes ao ano de 2013 estão indisponíveis, motivo pelo qual não foram apresentados nas tabelas anteriores.

5 ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA

Segundo a NBR ISO 9000, “clientes exigem produtos com características que satisfaçam as suas necessidades e expectativas”, ou seja, qualidade é o termo indicado para designar quão satisfatório é um bem ou serviço é para o usuário final. Como já dito, a energia elétrica se tornou um bem totalmente essencial para os padrões da vida moderna, sendo necessário, então, sua integridade para o consumidor final.

Assim, define-se Qualidade da Energia Elétrica como a ausência de efeitos atípicos na tensão, corrente e frequência, tais como transientes, além da preocupação com a continuidade do serviço. Outro importante atributo adotado recentemente no conceito de QEE é o relacionamento entre cliente e fornecedor, de modo que este seja de extrema cumplicidade e ética (Oliveira, 2009).

Na seção 5.1, os distúrbios serão previamente especificados e os dados obtidos durante o período de medição nos blocos A e C, serão analisados de modo a identificar anomalias em caráter de tensão, tais como transientes, afundamentos, elevações e interrupções, além das distorções harmônicas.

5.1 VARIAÇÕES NA AMPLITUDE DE TENSÃO E TRANSIENTES

5.1.1 Variações da amplitude da tensão

As variações na amplitude da tensão são problemas relacionados à falta de QEE. Estes efeitos são, geralmente, causados por falhas no sistema de potência ou em chaveamentos para isolar partes do circuito em que há algum problema. De acordo com as condições de funcionamento do sistema elétrico, essas falhas podem ser elevação ou afundamento de tensão, além de sua interrupção total (Dugan *et al*, 2002).

Essas variações na amplitude da tensão costumam causar problemas sérios nos sistemas elétricos, pois são mais sentidas nos consumidores finais (residencial, comercial e industrial), devido às cargas sensíveis e aos dispositivos eletrônicos e, com isso, gera-se um elevado número de reclamações (Chapman, 2011)

As variações na amplitude da tensão são causadas, geralmente, por:

- Partida em cargas elevadas: quando se dá partida em uma carga elevada, a corrente de partida pode ser muito maior do que a corrente no estado permanente. Se o dimensionamento dos componentes do circuito for feito sem a consideração deste efeito, haverá uma queda de tensão na rede de alimentação. Esta queda dependerá de quão robusta é esta rede e de quão baixa é a impedância dos cabos da instalação. As soluções possíveis para este problema é a instalação de uma *soft starter* para limitar o valor da corrente de partida por um tempo maior ou negociar com a concessionária uma conexão de baixa impedância (Chapman, 2011).
- Curto-circuito no sistema: Considera-se o curto circuito como evento principal nas variações de amplitude de tensão. Sabe-se que a duração de um afundamento de tensão em um consumidor depende exclusivamente do tempo de atuação do sistema de proteção, sendo prosseguido por uma interrupção após a ação deste (Chapman, 2011).

Sabe-se que um grande número de curtos-circuitos é do tipo fase-terra e causados, geralmente, por eventos naturais, tal como descargas atmosféricas e ventos. Sendo assim, quando ocorre um curto-circuito, a fase atingida sofre um afundamento de tensão e as outras fases, conseqüentemente, elevações. Falta trifásica são raras de ocorrer, embora tenham conseqüências maiores (Oliveira, 2009).

Utilizando a computação como aliada, através do *software* PowerLog®, os eventos de tensão (afundamento, elevação, interrupção) capturados serão mostrados utilizando a curva CBEMA, seção 5.4, trazendo uma clareza maior na observação dos dados.

Agora, como já se conhece as possíveis causas das variações na amplitude de tensão, julga-se necessário o conhecimento de possíveis meios para diminuir a incidência:

- Prevenção de falhas, atuando no corte de árvores, lavagens de buchas de isolamento, proteção contra a ação de animais, utilização de para-raios e qualquer ato que possa diminuir as possibilidades de descarga atmosférica (Oliveira, 2009);

- Modificação e adição de equipamentos do sistema, tais como alimentadores e religadores, prezando maior segurança durante as extinções de falta (Oliveira 2009);

Sendo lógica a observação, essas medidas ajudam, porém não eliminam os problemas de variação na amplitude da tensão, havendo, assim, a necessidade do usuário final utilizar equipamentos reguladores de tensão, se quiser, tais como:

- Transformadores ferroressonantes ou transformadores de tensão constante: por possuírem excitação no alto da curva de saturação, a tensão de saída quase não sofre variação, ou seja, é um transformador 1:1. O esquema típico deste transformador é ilustrado na figura 23 (Dugan *et al*, 2002).

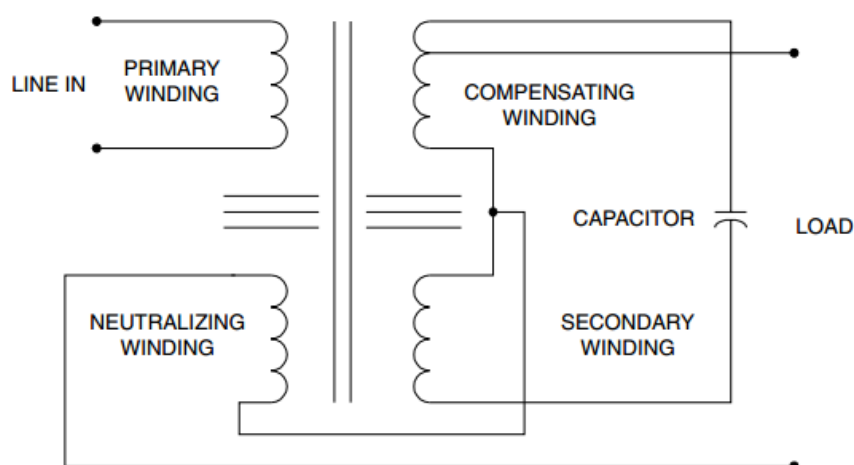


Figura 23 – Transformador ferroressonante.
Fonte: Dugan *et al* (2002, P. 62)

- Compensadores ativos em série: graças ao avanço das tecnologias na área da eletrônica de potência, surgiram novas opções no que se diz respeito às variações na amplitude de tensão quando se utiliza cargas críticas. Um importante equipamento que surge como opção é o compensador ativo em série, que impulsiona a tensão por injeção de tensão em série com a tensão remanescente durante um evento de variação de amplitude. Seu diagrama pode ser visto na figura 24 (Dugan *et al*, 2002):

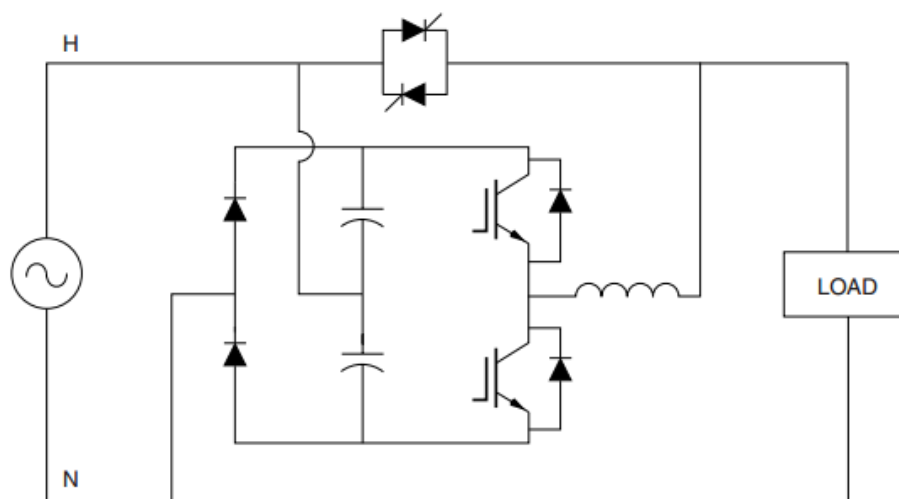


Figura 24 – Compensadores ativos em série.
 Fonte: Dugan *et al* (2002, P. 65)

Aqui foram apresentadas apenas duas soluções para o problema em questão, no entanto, existem outras possibilidades, sendo necessário um estudo mais avançado sobre as cargas utilizadas e, a partir daí, utilizar a solução mais adequada.

No decorrer deste texto, usa-se consideravelmente os termos “tensão nominal” e “frequência fundamental”. Desta forma, tomou-se como base os seguintes valores:

- Tensão nominal: 127 Volts RMS entre fase e neutro;
- Frequência fundamental: 60 Hz

5.1.2 Registro de acontecimentos

Esta subseção conterà o registro dos distúrbios coletados nos blocos A e C da UTFPR – Toledo, durante todo o período de aquisição de dados (entre janeiro e junho de 2014), separados pelo tipo de evento. Vale lembrar que o bloco A e o bloco C são supridos por alimentadores diferentes.

5.1.2.1 Interrupções

Catalogou-se uma interrupção de duas horas e meia no pavimento térreo do bloco C, às 7:33:52 h do dia 19/04/2013, porém a tensão das fases não chegou a zero, como pode ser visto na figura 25, excluindo a possibilidade de interrupção por

ação do equipamento de proteção. Este evento, pela severidade, pode ter causado desligamento de diversos equipamentos computacionais, pois estes estão bastante ligados às variações de tensão.

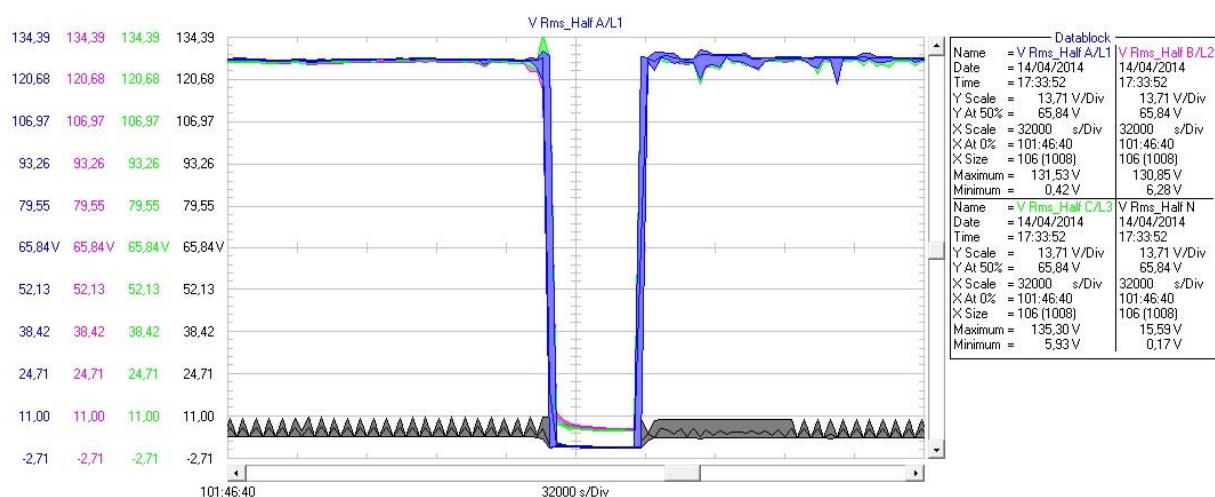


Figura 25 - Interrupção, Térreo, Bloco C, 19/04/2014, 7:33:52:353.
Fonte: Autoria Própria

5.1.2.2 Afundamentos de tensão

Nesta parte do trabalho, foram abordados os eventos de afundamento de tensão. Em sequência, tem-se as tabelas dos eventos de afundamento de tensão para os QD's dos blocos A e C, sendo separados por data e hora da ocorrência, a fase mais afetada, o nível de tensão atingido por esta fase e a duração do evento.

Analisando as tabelas 5 a 9, observa-se que o QD com maior número de eventos é o do pavimento térreo do bloco A (tabela 6 e figura 27), sendo registrados 7 afundamentos de tensão. No entanto esses eventos não foram necessariamente severos, pois os eventos que chegaram a ter um nível de tensão menor do que 70% da tensão nominal, com um tempo muito menor que 0,5 s de duração, não causando graves danos.

Tabela 5 - Eventos de afundamento de tensão no QD pavimento térreo do bloco A.
Fonte: Autoria Própria

Data	Hora	Fase	Nível de Tensão	Duração
12/02/2014	17:07:42:853	L1/A	112,0 V	0,526 s
12/02/2014	17:07:45:943	L3/C	112,9 V	0,055 s
12/02/2014	17:07:51:070	L1/A	112,8 V	0,530 s
16/02/2014	02:55:37:792	L1/A	89,6 V	0,508 s
16/02/2014	02:55:41:556	L1/A	76,5 V	0,416 s
16/02/2014	02:55:46:980	L3/C	61,1 V	0,338 s
17/02/2014	15:19:03:530	L3/C	79,2 V	0,309 s

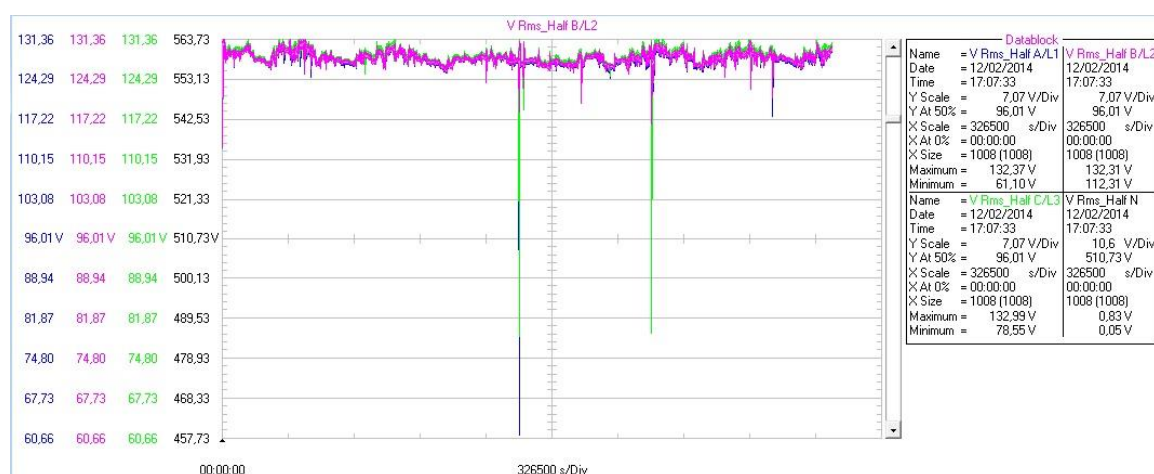


Figura 26 – Afundamentos de tensão no QD do pavimento térreo do bloco A.
Fonte: Autoria Própria

O QGF do bloco A (tabela 5 e figura 26) sofreu apenas um distúrbio de afundamento de tensão, sendo que este também não atingiu níveis alarmantes.

Tabela 6 - Eventos de afundamento de tensão no QGF do bloco A.
Fonte: Autoria Própria

Data	Hora	Fase	Nível de Tensão	Duração
29/01/2014	15:54:37:946	L3/C	101,2 V	0,075 s

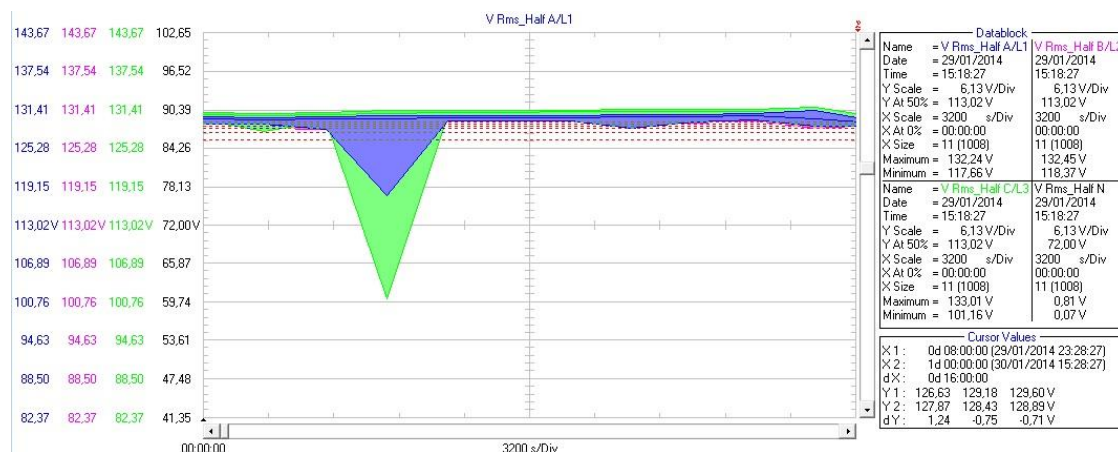


Figura 27 – Afundamento de tensão no QGF do bloco A.
Fonte: Autoria Própria

As medições nos QD's do terceiro pavimento do bloco A (tabela 7 e figura 28) e do segundo pavimento do bloco C (tabela 8 e figura 29) registraram, respectivamente, cinco e quatro eventos em cada um.

Tabela 7 - Eventos de afundamento de tensão no QD do terceiro pavimento do bloco A.
Fonte: Autoria Própria

Data	Hora	Fase	Nível de Tensão	Duração
15/03/2014	17:25:57:545	L1/A	96,4 V	0,451 s
15/03/2014	17:26:00:070	L1/A	84,0 V	0,400 s
15/03/2014	17:26:05:540	L3/C	56,9 V	0,325 s
15/03/2014	18:19:55:691	L3/C	103,8 V	0,016 s
17/03/2014	17:06:04:979	L1/A	112,9 V	0,125 s

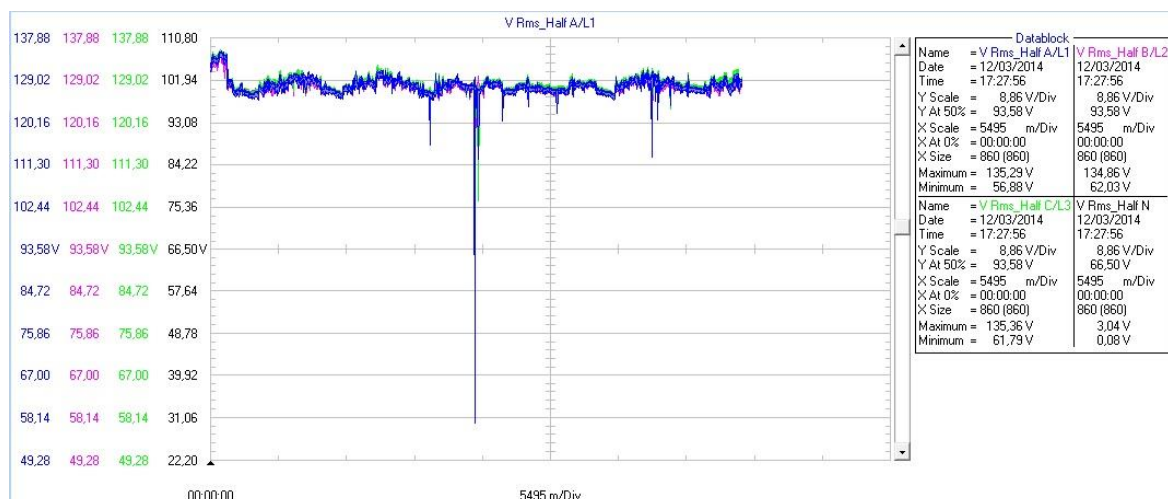


Figura 28 – Afundamentos de tensão no QD do terceiro pavimento do bloco A.
Fonte: Autoria Própria

Tabela 8 - Eventos de afundamento de tensão no QD do segundo pavimento do bloco C.
Fonte: Autoria Própria

Data	Hora	Fase	Nível de Tensão	Duração
19/05/2014	11:55:47:068	L2/B	103,7 V	0,017 s
21/05/2014	11:01:18:236	L3/C	94,1 V	0,329 s
21/05/2014	11:01:31:977	L2/B	96,1 V	0,350 s
21/05/2014	11:40:56:753	L2/B	113,1 V	0,009 s

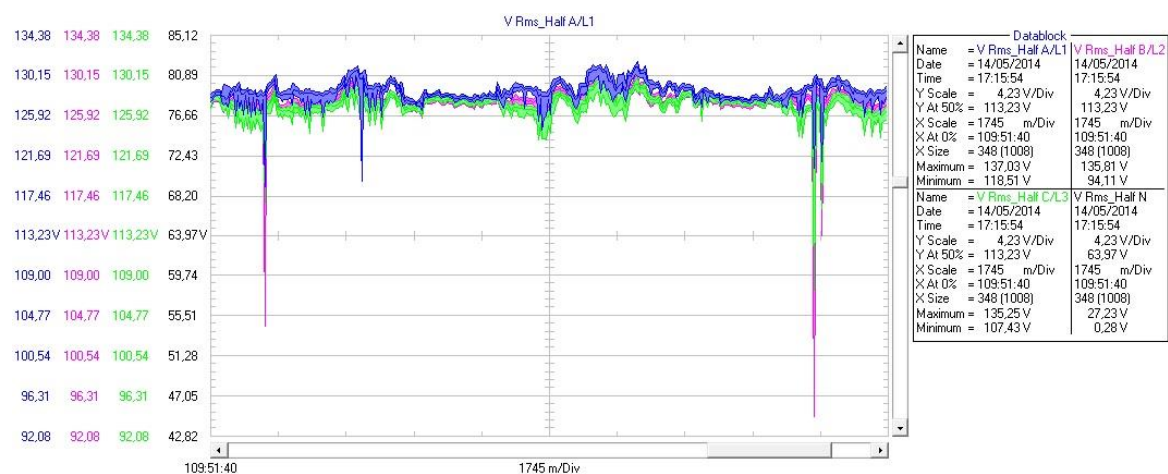


Figura 29 - Afundamentos de tensão no QD do segundo pavimento do bloco C.
Fonte: Autoria Própria

No QD do terceiro pavimento do bloco A os valores chegaram a menos que 50% da tensão nominal, mas o tempo de duração do afundamento de tensão foi baixo. O QD do segundo pavimento do bloco C sofreu eventos não relevantes, dado ao curto tempo de duração e aos níveis de tensão que obtiveram nível de tensão maior ou igual a 75%. O QD do terceiro pavimento do bloco C (tabela 9 e figura 30) obteve o mais baixo índice de tensão dos eventos de afundamento da mesma, mas o tempo de estabilização da tensão foi relativamente curto, não sendo prejudicial aos equipamentos existentes na universidade.

Tabela 9 - Eventos de afundamento de tensão no QD do terceiro pavimento do bloco C.
Fonte: Autoria Própria

Data	Hora	Fase	Nível de Tensão	Duração
30/05/2014	14:19:17:067	L3/C	72,2 V	0,339 s
30/05/2014	14:19:19:524	L3/C	38,5 V	0,209 s
31/05/2014	20:27:02:011	L3/C	112,6	0,025 s

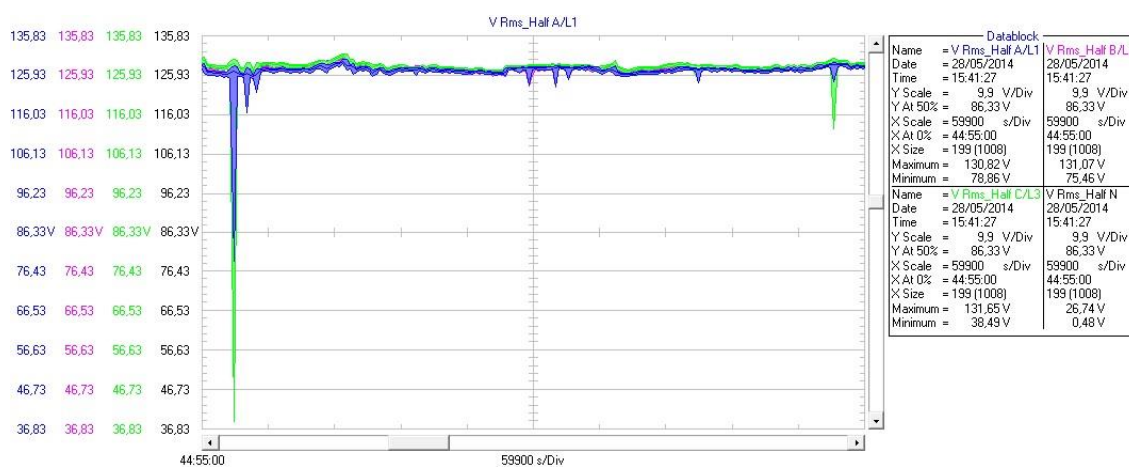


Figura 30 - Afundamentos de tensão no QD do terceiro pavimento do bloco C.
Fonte: Autoria Própria

É importante lembrar que os eventos de curto-circuito, que levam a afundamentos de tensão mais severos, geralmente fazem com que os níveis de tensão permaneçam menores do que 70% com uma duração de, no mínimo, 0,5 segundos.

5.1.2.3 Elevações de tensão

Durante o período de medição não foi constatado nenhum registro de elevação de tensão a níveis críticos, ou seja, acima de 110% do valor tensão nominal.

5.1.2.4 Transientes

Durante as medições, não constatou-se nenhum evento de transiente.

5.2 FLICKER

Embora o problema de *flicker* não seja tecnicamente uma alteração na amplitude da tensão, o mesmo se encaixa nessa seção devido a sua origem, que é a mesma das variações de tensão: o sistema é fraco ao ponto de não suportar a carga. Além de possuir a mesma origem, o problema de *flicker* é reduzido, ou até eliminado, através da correção dos problemas de variação de tensão. Um ponto importante é de que as variações de tensão ocasionadas pelo fenômeno *flicker* transitam numa faixa aceitável de tensão, mas acontecem de forma rápida o suficiente para causar irritação em usuários (Dugan *et al*, 2002).

Segundo Dugan, 2002, o fenômeno *flicker* pode ser definido como “uma flutuação em um sistema de tensão que pode resultar em mudanças visíveis (oscilações) em uma saída luminosa”, e podem ser separados em dois tipos: cíclicos e não-cíclicos.

O *flicker* cíclico é resultado de flutuações de tensão periódica, enquanto o não-cíclico é causado por flutuações de tensão ocasionais.

As causas do *flicker* podem ser muitas, mas, geralmente estão ligadas, como ditas acima, a sistemas fracos, ou seja, sem capacidade de alimentar grandes cargas, gerando um curto-circuito de pequenas proporções. Quando isso acontece, um aumento da corrente provoca um aumento na queda de tensão sobre a linha, fazendo com que a intensidade luminosa das lâmpadas diminua (Dugan *et al*, 2002). Outros modos da ocorrência de *flicker* é a utilização de fornos a arco, motores de carga variável de grande potência e máquinas de raio-x. É importante salientar que

as oscilações de tensão causadas por uma carga de grande porte, podem afetar um grande número de usuários, sendo a intensidade destas relacionadas diretamente com a distância em que o usuário se encontra da fonte geradora do efeito (EURELECTRIC, 2002).

Os métodos de atenuação do *flicker* devem ser estudados e escolhidos a partir de alguns fatores como: o tipo de carga que causa o fenômeno em questão, a capacidade do sistema para alimentar a carga e o fator econômico (custo/benefício) da medida tomada. A partir daí, caso seja conveniente, pode-se instalar capacitores para diminuição de potência reativa, aumentar a capacidade do sistema com troca de capacitores ou aumento da tensão de serviço, etc (Dugan *et al*, 2002).

Embora o *flicker* não seja um dos problemas mais graves para QEE, este pode ocasionar situações graves para seres humanos, variando de um leve desconforto visual até ataques epiléticos. No entanto, os níveis encontrados de *flicker* são geralmente muito baixos, não sendo responsáveis por grandes acontecimentos (EURELECTRIC, 2002).

O indicador utilizado para avaliar a QEE na UTFPR campus Toledo no quesito *flicker* foi o P_{lt} , que expressa a severidade dos níveis de cintilação associados à flutuação de tensão num período contínuo de duas horas. Há também o indicador P_{st} , sendo este o valor de severidade de curta duração (tempo contínuo de dez minutos), mas não estudado, diretamente, neste trabalho (EURELECTRIC, 2002).

Durante o período de medição, obteve-se o registro de um conjunto de valores representativos de P_{lt} , sendo que este, tratado estatisticamente, conduz-se ao valor de $P_{ltS95\%}$, considerando-se como indicador final o maior valor encontrado (PRODIST, 2008).

A tabela 10 mostra os valores de referência utilizados para a avaliação do desempenho do sistema de distribuição em relação às oscilações luminosas. Estes valores de referência podem servir para eventuais planejamentos elétricos (PRODIST, 2008).

Tabela 10 - Valores de referência para *flicker*
Fonte: PRODIST – Módulo 8 (2010, P. 25)

Valor de referência	$P_{it}S95\%$
Adequado	< 0.8 p.u./FT
Precário	0.8 – 1.6 p.u./FT
Crítico	>1,6 p.u./FT

Para consumidores com entrada menor que 69 kV, o valor considerado para FT (faixa de transferência) é igual a 1.

5.2.1 Registro de acontecimentos

Os eventos de *flicker* aconteceram várias vezes durante o período de aquisição dos dados, apresentando maior gravidade na fase B/L2 do QD do térreo no bloco C (tabela 14 e figura 36). O nível atingindo para o P_{it} foi de 14,2, muito acima do recomendado pela ANEEL. A seguir, as tabelas 11 a 16 e as figuras 31 a 38 apresentam os resultados para os eventos, sendo estes obtidos através do *software* FlukeView:

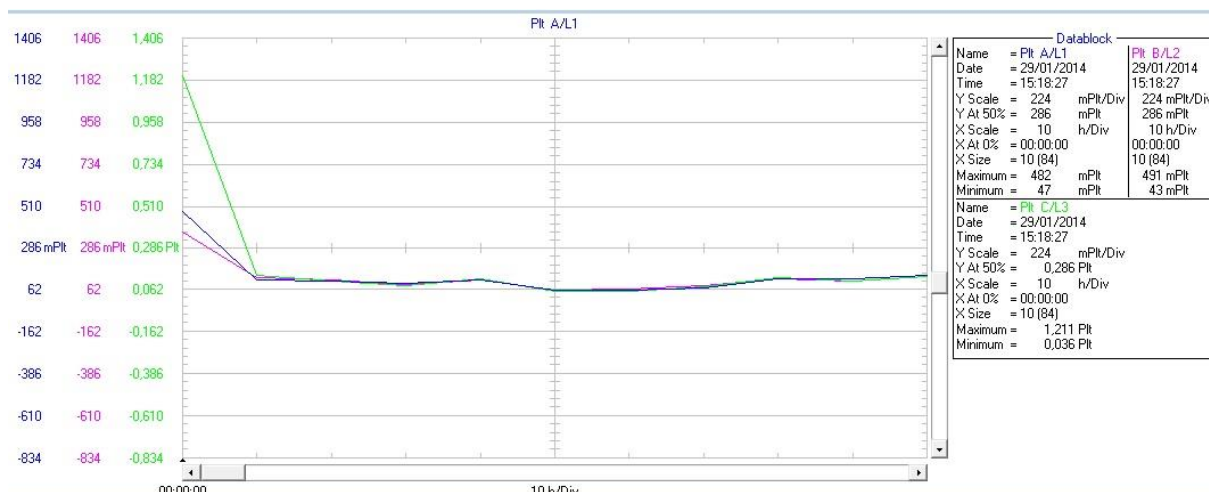


Figura 31 – Flicker ocorrido no QGF do bloco A.
Fonte: Autoria Própria

A figura 31 mostra um evento de *flicker* logo no início da medição do QGF do bloco A (tabela 11). Não foi possível identificar a duração deste evento, mas sabe-se que o nível do indicador P_{lt} não está em níveis muito elevados.

Tabela 11 - Evento de flicker no QGF do bloco A.
Fonte: Autoria Própria

Data	Hora	Fase	P_{lt}	Duração
--	--	L3/C	1,21	--

A figura 32 traz um evento semelhante ao ocorrido na figura 31, mas com níveis mais baixos de P_{lt} . Os outros eventos ocorridos no QD do térreo (tabela 12), figura 33 e 34 alcançaram níveis críticos para o indicador P_{lt} .

Tabela 12 - Eventos de flicker no QD térreo do bloco A.
Fonte: Autoria Própria

Data	Hora	Fase	P_{lt}	Duração
--	--	L1/A	1,2	--
--	--	L2/B	1,2	--
--	--	L3/C	1,2	--
16/02/2014	1:07:33:320	L1/A	3,9	2h
16/02/2014	1:07:33:320	L3/C	2,8	2h
18/02/2014	15:07:33:320	L1/A	1,2	2h
17/02/2014	15:07:33:320	L3/C	2,6	2h

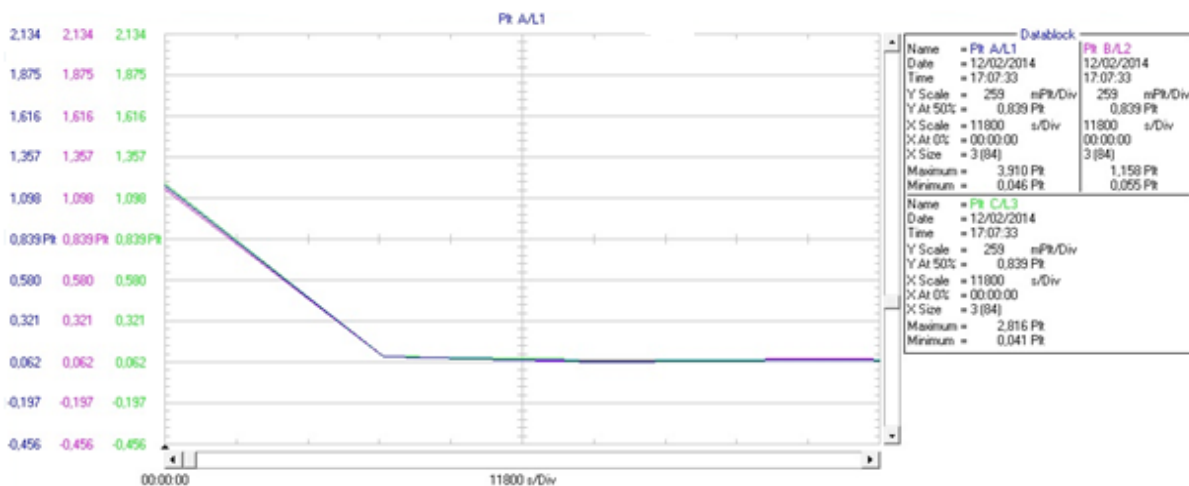


Figura 32 - *Flicker* ocorrido no QD térreo do bloco A.
Fonte: Autoria Própria

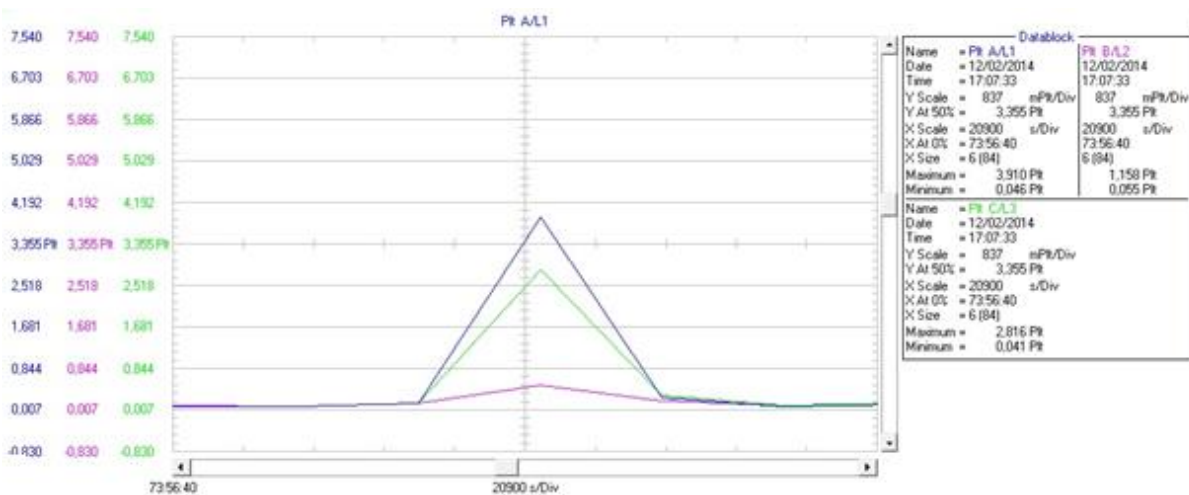


Figura 33 - *Flicker* ocorrido no QD térreo do bloco A.
Fonte: Autoria Própria

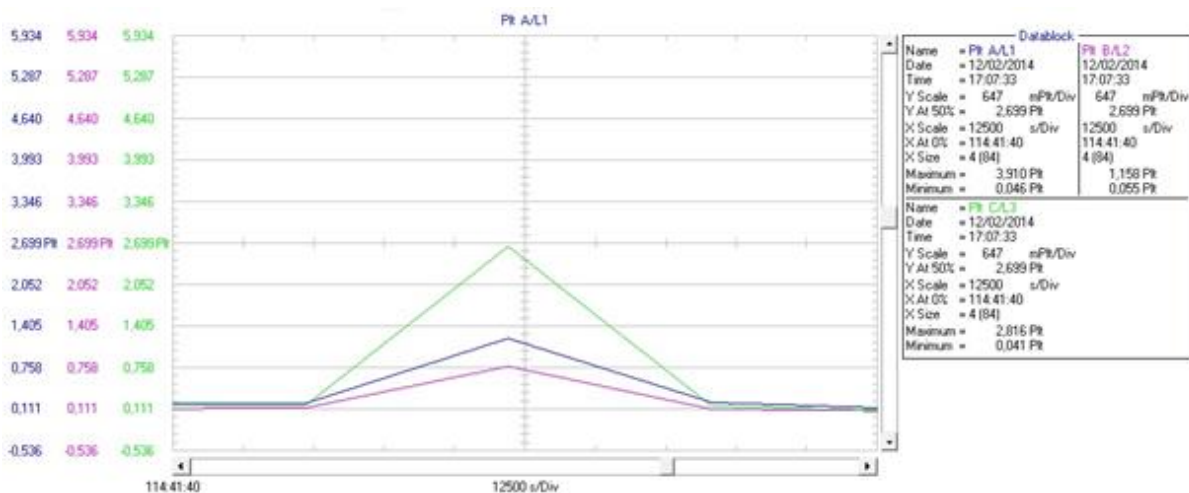


Figura 34 - *Flicker* ocorrido no QD térreo do bloco A.
Fonte: Autoria Própria

Na figura 35 é ilustrado o *flicker* do QD do terceiro pavimento do bloco A (tabela 13), que também atingiu valores críticos para o P_{It} .

Tabela 13 - Eventos de *flicker* no QD do terceiro pavimento do bloco A.
Fonte: Autoria Própria

Data	Hora	Fase	P_{It}	Duração
15/03/2014	17:55:28:263	L1/A	3,5	2h
15/03/2014	17:55:28:263	L2/B	3,2	2h
15/03/2014	17:55:28:263	L3/C	3,2	2h

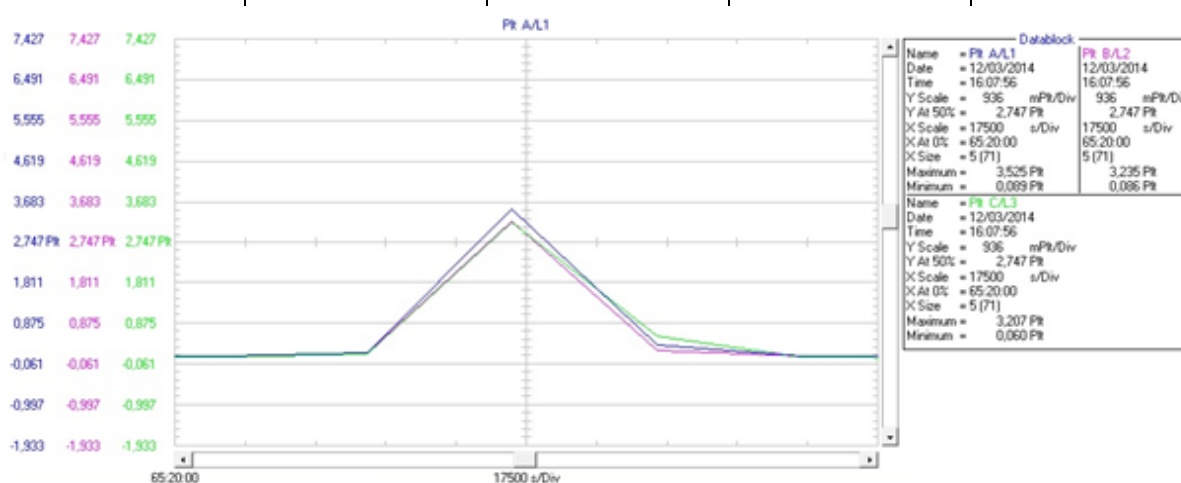


Figura 35 - *Flicker* ocorrido no QD do terceiro pavimento do bloco A.
Fonte: Autoria Própria

O QD do térreo do bloco C (tabela 14) foi o mais castigado para o indicador de *flicker* (figura 36), chegando ao nível de 14,1, ultrapassando em uma larga faixa o limiar da criticidade para o indicador P_{It} .

Tabela 14 - Eventos de *flicker* no QD térreo do bloco C.
Fonte: Autoria Própria

Data	Hora	Fase	P_{It}	Duração
19/04/2014	7:33:52:353	L1/A	13,4	4h
19/04/2014	7:33:52:353	L2/B	14,2	4h
19/04/2014	7:33:52:353	L3/C	13,1	4h

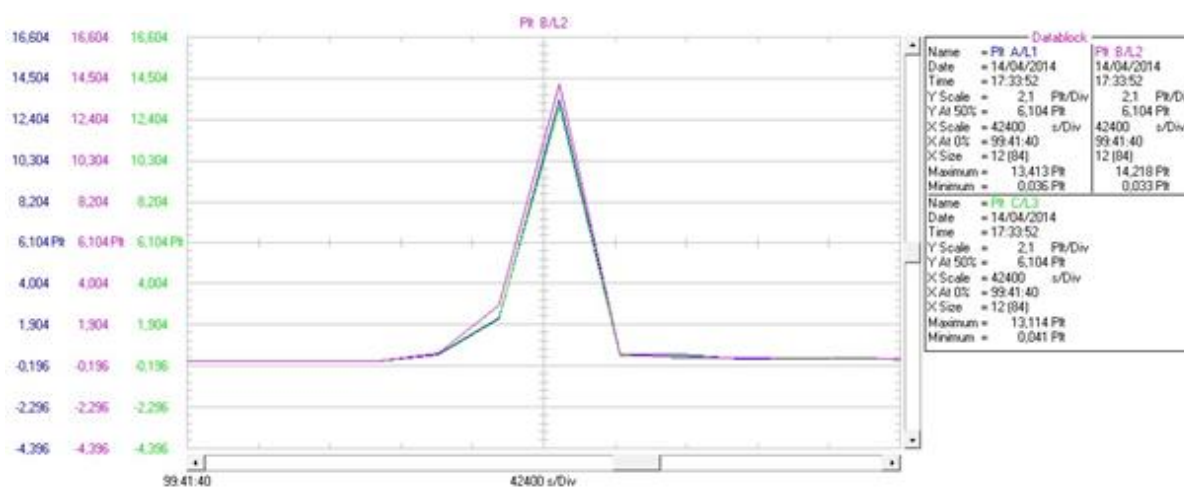


Figura 36 - Flicker ocorrido no QD do térreo do bloco C.
Fonte: Autoria Própria

Nas figuras 37 e 38, que correspondem aos QD's do segundo (tabela 15) e terceiro pavimento (tabela 16) do bloco C, é possível observar um nível elevado do P_{it} na fase C/L3 do terceiro pavimento, com valores alcançando a faixa de 3,7.

Tabela 15 - Eventos de flicker no QD do segundo pavimento do bloco C.
Fonte: Própria

Data	Hora	Fase	P_{it}	Duração
21/05/2014	9:15:54:019	L2/B	2,3	2h
21/05/2014	9:15:54:019	L3/C	1,4	2h

Tabela 16 - Eventos de flicker no QD do terceiro pavimento do bloco C.
Fonte: Autoria Própria

Data	Hora	Fase	P_{it}	Duração
30/05/2014	13:41:27:202	L1/A	2,0	2h
30/05/2014	13:41:27:202	L2/B	2,3	2h
30/05/2014	13:41:27:202	L3/C	3,7	2h

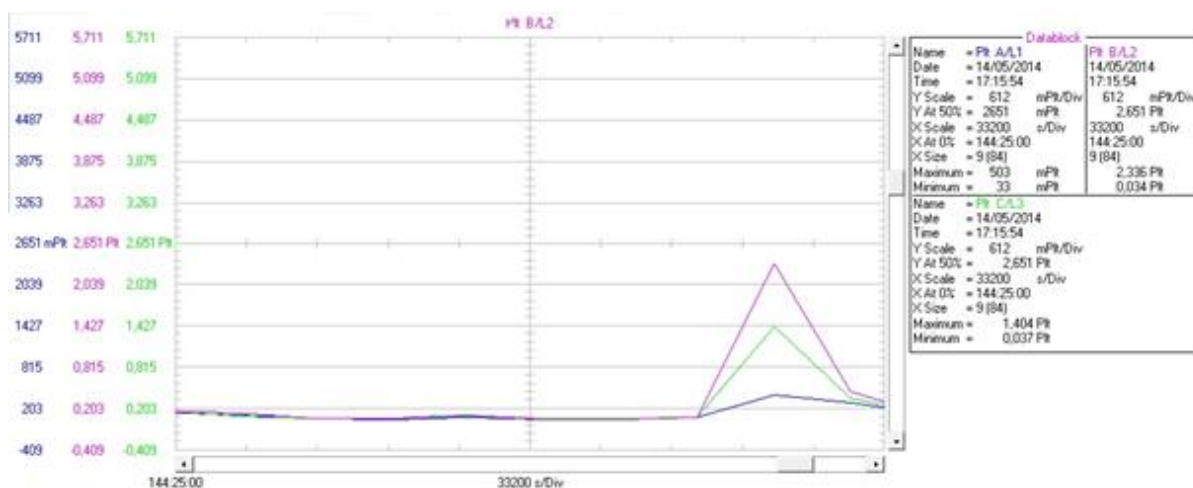


Figura 37 - *Flicker* ocorrido no QD do segundo pavimento do bloco C.
Fonte: Autoria Própria

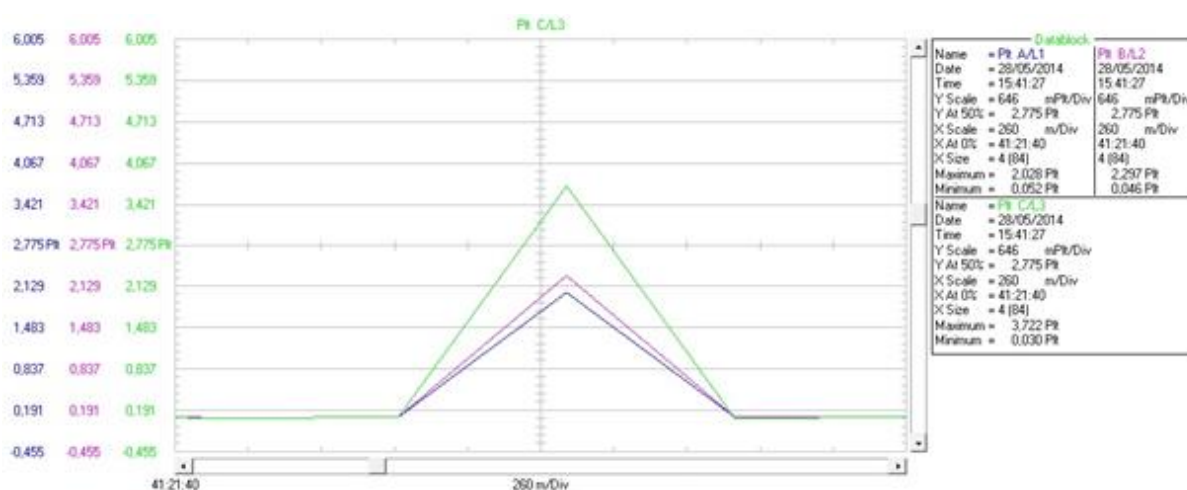


Figura 38 - *Flicker* ocorrido no QD do terceiro pavimento do bloco C.
Fonte: Autoria Própria

Devido à alta incidência desse efeito, é necessária maior observação e cuidado, pois além de ser uma falta no que se diz respeito à QEE, pode trazer desconforto e perda de rendimento aos usuários destes ambientes, ou seja, alunos e servidores.

Com a intenção de mitigar o efeito *flicker*, tem-se como objetivo controlar dinamicamente o nível de tensão para diminuir a influência das cargas variáveis. Deste modo, a solução é utilizar compensadores reativos (Deckmann, Pomílio; 2010).

Em se tratando da UTFPR *campus* Toledo, um dos motivos plausíveis para a existência do fenômeno *flicker* é a larga utilização de aparelhos condicionadores de ar juntamente com motores e demais equipamentos que exigem uma corrente

elevada para seu funcionamento, fazendo com que a queda de tensão na linha seja convertida à baixa saída luminosa nas lâmpadas.

5.3 VARIAÇÕES NA FREQUÊNCIA

A variação de frequência dentro de um sistema elétrico interligado pode leva-lo ao colapso. No entanto, vale ressaltar que estas variações são bastante eventuais, pois com o constante investimento em inovações tecnológicas aplicadas a proteção de sistemas elétricos, eventos como faltas nos sistemas de transmissão, perda de um grande bloco de carga ou pela ausência momentânea de uma grande fonte de geração passaram a ser cada vez mais raros.

Mesmo com todo este investimento em aparato tecnológico, o sistema elétrico nacional está suscetível a falhas, como exemplo, pode-se relatar aquela ocorrida no dia quatro de fevereiro de 2014, onde um curto-circuito em uma linha de transmissão no estado do Tocantins provocou um grande transtorno para o sistema interligado nacional. Registrou-se essa ocorrência às 14h03 na linha de transmissão de 500kV – Colinas C3 e, posteriormente, um curto-circuito bifásico-terra nas fases A e B da linha de transmissão de 500 kV – Colinas C2. Após estas sucessivas falhas, a proteção da linha de transmissão LT 500 kV Serra da Mesa 2 – Rio das Éguas atuou, de modo a interromper a interligação entre as regiões Norte e Nordeste com as demais. Desta forma, os sistemas de geração passaram a tentar suprir a falta gerada pelo bloco de carga Norte e Nordeste, fazendo com que a frequência de operação fosse alterada devido ao desequilíbrio entre fonte geradora e carga. Segundo a ONS, (g1.com.br, 2014, ELETRONORTE)

Com a abertura da interligação Norte/Sudeste no trecho Miracema – Colinas, atuou o Esquema de Controle de Emergência – ECE dessa interligação, desligando a LT 500 kV Serra da Mesa 2 - Rio das Éguas, separando fisicamente os sistemas Norte e Nordeste do restante do restante do SIN.

Com a separação das regiões Sudeste/Centro-Oeste e Sul da região Norte/Nordeste, que antes da perturbação exportava energia, verificou-se déficit nas regiões Sudeste/Centro-Oeste e Sul, com consequente queda na frequência elétrica, conforme apresentado na curva inferior na figura a seguir. A perda dessa interligação resultou em desequilíbrio geração x carga nas regiões SE-CO e Sul, acarretando a atuação correta do 1º estágio do Esquema Regional de Alívio de Carga – ERAC nessas regiões, desligando cerca de 5.000 MW de cargas. Às 14:41h, a interligação foi restabelecida, dando-se início ao processo de recomposição das cargas, cuja conclusão se deu às 15:30h. (Carta ONS)

No momento da ocorrência, estavam sendo realizadas medições no QGF do bloco A, que acabaram por registrar este evento. A frequência variou de forma abrupta e significativa, chegando até o ponto mínimo de 58.79 Hz durante 20 segundos, às 13:58:27. O ONS (SUBMÓDULO 25.6, 2010), limita a faixa de variação da frequência, conforme apresentado na tabela 17.

Tabela 17 - Variação da frequência e seus limites de tempo.

Fonte: ONS (2010, P. 6)

Desempenho	Tempo acumulado máximo de exposição a desvios de frequência (segundos)
$f > 66 \text{ Hz}$	0
$63.5 \text{ Hz} < f \leq 66 \text{ Hz}$	30
$62 \text{ Hz} < f \leq 63.5 \text{ Hz}$	150
$60,5 \text{ Hz} < f \leq 62 \text{ Hz}$	270
$58,5 \text{ Hz} < f \leq 59,5 \text{ Hz}$	390
$57,5 \text{ Hz} < f \leq 58,6 \text{ Hz}$	45
$56,5 \text{ Hz} < f \leq 57,5 \text{ Hz}$	15
$f < 56,5 \text{ Hz}$	0

5.3.1 Registro de acontecimentos

Durante todo o período de medições, foram poucos os registros de variação de frequência. As variações excursionaram entre limite inferior de 58,79 Hz ao limite superior de 60,86 Hz. A ocorrência mais grave perdurou por 17 minutos mantendo a frequência em 58,83 Hz, conforme apresentado na tabela 18 e figura 39, sendo que o tempo máximo de exposição neste valor é de 390 segundos, o que pode gerar falhas graves em equipamentos eletrônicos, ou que operam com algum tipo de sincronismo ou relógio. No entanto, após pesquisas, não há evidência se esta ocorrência gerou danos muito elevados ao sistema elétrico, embora tenha sido bastante severa. A tabela 19 e a figura 40 mostram os eventos de variação de frequência no QD do térreo do bloco C, onde os distúrbios ocorreram de forma mais branda em relação aos eventos da tabela 18, cujos valores não causam prejuízos aos equipamentos.

Tabela 18 - Eventos de variação de frequência no QGF do bloco A.
Fonte: Autoria Própria

Data	Hora	Nível de frequência (Hz)	Duração
04/02/2014	13:58:27:738	58,79	20 seg
04/02/2014	14:05:17:738	59,40	10 seg
04/02/2014	14:05:57:738	58,83	16 min 50 seg
04/02/2014	14:23:17:738	59,38	20 seg

Tabela 19 - Eventos de variação de frequência no QD térreo do bloco C.
Fonte: Autoria Própria

Data	Hora	Nível de frequência (Hz)	Duração
19/04/2014	7:37:32:353	59,28	10 seg
19/04/2014	7:47:02:353	59,39	10 seg
19/04/2014	7:49:02:353	60,86	10 seg
04/02/2014	14:23:17:738	59,38	20 seg

As figuras 39 e 40 ilustram os acontecimentos relacionados a desvios na frequência ocorridos na UTFPR-TD durante as medições. Observando a figura 39 é possível verificar a variação de frequência devido à ocorrência do dia quatro de fevereiro.

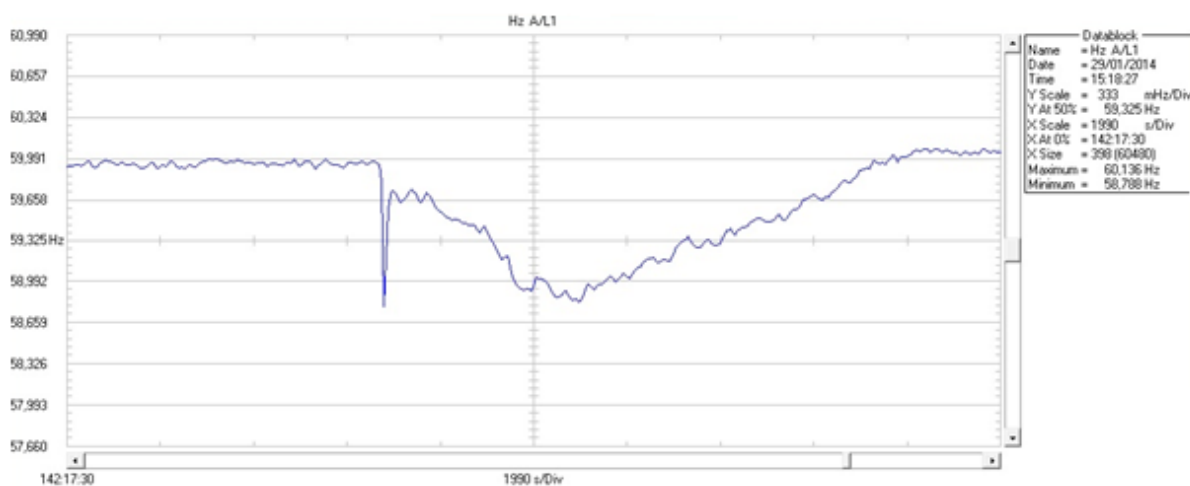
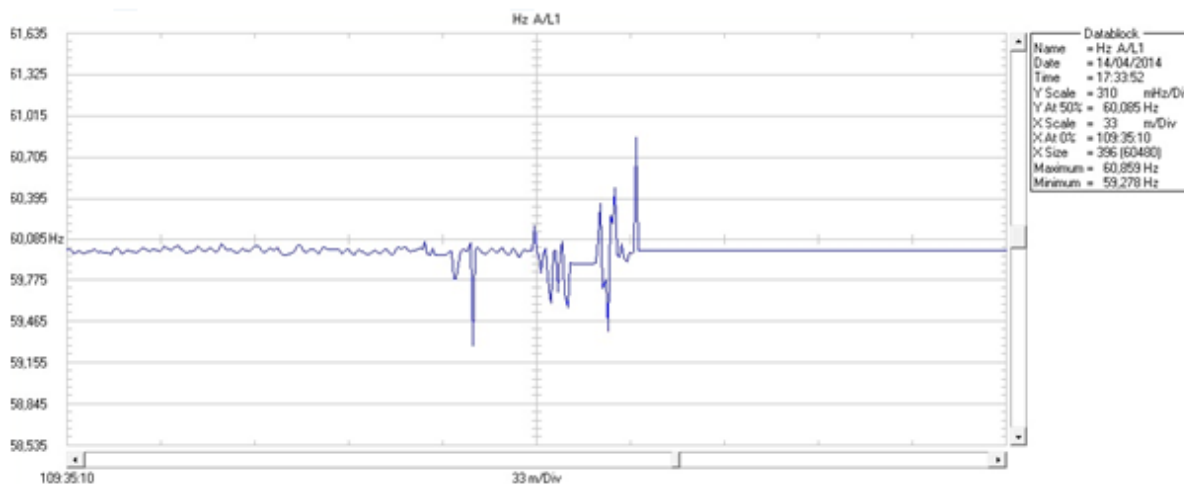


Figura 39 - Evento de variação de frequência no QGF do bloco A.
Fonte: Autoria Própria



**Figura 40 - Evento de variação de frequência no QD térreo do bloco C.
Fonte: Autoria Própria**

5.4 CURVA ITI CBEMA

Como consequência do advento da expansão da informática e da engenharia eletrônica atrelada aos dispositivos domésticos, que são bastante sensíveis às variações da tensão de alimentação, sentiu-se a necessidade de se desenvolver uma padronização para com as condições de testes que verificam a suportabilidade dos equipamentos aos distúrbios provenientes da rede. Tendo o pioneirismo como aliado, os Estados Unidos estabeleceram a norma ANSI/IEEE std. 446, conhecida como curva CBEMA, como guia para os fabricantes de eletrônicos, onde se mantém o foco nas variações de tensão e a duração admissível de cada evento (Deckmann, 2008), a figura 41 ajuda a entender o que é a curva CBEMA.

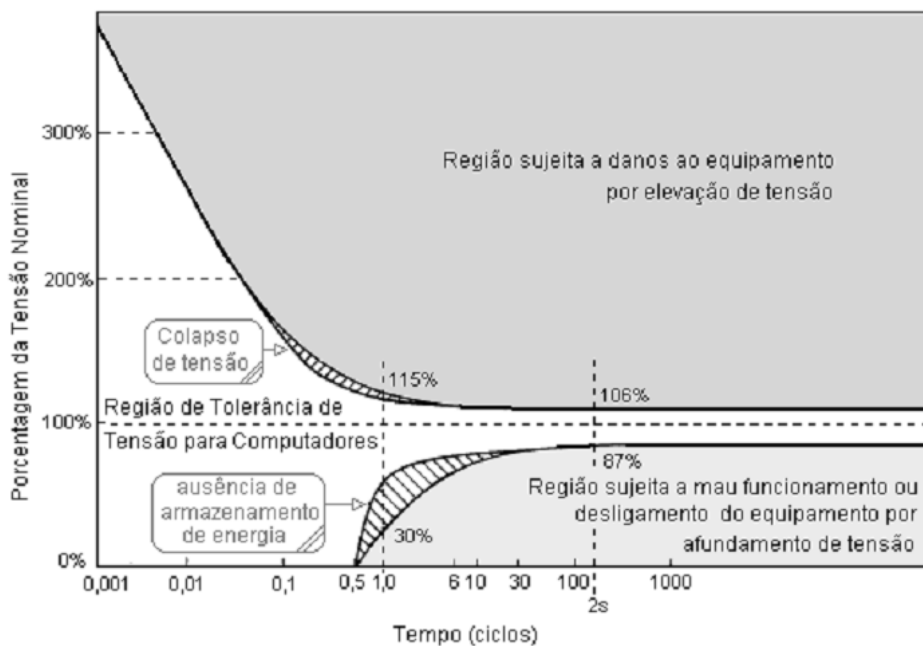


Figura 41 – Curva CBEMA e seus limites de duração de sobre e subtensões.
Fonte: Deckmann (2008, P. 6)

De modo a melhorar o desempenho da curva CBEMA, estabeleceu-se, em 1997, uma nova versão para os limites de tolerância dos eventos de tensão. Essa versão foi chamada de ITIC/CBEMA ou ITIC, do inglês *Information Technology Industry Council*) e descreve durante quanto tempo um equipamento de TI (tecnologia da informação) consegue operar fora de sua tensão de entrada nominal. De modo análogo à curva CBEMA, a curva ITIC será mostrada na figura 42 (Deckmann, 2008).

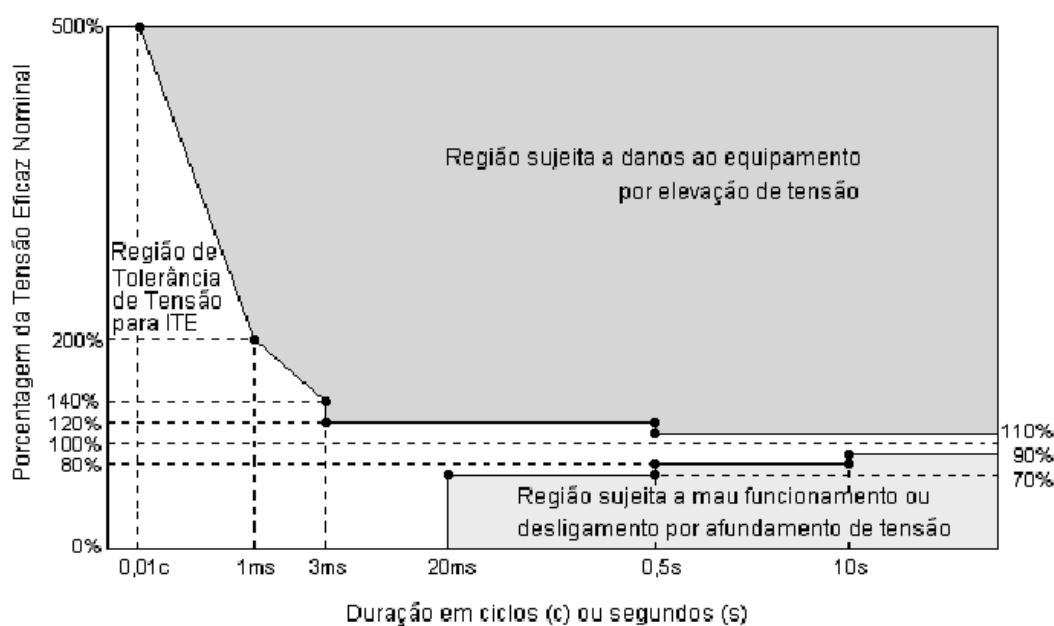


Figura 42 – Curva ITIC com seus limites para sub e sobretensão.
Fonte: Deckmann (2010, P. 7)

A partir da análise na figura 42, é possível conhecer algumas características desta curva, tais como:

- Em regime permanente, há uma tolerância de 10% para mais e para baixo da tensão nominal, sendo que há a possibilidade da permanência nessa faixa durante um limite indefinido de tempo. É função das cargas e das perdas do sistema de distribuição (Oliveira, 2009);
- Ao retirar grandes cargas de um sistema, há a elevação momentânea da tensão. De acordo com a curva ITIC, pode haver uma elevação de até 20% da tensão nominal sem que haja danos ao equipamento;
- A tensão nominal pode sofrer afundamento de até 20% por, no máximo, 10 s ou 70% por 0,5 s. Geralmente essa ocorrência está relacionada com a entrada de cargas pesadas ou faltas no sistema (Oliveira, 2009);
- Pode-se haver desligamentos, ou seja, afundamentos de tensão severos como as interrupções, podendo ter duração de, no máximo, 20 ms. Causado, geralmente, por faltas no sistema (Oliveira, 2009);

Vale lembrar que a curva ITI (CBEMA) tem larga utilização na indústria, visto que sua funcionalidade não atinge só componentes computacionais, e sim uma gama de equipamentos. Sua principal vantagem é a capacidade de se equiparar a curva de sensibilidade dos equipamentos com a curva de variações ocorridas em um

determinado intervalo de tempo, como, por exemplo, o período de medição utilizado na análise de QEE que foi de uma semana (Oliveira, 2009).

5.4.1 Registro de acontecimentos

A partir da análise das figuras 43 a 48 observam-se poucas ocorrências nos QDs dos blocos A e C da UTFPR. Vale lembrar que os quadros não mencionados, não contaram com nenhum evento, seja ele interrupção, afundamento ou elevação de tensão. Como dito anteriormente, também, nenhum evento de elevação de tensão foi registrado, ou seja, não é possível observar em nenhuma das figuras desta seção.

Os eventos de afundamento de tensão foram mais presentes, sendo que esses são realmente mais comuns, além de serem menos danosos aos equipamentos.

O QDF do bloco A registrou apenas um distúrbio de afundamento de tensão, vide figura 43.

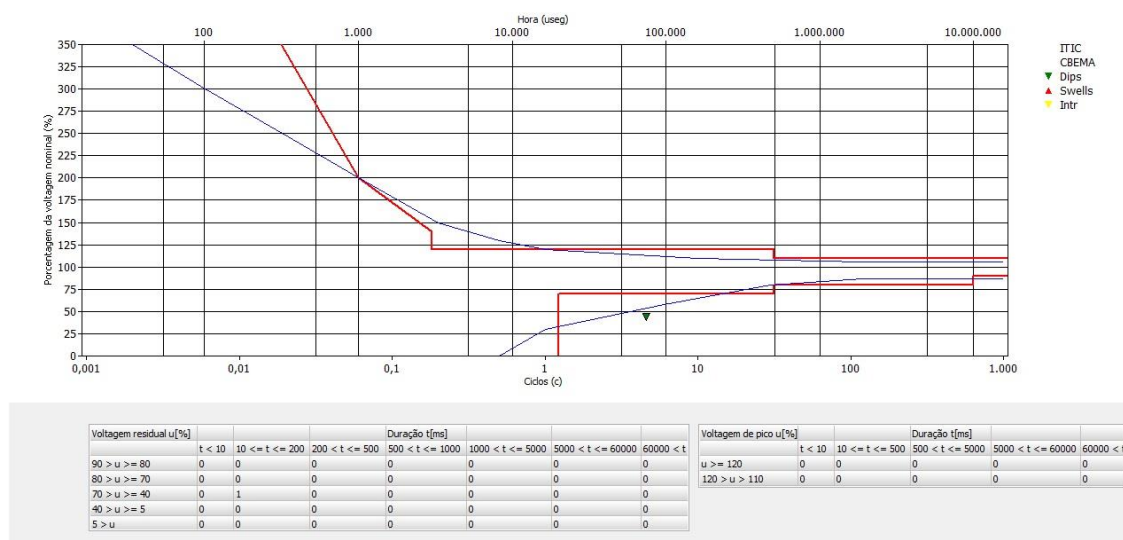


Figura 43 – Curva ITI (CBEMA), QGF, bloco A, 29/01 a 05/02 de 2014.
Fonte: Autoria Própria

O QD que registrou maior número de eventos de afundamento de tensão foi o QD do térreo do bloco A, figura 44, o que é bastante coerente, visto que o pavimento térreo do bloco A possui laboratórios em que há a partida de motores constantemente, o que faz com que a corrente se eleve e a tensão da instalação diminua.

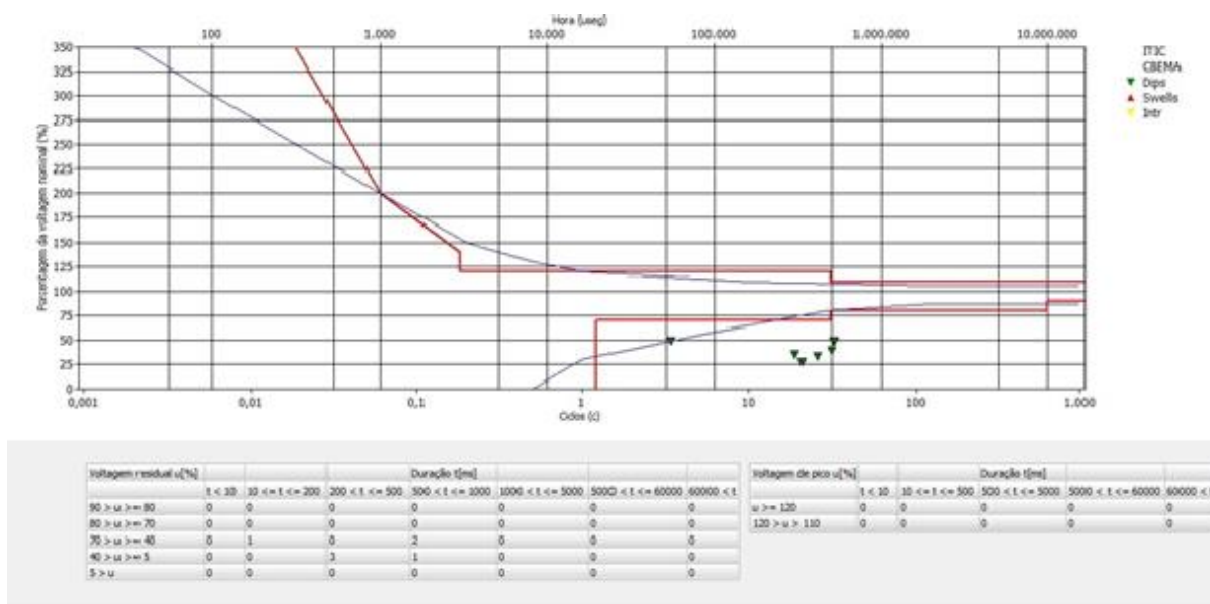


Figura 44 - Curva ITI (CBEMA), QD do pavimento térreo, bloco A, 12/02 a 19/02 de 2014.
Fonte: Autoria Própria

O QD do terceiro pavimento do bloco A (figura 45) também contou com eventos de afundamento de tensão, mas nenhum deles chegou a níveis alarmantes, embora alguns eventos ficaram fora da envoltória.

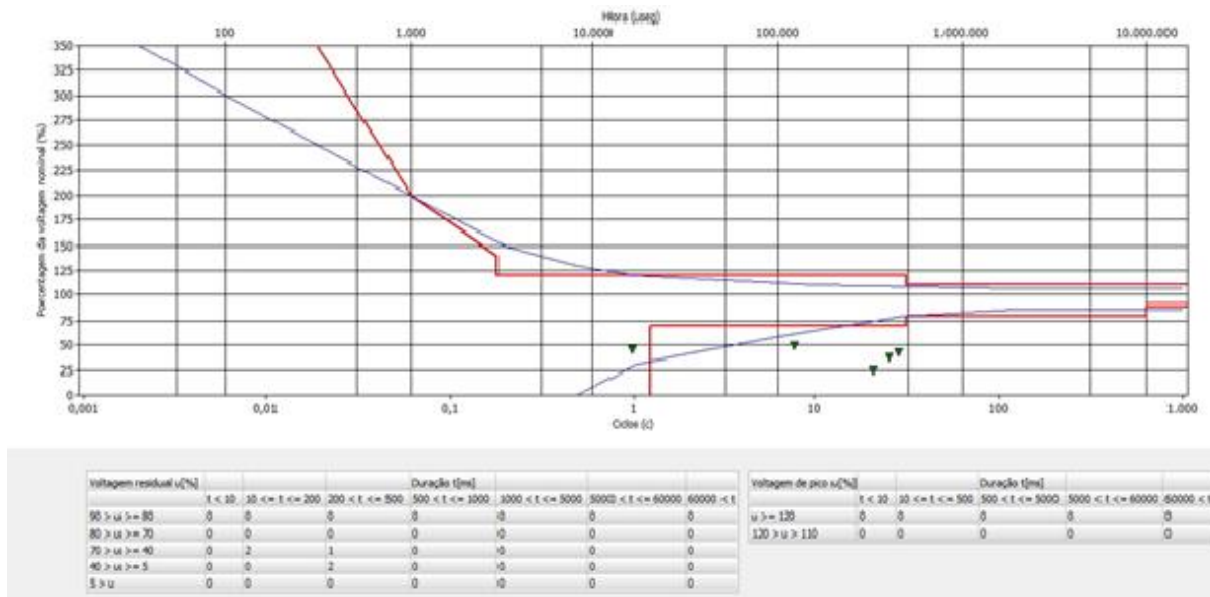


Figura 45 - Curva ITI (CBEMA), QD do terceiro pavimento, bloco A, 12/03 a 18/03 de 2014.
Fonte: Autoria Própria

O único evento de interrupção observado foi no bloco C (figura 46), reafirmando, através da curva ITI (CBEMA), o que foi mostrado na seção 5.1.2.1. Essa interrupção pode ter sido causada por alguma falha momentânea do sistema,

sendo corrigida rapidamente, ou até mesmo pela entrada de um bloco de carga muito robusto, fazendo com que o sistema oscilasse.

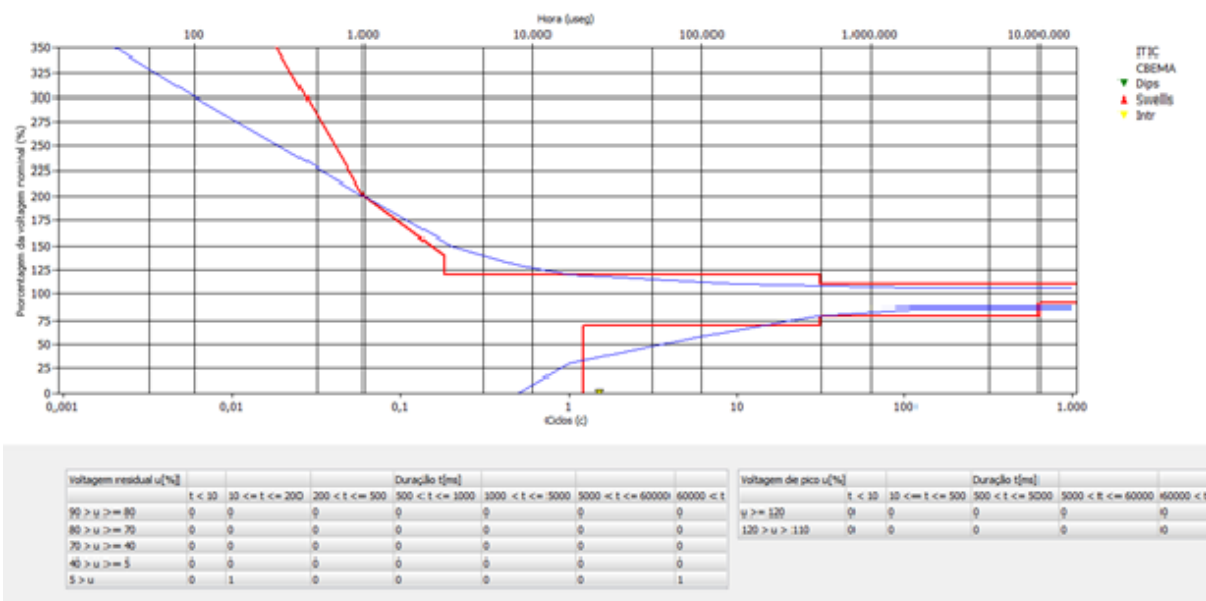


Figura 46 - Curva ITI (CBEMA), QD do pavimento térreo, bloco C, 14/04 a 21/04 de 2014.
Fonte: Autoria Própria

O segundo pavimento do bloco C contou com dois eventos de afundamento de tensão dentro da envoltória (nada preocupante) e dois fora, mas que também não são graves para os equipamentos, visto que o tempo foi relativamente baixo.

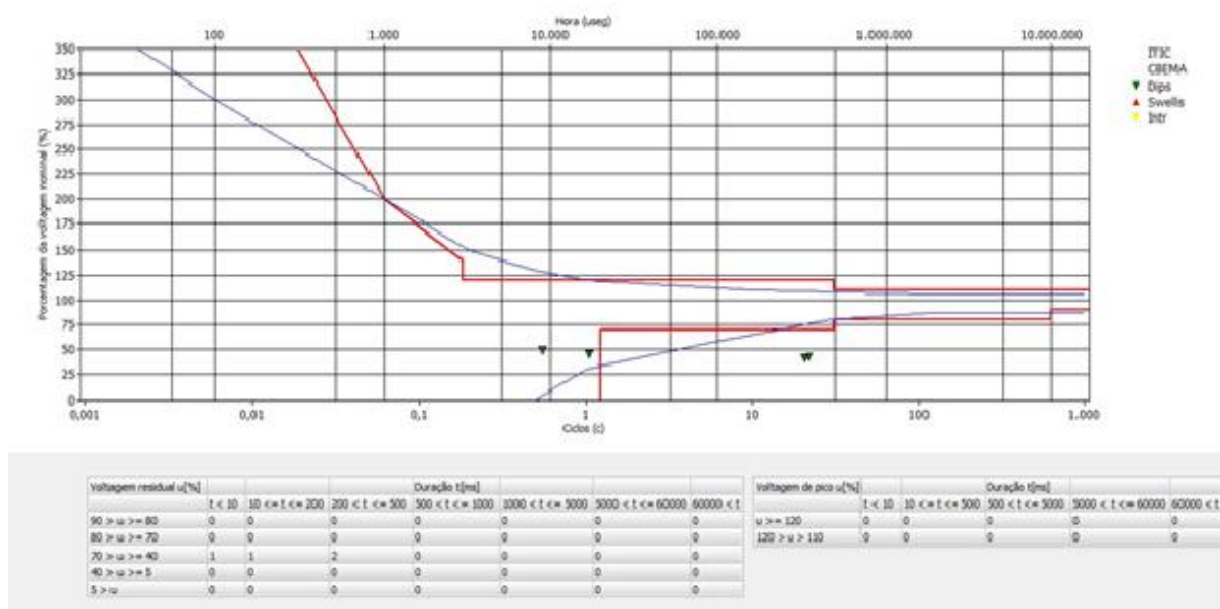


Figura 47 - Curva ITI (CBEMA), QD do segundo pavimento, bloco C, 14/05 a 21/05 de 2014.
Fonte: Autoria Própria

O terceiro pavimento do bloco C possui características semelhantes ao segundo pavimento (figuras 48 e 47, respectivamente) do mesmo bloco: níveis de tensões abaixo do normal, mas em intervalos de tempo aceitáveis. Não foi registrado nenhum evento de característica de regime permanente, onde o nível de tensão atingiu valores abaixo de 90% ou acima de 110% do valor nominal por mais de 10 segundos, o que dá certa tranquilidade quanto às características de tensão da UTFPR campus Toledo.

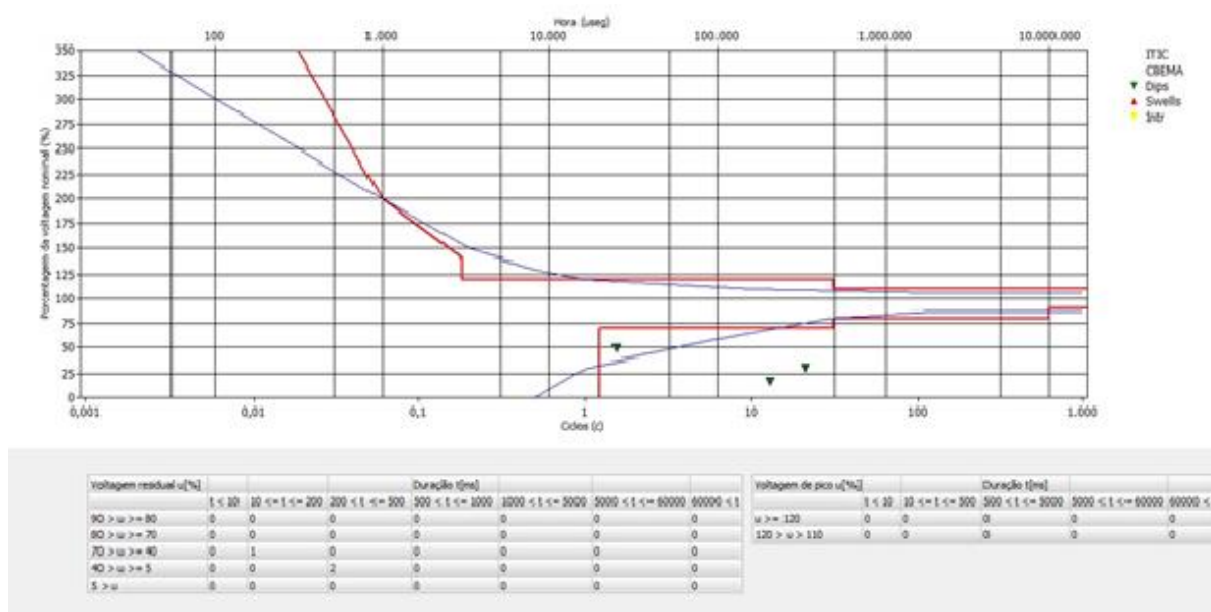


Figura 48 - Curva ITI (CBEMA), QD do terceiro pavimento, bloco C, 28/05 a 04/06 de 2014.
Fonte: Autoria Própria

5.5 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

As harmônicas são a maior fonte de distorção de uma onda senoidal. São ondas cuja frequência da corrente e tensão é múltipla inteira da frequência fundamental, no caso do sistema elétrico brasileiro, 60 Hz. A distorção harmônica é geralmente causada por cargas não-lineares como inversores de frequência, reatores para lâmpadas fluorescentes, componentes eletrônicos que possuem fonte chaveada, retificadores controlados, *no-breaks*. Outro dispositivo que também contribui com o aumento da taxa de distorção harmônica dependendo do seu modo de operação é o transformador. Quando este opera no joelho da curva de saturação do núcleo, resulta em correntes de magnetização com harmônicas de terceira ordem em níveis elevados (Grady; Santoso, 2001).

Segue abaixo uma lista de problemas causado pelo efeito deste fenômeno no sistema elétrico:

- Desligamento de cargas sensíveis às harmônicas (Oliveira, 2009);
- Valores distorcidos em multímetros (Chapman, 2001);
- Ressonância: quando há a associação entre elementos capacitivos e indutivos, variando os valores de impedância da rede, que, por sua vez, modificam as correntes e tensões presentes no sistema, podendo amplificar as harmônicas (Schneider Electric, 2003);
- Perdas nos condutores: a potência ativa de um sistema tem relação com a corrente fundamental, em 60 Hz, em nosso caso; no entanto, quando a corrente absorvida pela carga possui harmônicas, o valor eficaz dessa corrente é superior ao valor da corrente fundamental, fazendo com que as perdas sejam maiores (Schneider Electric, 2003);
- Sobreaquecimento nos condutores neutro: em um sistema elétrico trifásico, em estrela, a corrente de neutro deve ser zero se o sistema está equilibrado, ou seja, as componentes de sequência positiva e negativa se anulam; todavia, em um sistema com harmônicas injetadas na corrente, componentes de frequência zero que são múltiplos ímpares do triplo da frequência fundamental (*triple n*), se somam no condutor neutro, podendo sobrecarregá-lo. Os casos mais preocupantes, geralmente, encontram-se em edifícios comerciais/residenciais, onde a carga de eletrônicos faz com que haja altos níveis de terceira harmônica. Por exemplo, se a terceira componente de harmônica possuir amplitude de 80% em relação à fundamental, a amplitude da corrente de neutro pode alcançar até 240% (Chapman, 2001);

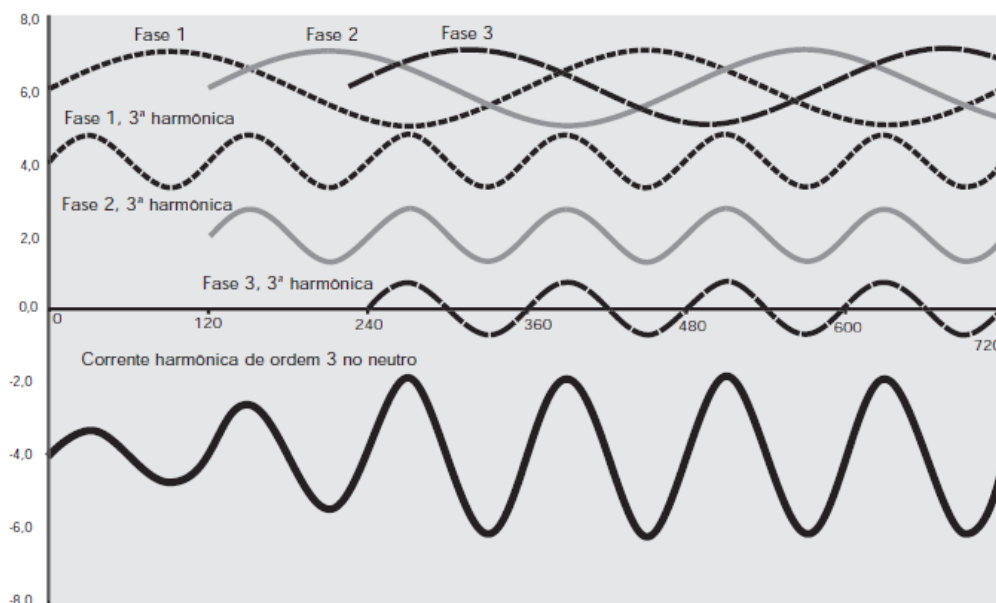


Figura 49 – Influência da Terceira harmônica na corrente de neutro.
Fonte: Chapman (2001, P. 5)

- Perdas nas máquinas síncronas: quando há a circulação, no rotor, de correntes com frequências elevadas em relação à frequência fundamental, aumenta-se as perdas, ruídos e diminui-se o torque (Schneider Electric, 2003);
- Efeito nos transformadores: as harmônicas afetam os transformadores de duas maneiras: corrente de Foucault e ação das harmônicas de terceira ordem. As correntes de Foucault representam perdas de 10% em plena carga e aumentam em função do quadrado da ordem da harmônica. Assim, cargas eletrônicas, por exemplo, fazem com que as perdas sejam o dobro das perdas relacionadas às cargas lineares. O resultado da ação das correntes de Foucault é a elevação da temperatura e, conseqüentemente, a diminuição da vida útil do transformador. As correntes da harmônica de terceira ordem estão em fase no enrolamento do transformador, fazendo com que sejam absorvidas pelos mesmos e não destinadas à linha de transmissão. Deste modo, existe a necessidade de se dimensionar os transformadores levando em consideração a ação dessas correntes, caso contrário, haverá sobreaquecimento, levando à diminuição da vida útil do equipamento (Chapman, 2001);

- Disparo intempestivo dos dispositivos automáticos: as componentes harmônicas podem causar o desligamento de dispositivos de duas maneiras. Por exemplo, num dispositivo diferencial-residual, onde a proteção é realizada através da soma da corrente de neutro e fase, pode acontecer de, por ser tratar de um dispositivo eletromecânico, a soma das componentes de alta frequência pode ser realizada de maneira errada e a corrente sair do limite estabelecido pelo operador, causando o desligamento. Outra maneira é que cargas ricas em harmônicas podem poluir a rede e gerar ruídos de manobra, o que pode causar o desligamento inesperado (Chapman, 2001);
- Efeito pelicular: a corrente alternada tende a circular pela parte exterior dos condutores, sendo mais frequente em frequências mais elevadas. Não se fala muito deste efeito, pois, na frequência fundamental, ele exerce uma pequena influência, porém, em frequências maiores ou iguais a 350 Hz, ou seja, a sétima harmônica, o mesmo começa a atingir níveis alarmantes, levando a perdas (Chapman, 2001);

Como visto acima, são vários os problemas causados pela distorção harmônica presente em um sistema elétrico, porém existem maneiras bastante eficientes de se tratar este problema.

Por exemplo, a utilização de filtros passivos instalados em paralelo com a carga não-linear, faz com que a corrente harmônica não regresse à fonte, mas, sofra um “desvio” devido à baixa impedância do filtro. Esses filtros podem ser projetados para uma componente harmônica específica ou para uma grande faixa de frequências. Outra forma de atenuar ou eliminar componentes harmônicas de corrente é através da utilização de compensadores ativos, estes injetam correntes em cada uma das fases do sistema trifásico de modo a compensar o desequilíbrio provocado pela presença de cargas não-lineares. Os transformadores de isolamento, ou transformadores com enrolamento em ziguezague, que são autotransformadores com configuração em estrela, são conectados em paralelo com as fontes de alimentação, deste modo, capazes de isolar as correntes harmônicas ímpares múltiplas de três do sistema, facilitando o tratamento das linhas de transmissão (Chapman, 2001; Dugan *et al*, 2002).

5.5.1 Conteúdo Harmônico (Um breve estudo da série de Fourier)

Ao tentar expressar um sinal não senoidal como a soma de várias senóides, é necessário se ater a uma das mais famosas e comuns expressões matemáticas: a série de Fourier (Sankaran, 2002).

Para deixar mais claro o conceito da soma das componentes harmônicas para formar uma forma de onda não senoidal, mostrar-se-á a equação de Fourier em uma forma mais simples. Para uma forma de onda periódica tem-se (Sankaran 2002):

$$v(t) = V_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos(k\omega t) + b_k \text{sen}(k\omega t)]$$

Onde:

a_k : amplitude em função do cosseno da componente harmônica;

b_k : amplitude em função do seno da componente harmônica;

k : ordem da harmônica;

$\omega = 2\pi f$: frequência fundamental da onda amostrada (em rads/s)

V_0 : valor médio da função

Vale lembrar que esta equação pode ser trabalhada em formas mais simples, pois a utilização de seno e cosseno em uma mesma fórmula remete apenas ao deslocamento do ângulo dos componentes da harmônica, não necessariamente na aplicação da série de Fourier (Sankaran, 2002).

Em um sistema elétrico, quanto maior a ordem da harmônica, menor tende a ser sua amplitude. Sendo assim, considera-se até a 50ª harmônica segundo o caderno PRODIST da ANEEL.

Na figura 50 é mostrada a soma de componentes harmônicas ímpares, da primeira até a décima terceira ordem, gerando, a título de exemplo, uma forma de onda não senoidal.

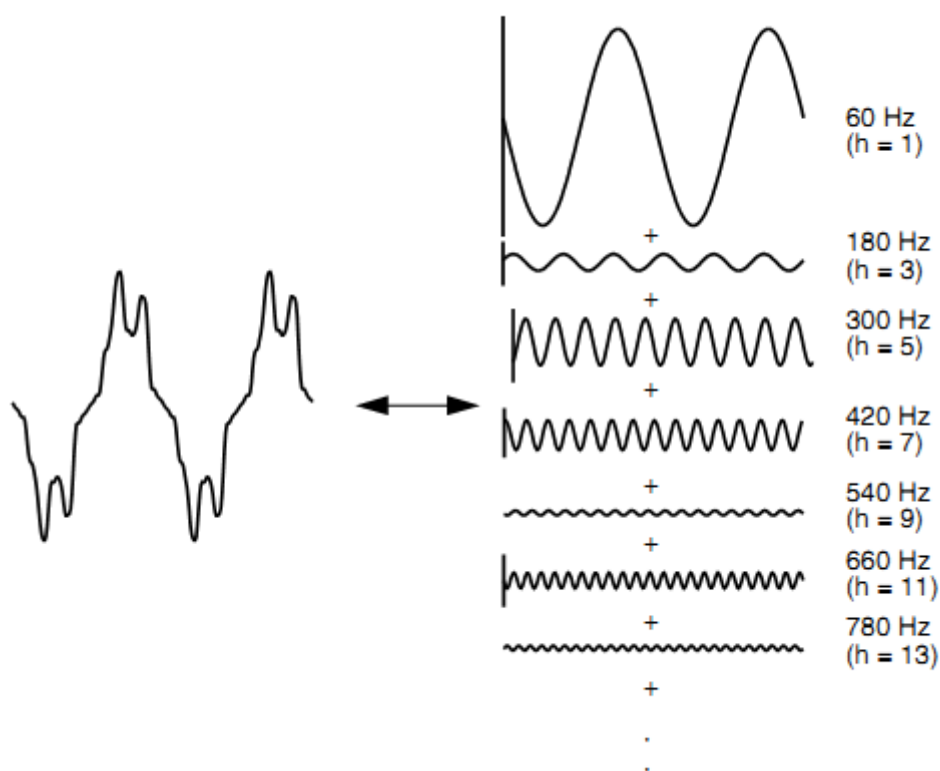


Figura 50 – Representação da série de Fourier para a soma de sinais senoidais.
Fonte: Dugan et al, 2002. P. 170.

5.5.2 Análise dos indicadores de distorção harmônica

Para entender o que será analisado, separaram-se os resultados da seção 5.5 em dois: espectro harmônico e taxa de distorção harmônica total.

O espectro harmônico é uma curva que mostra o valor das harmônicas existentes em relação à frequência fundamental, neste caso em formato de histograma. Por exemplo, o espectro harmônico de uma ponte trifásica a diodos de seis pulsos na figura 51:

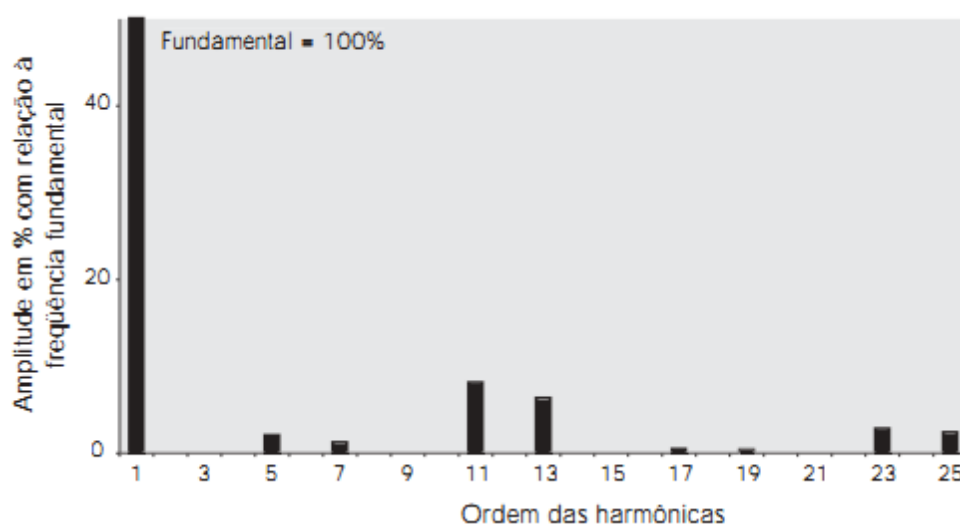


Figura 51 – Espectro harmônico.
Fonte: Chapman (2001, P. 4)

O THD (*Total Harmonic Distortion*) ou taxa de distorção harmônica total é um índice utilizado para determinar a relação entre as componentes harmônicas de um sinal distorcido em relação à frequência fundamental. Geralmente é empregado em valores percentuais (Oliveira, 2009).

Seu valor é definido a partir da equação (Dugan *et al*, 2002):

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} M_h^2}}{M_1}$$

Onde:

M_h : é o valor eficaz da componente harmônica de ordem h ;

M_1 : é o valor eficaz da componente fundamental da forma de onda;

Com esses indicadores já se faz possível analisar os resultados obtidos nos blocos A e C da UTFPR *campus* Toledo.

5.5.3 Apresentação e análise dos dados

Em se tratando de dois indicadores para quantizar as harmônicas do sistema, os mesmos serão individualizados e tratados separadamente. Começar-se-á pela análise do espectro e posteriormente a análise da taxa de distorção harmônica total. Antes de avançarmos na apresentação dos resultados desta seção,

é importante lembrar que os blocos A e C onde foram coletados dados que possuem cargas lineares e não-lineares compostas basicamente por:

- Carga de iluminação, condicionamento de ar, motores, computadores, dispositivos eletrônicos, computadores, *No-breaks*, etc.

As figuras a seguir, 52 a 140, serão utilizadas para mostrar a atual situação dos espectros harmônicos de tensão, corrente, além das formas de onda de tensão e corrente, juntamente com o diagrama de fases.

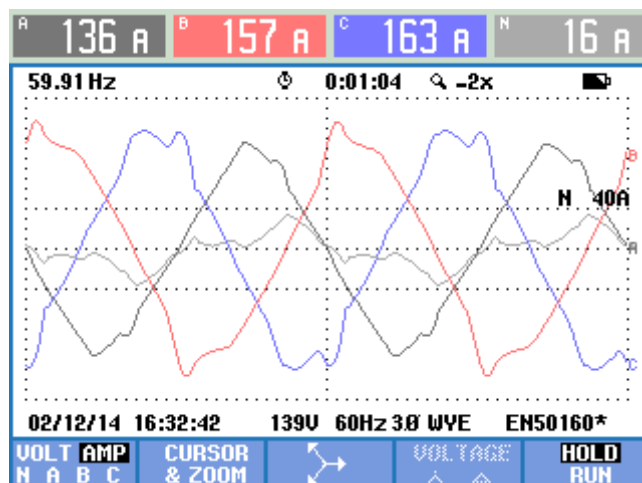


Figura 52 – Forma de onda da corrente do QGF do bloco A. Dia 12/02/2014 às 16:32:42.
Fonte: Autoria Própria

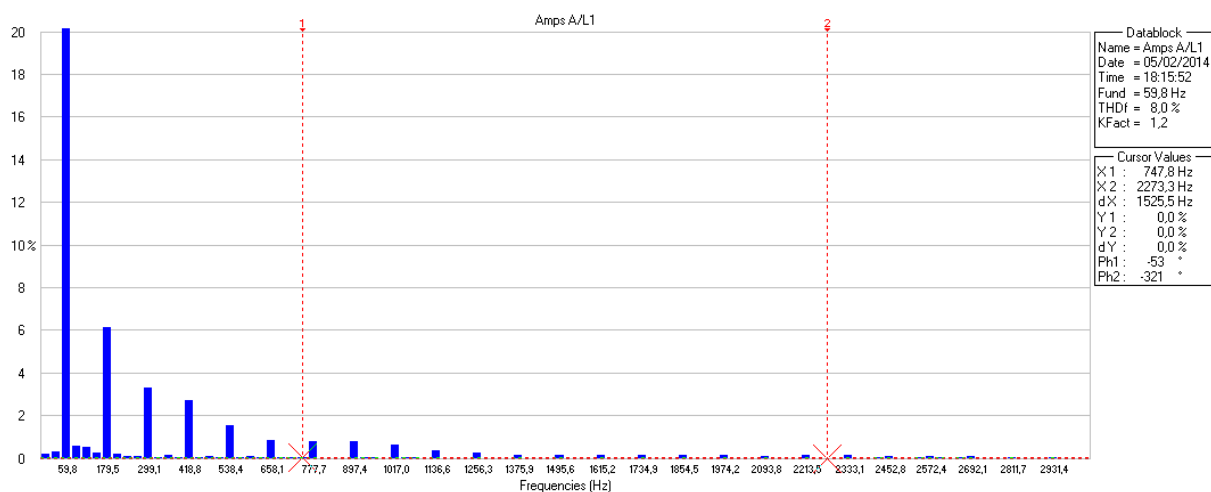


Figura 53 – Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QGF do bloco A. Dia 05/02/2014 às 18:15:52.
Fonte: Autoria Própria

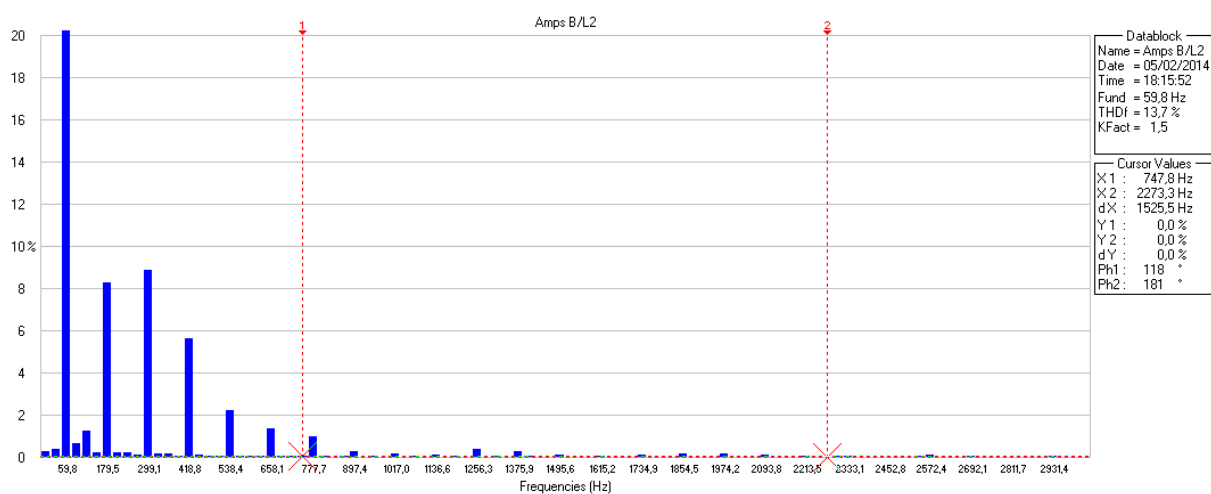


Figura 54 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QGF do bloco A. Dia 05/02/2014 às 18:15:52.
Fonte: Autoria Própria

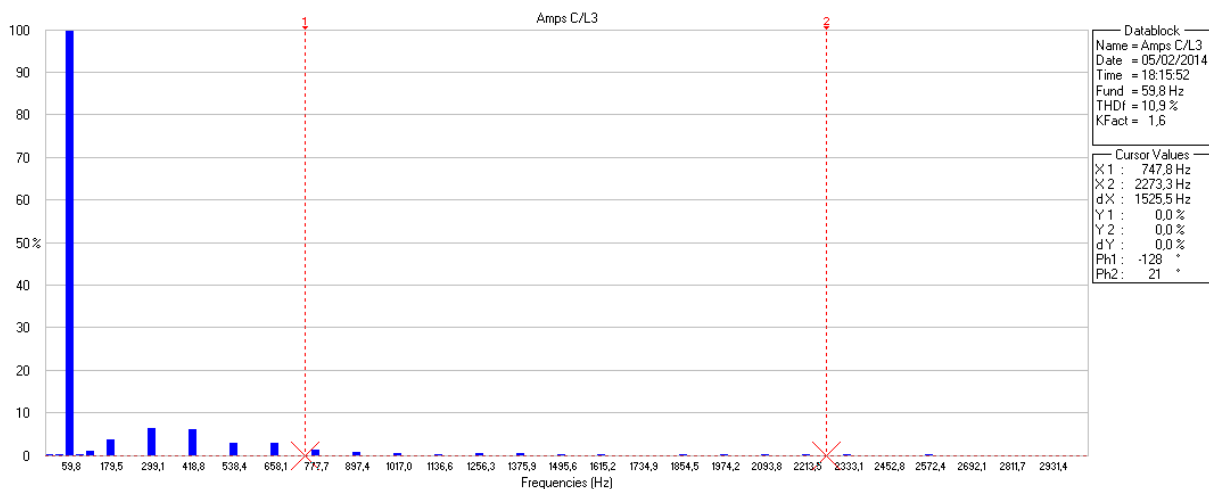


Figura 55 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QGF do bloco A. Dia 05/02/2014 às 18:15:52.
Fonte: Autoria Própria

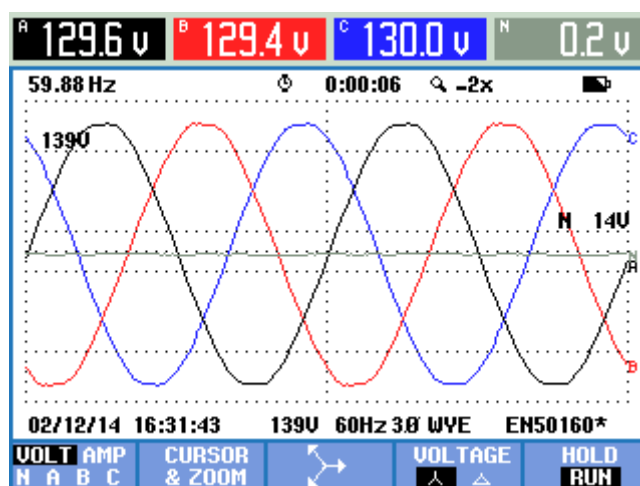
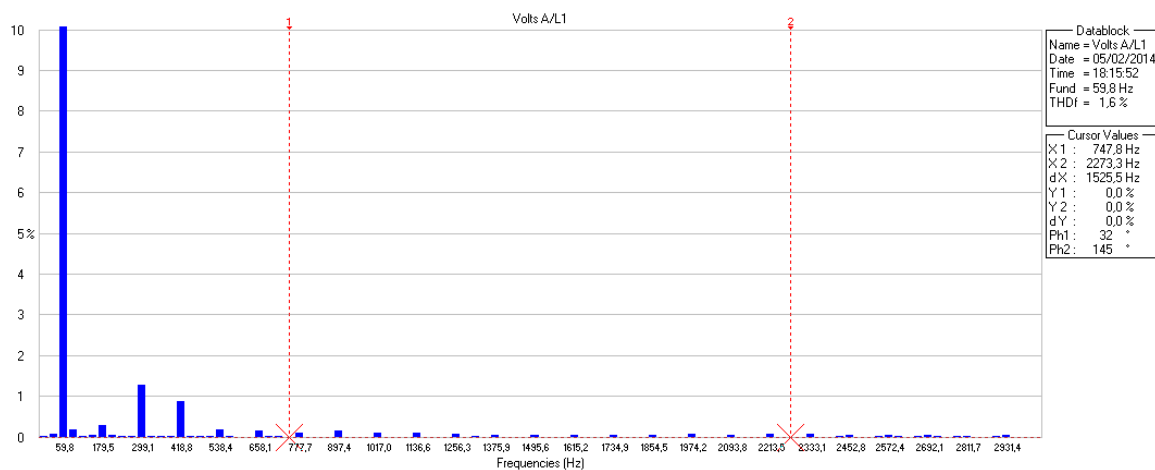
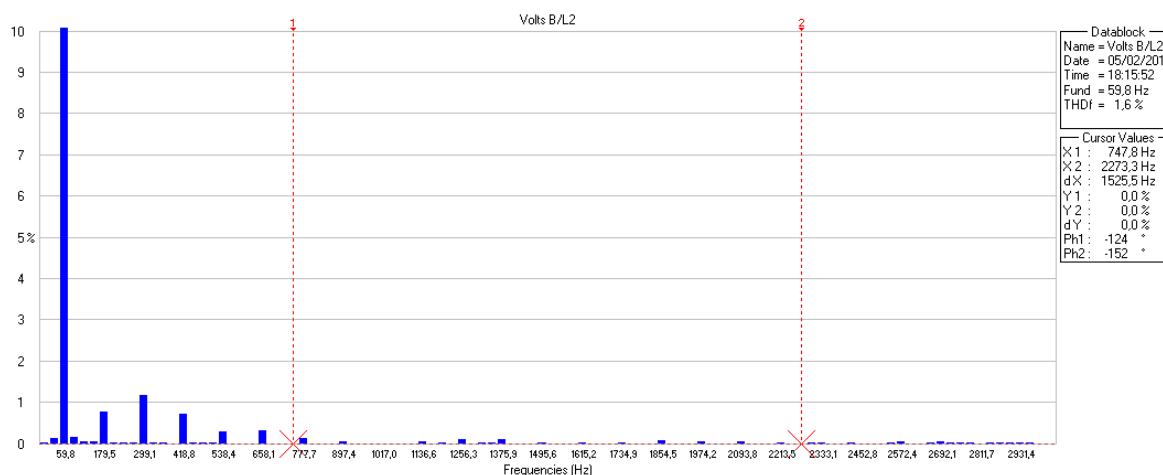


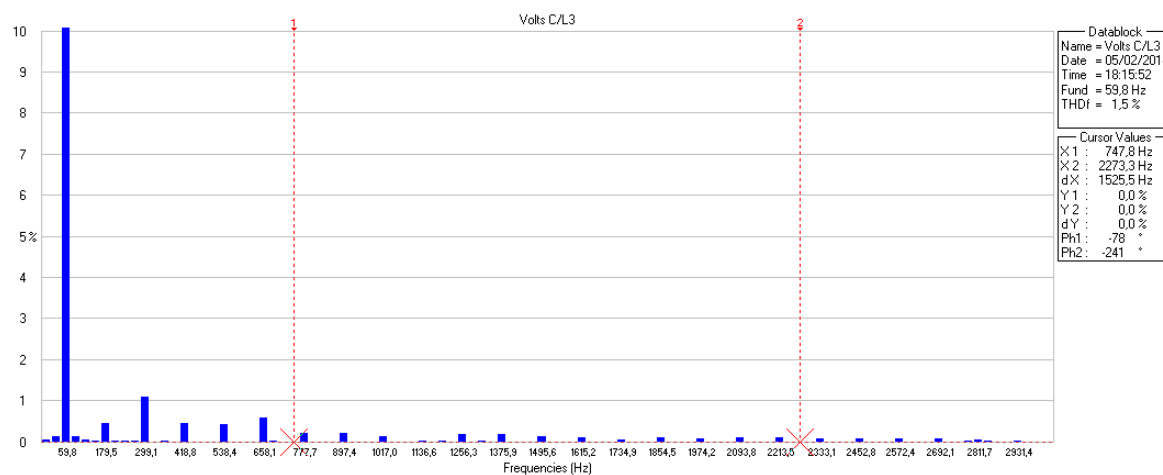
Figura 56 – Forma de onda da tensão do QGF do bloco A. Dia 12/02/2014 às 16:31:43.
Fonte: Autoria Própria



**Figura 57 - Espectro harmônico da tensão da fase A/L1 do QGF do bloco A. Dia 05/02/2014 às 18:15:52.
Fonte: Autoria Própria**



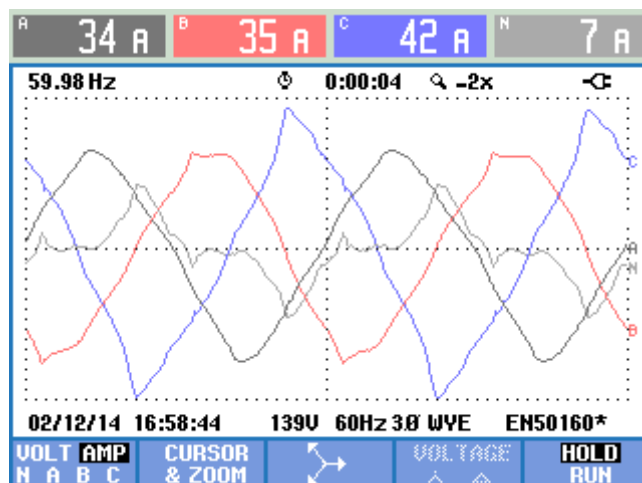
**Figura 58 - Espectro harmônico da tensão da fase B/L2 do QGF do bloco A. Dia 05/02/2014 às 18:15:52.
Fonte: Autoria Própria**



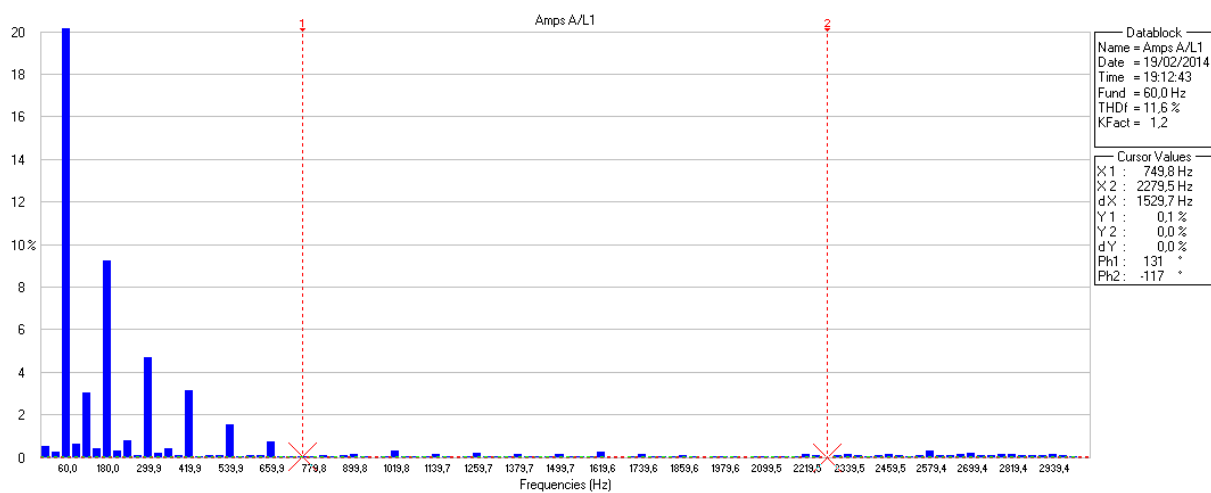
**Figura 59 - Espectro harmônico da tensão da fase C/L3 do QGF do bloco A. Dia 05/02/2014 às 18:15:52.
Fonte: Autoria Própria**

O quadro de distribuição geral que alimenta todo o bloco A possui uma distorção harmônica de corrente relativamente baixa (figuras 53 a 55), refletindo na forma de onda da corrente da figura 52, que, mesmo que haja uma diferença significativa de uma senóide pura, não se assemelha aos casos mais graves deste campus. Os níveis permaneceram abaixo de 10%, podendo considerar um sistema com ótimas condições. O espectro harmônico da tensão permaneceu em níveis bastante baixos, cerca de 1% em relação à fundamental (figuras 57 a 59), o que também reflete na forma de onda senoidal da tensão que não sofre, praticamente, nenhuma distorção (figura 56).

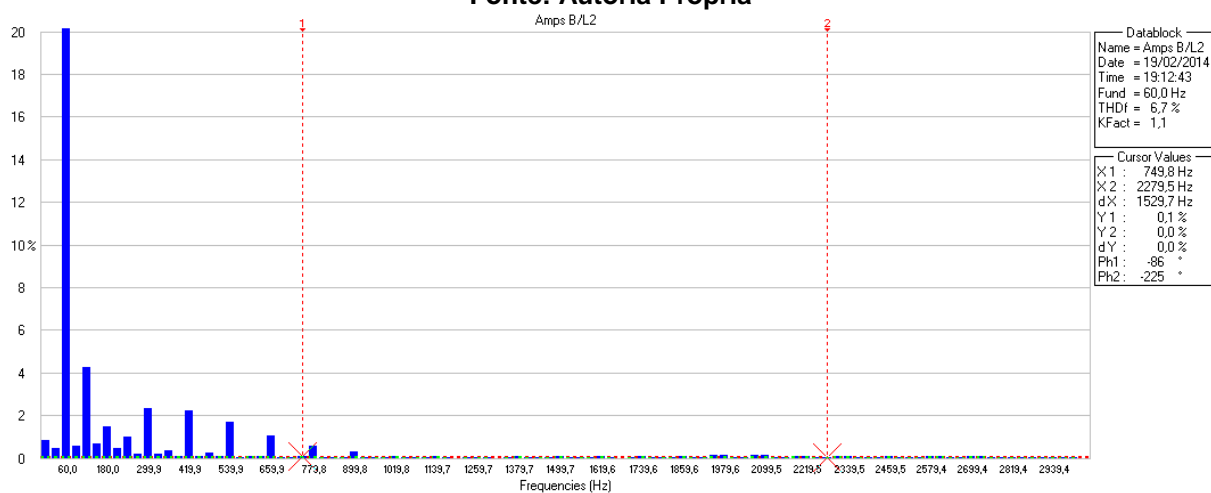
As figuras relativas ao QD do pavimento térreo do bloco A estão dispostas de 60 a 67.



**Figura 60 - Forma de onda da corrente do QD do pavimento térreo do bloco A. Dia 12/02/2014 às 16:58:44.
Fonte: Autoria Própria**



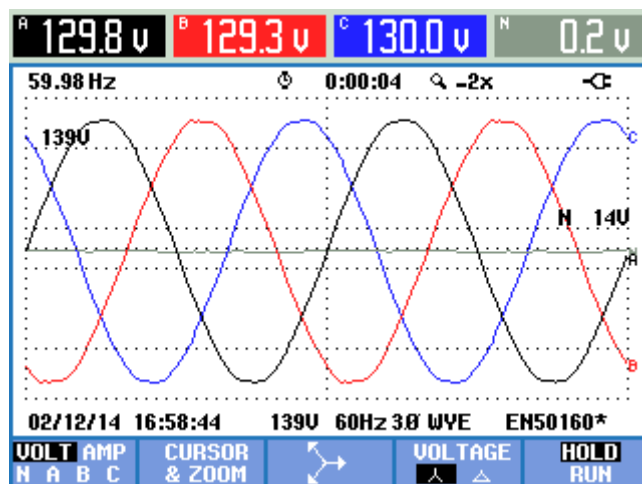
**Figura 61 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do pavimento térreo do bloco A. Dia 19/02/2014 às 19:12:43.
Fonte: Autoria Própria**



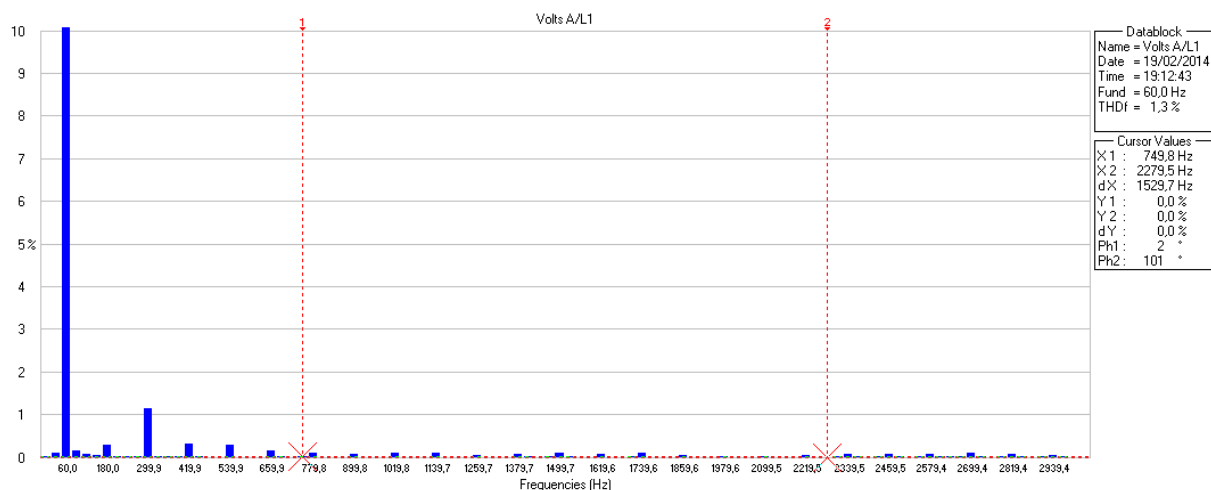
**Figura 62 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do pavimento térreo do bloco A. Dia 19/02/2014 às 19:12:43.
Fonte: Autoria Própria**



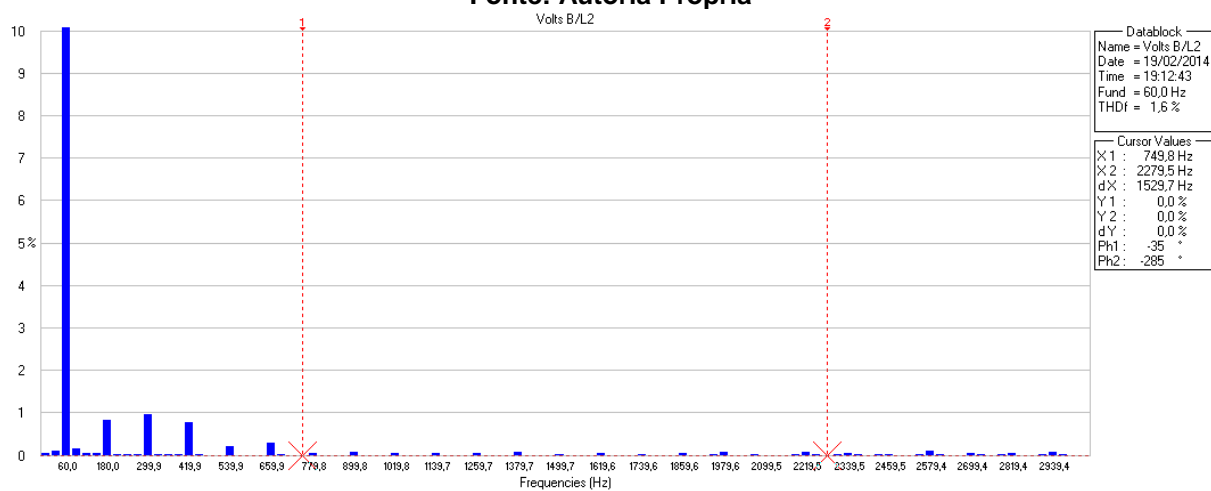
**Figura 63 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do pavimento térreo do bloco A. Dia 19/02/2014 às 19:12:43.
Fonte: Autoria Própria**



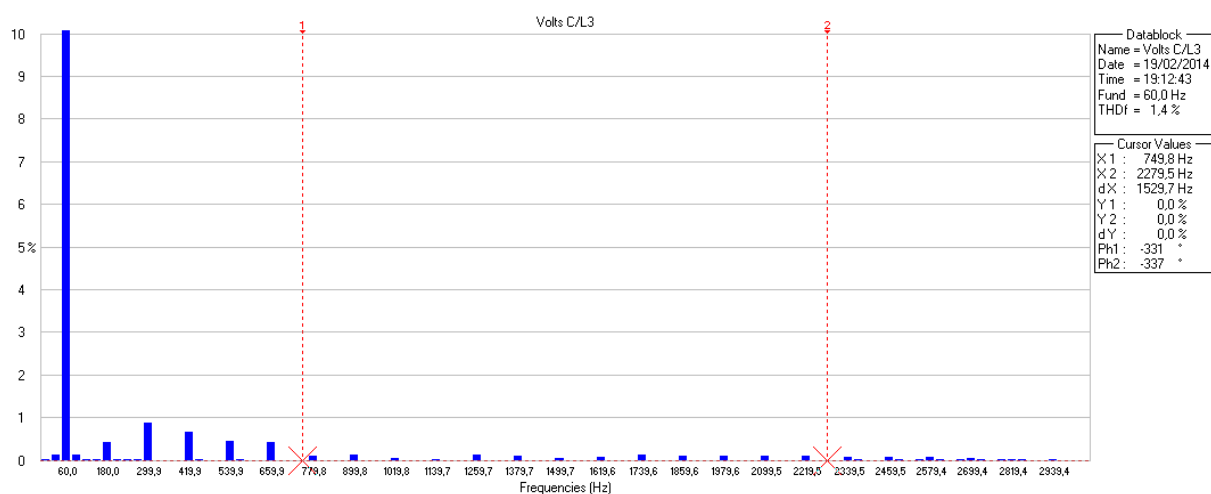
**Figura 64 - Forma de onda da tensão do QD do pavimento térreo do bloco A. Dia 12/02/2014 às 16:58:44.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 65 - Espectro harmônico da tensão da fase A/L1 do QD do pavimento térreo do bloco A.
Dia 19/02/2014 às 19:12:42.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 66 - Espectro harmônico da tensão da fase B/L2 do QD do pavimento térreo do bloco A.
Dia 19/02/2014 às 19:12:43.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 67 - Espectro harmônico da tensão da fase C/L3 do QD do pavimento térreo do bloco A.
Dia 19/02/2014 às 19:12:43.
Fonte: Autoria Própria**

Esse QD apresenta um caso bastante frequente em nosso campus: fases desbalanceadas. Pelas figuras 60 e 63 fica clara a influência de cargas eletrônicas sobrecarregando a fase C/L3, até por isso a mesma possui maior módulo, gerando seu formato mais triangular. A fase A/L1 (figura 61) possui distorção harmônica mais baixa em relação à fase C, mas sua forma de onda possui um desenho mais triangular e menos senoidal e a fase B/L2 possui o menor nível de harmônicas (figura 62), sendo este o motivo de uma onda que se aproxima da forma senoidal. Analisando as harmônicas de tensão (figura 65 a 67), esse QD possui níveis extremamente baixos, o que é muito bom para a instalação, vide a forma de onda da figura 64 que se assemelha a uma senóide perfeita. Vale lembrar que o pavimento térreo do bloco A, possui vários laboratórios onde há motores, transformadores além de uma gama de equipamentos eletrônicos.

As figuras 68 a 75 mostram a situação do QD do primeiro pavimento:

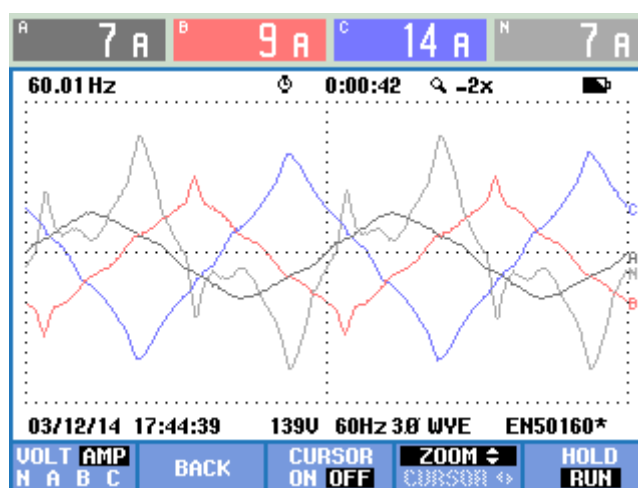
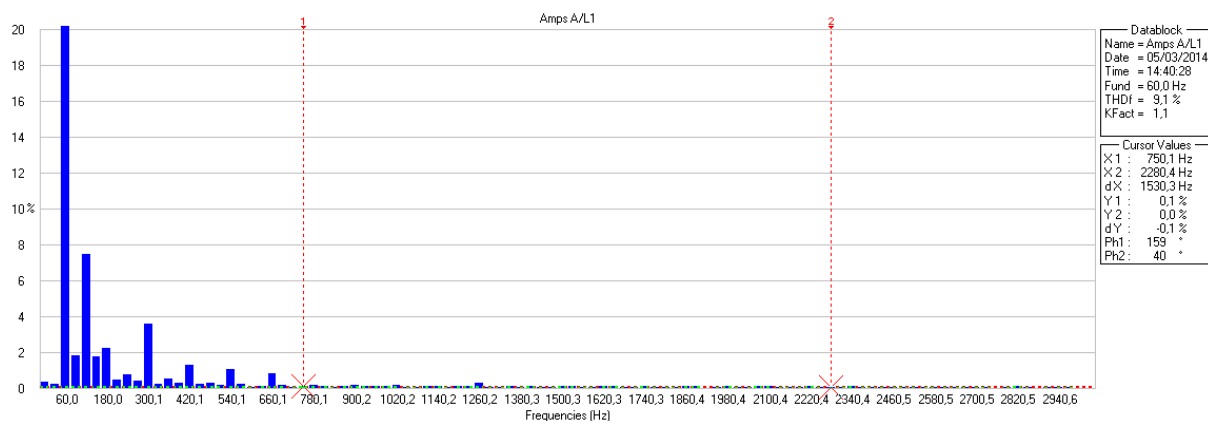
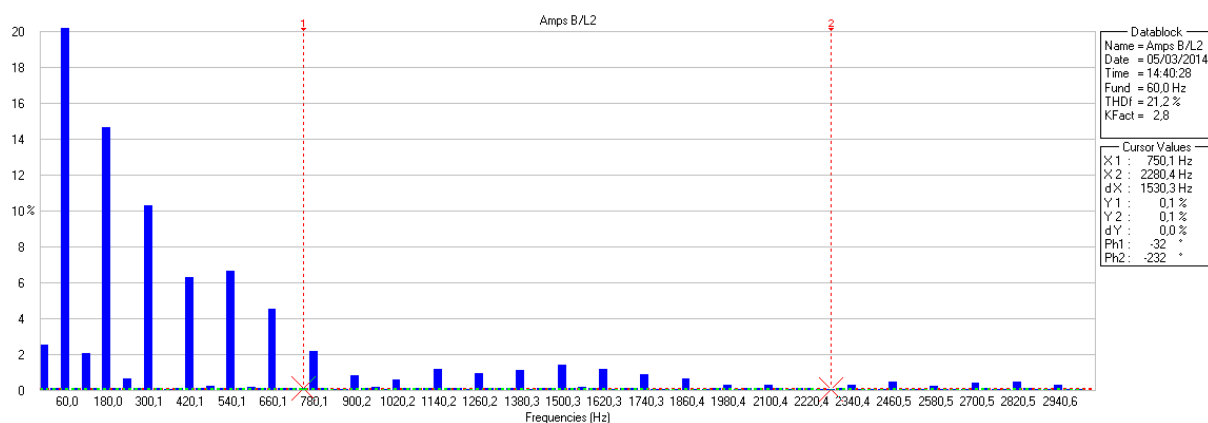


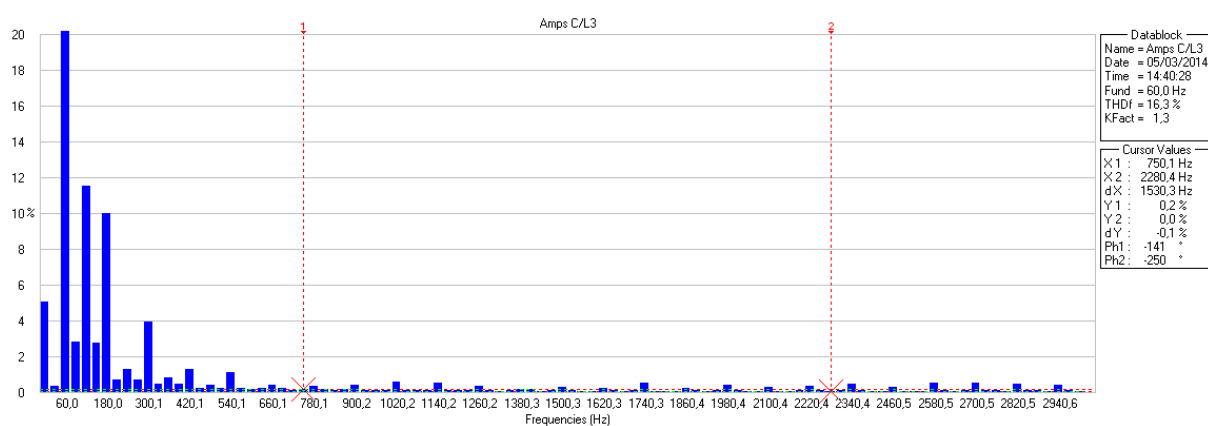
Figura 68 - Forma de onda da corrente do QD do primeiro pavimento do bloco A. Dia 12/03/2014 às 17:44:39. Fonte: Autoria Própria



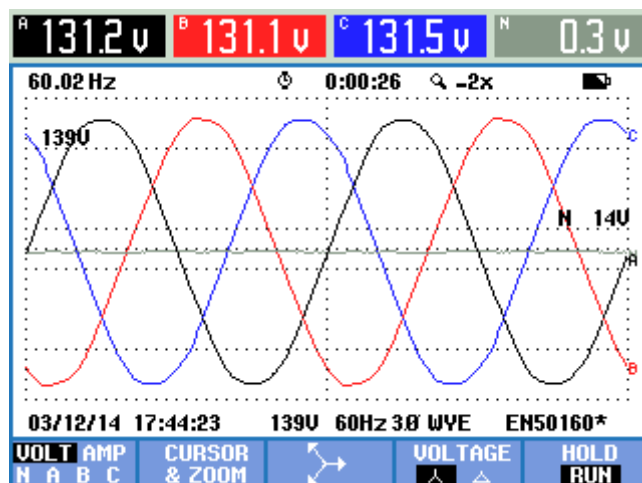
**Figura 69 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do primeiro pavimento do bloco A. Dia 05/03/2014 às 14:40:28.
Fonte: Autoria Própria**



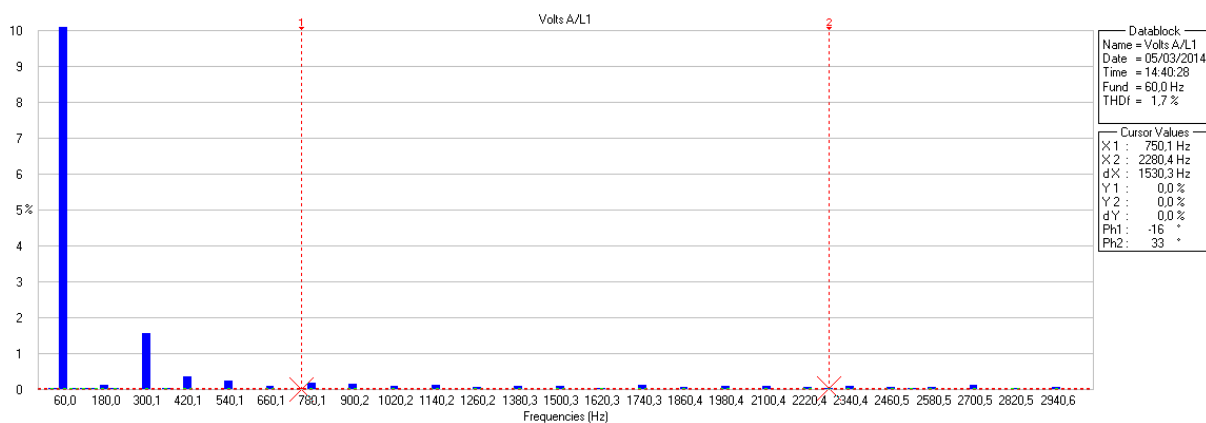
**Figura 70 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do primeiro pavimento do bloco A. Dia 05/03/2014 às 14:40:28.
Fonte: Autoria Própria**



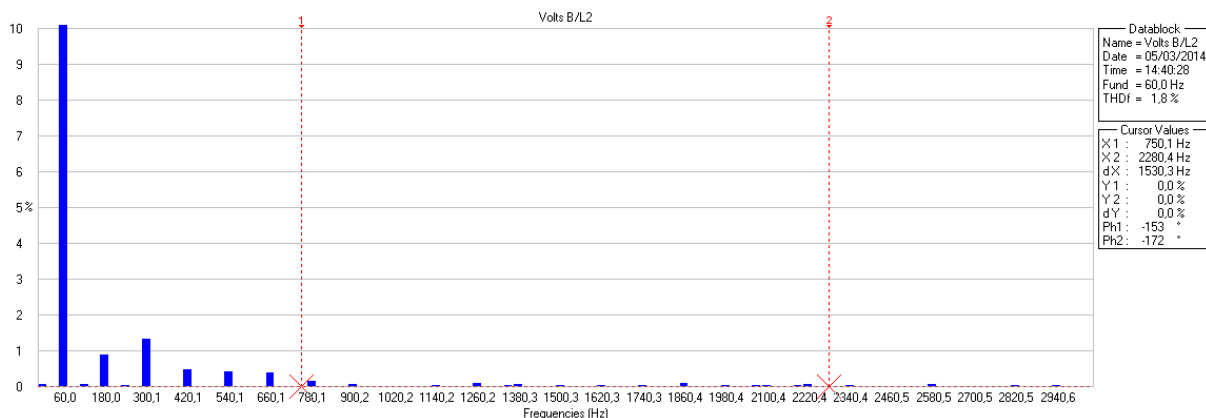
**Figura 71 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do primeiro pavimento do bloco A. Dia 05/03/2014 às 14:40:28.
Fonte: Autoria Própria**



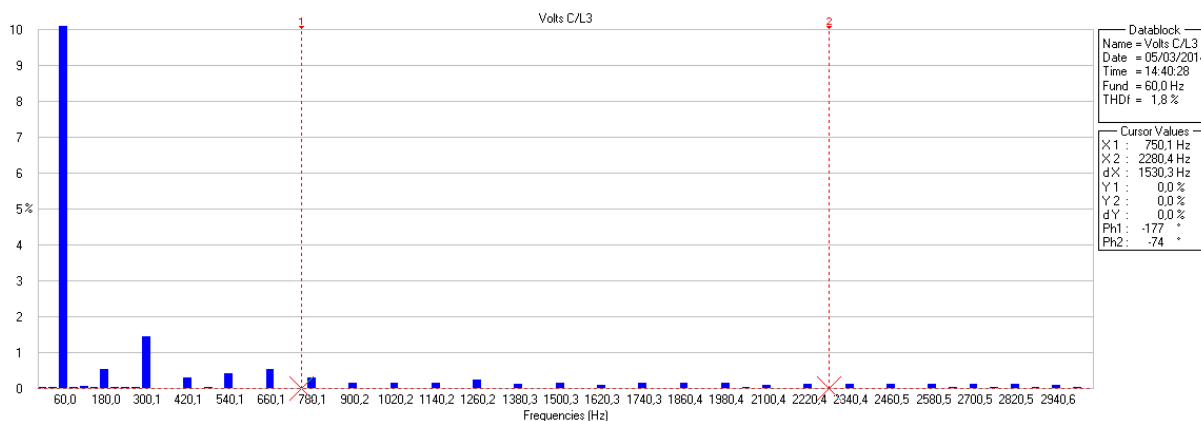
**Figura 72 - Forma de onda da tensão do QD do primeiro pavimento do bloco A. Dia 12/03/2014 às 17:44:23.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 73 - Espectro harmônico da tensão da fase A/L1 do QD do primeiro pavimento do bloco A. Dia 05/03/2014 às 14:40:28.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 74 - Espectro harmônico da tensão da fase B/L2 do QD do primeiro pavimento do bloco A. Dia 05/03/2014 às 14:40:28.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 75 - Espectro harmônico da tensão da fase C/L3 do QD do primeiro pavimento do bloco A. Dia 05/03/2014 às 14:40:28.
Fonte: Autoria Própria**

As formas de onda das três fases da figura 68 mostra com clareza o que as figuras 69, 70 e 71 exemplificam. Na fase A/L1, figura 69, há maior influência da segunda harmônica, que é uma componente DC do sistema, gerando uma senóide de menor amplitude. A figura 70 mostra a fase B/L2, mais atingida pelas harmônicas ímpares, em especial a 3^a, 5^a e 9^a, o que faz sentido ao ver sua forma de onda da corrente mais distorcidas do que as formas de onda das outras fases, na figura 68. A figura 71 mostra a fase C/L3, que revela certa influência da segunda harmônica, seguida pela terceira; a forma de onda da fase C/L3, visto pela figura 68, assemelha-se mais ao caso da fase A/L1 do que o caso da fase B/L2, tendo em vista que A/L1 e C/L3 possuem poluição harmônica semelhante. Estes casos são compreensíveis, tendo vista que as fotocopiadoras, as lâmpadas fluorescentes com reatores eletrônicos/eletromagnéticos, além do laboratório de informática com uma quantidade considerável de computadores. Seguindo os outros quadros de distribuição estudados até então, a forma de onda da tensão (figura 72) sofreu baixa distorção devido ao nível ínfimo das harmônicas (figuras 73, 74 e 75).

As formas de onda do segundo pavimento estarão dispostas entre as figuras 76 a 83.

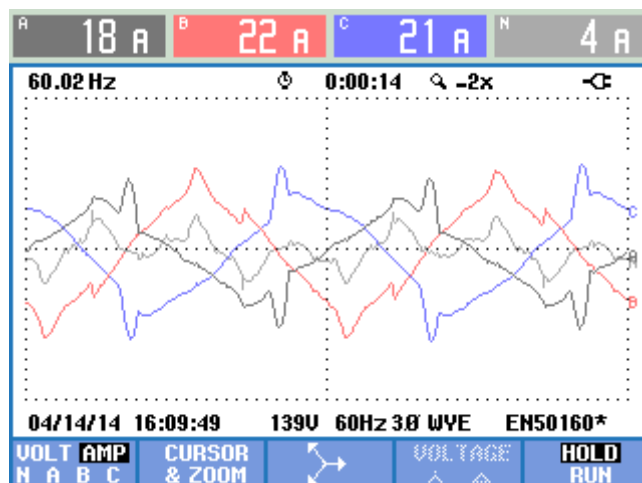


Figura 76 - Forma de onda da corrente do QD do segundo pavimento do bloco A. Dia 14/04/2014 às 16:09:49.
Fonte: Autoria Própria

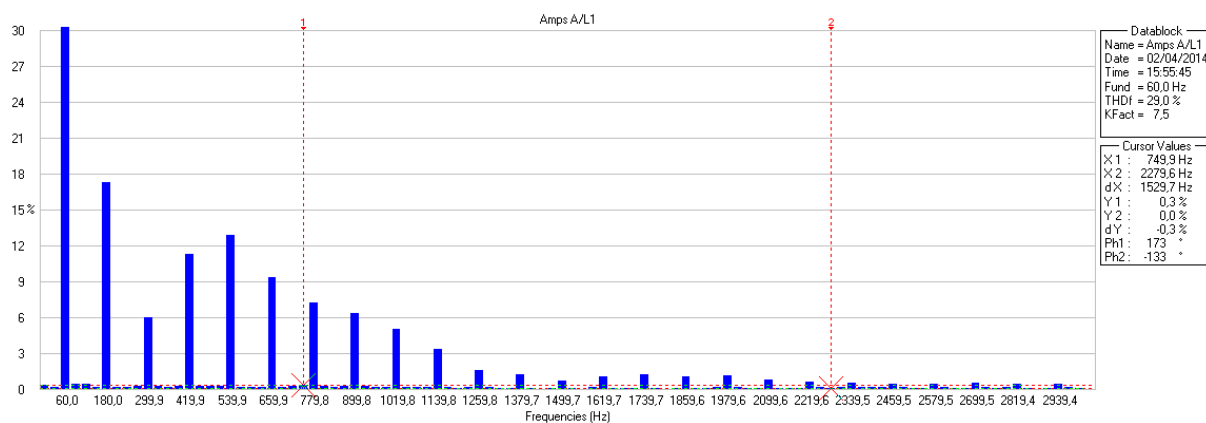


Figura 77 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do segundo pavimento do bloco A. Dia 02/04/2014 às 15:55:45.
Fonte: Autoria Própria

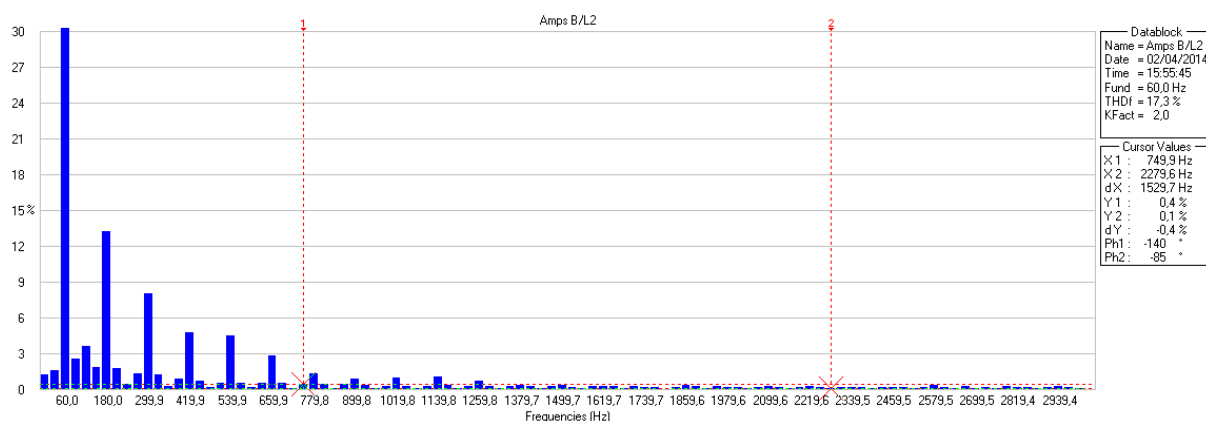


Figura 78 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do segundo pavimento do bloco A. Dia 02/04/2014 às 15:55:45.
Fonte: Autoria Própria

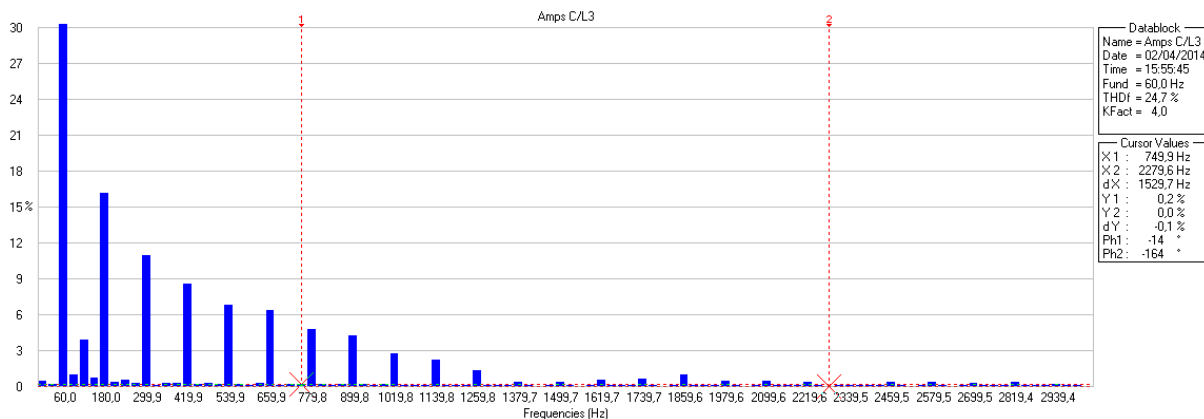


Figura 79 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do segundo pavimento do bloco A. Dia 02/04/2014 às 15:55:45.
Fonte: Autoria Própria

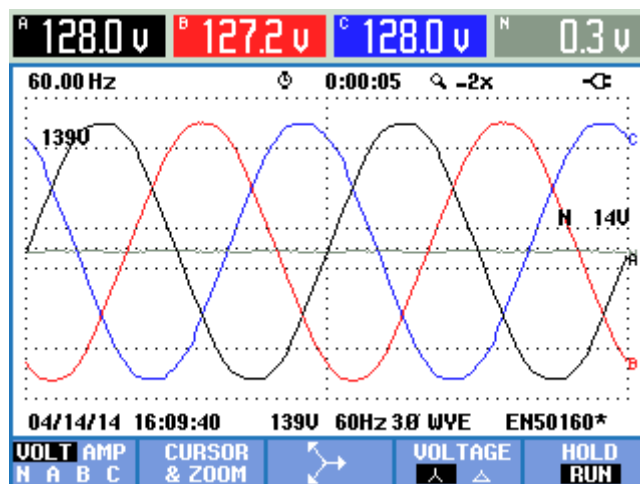


Figura 80 - Forma de onda da tensão do QD do segundo pavimento do bloco A. Dia 14/04/2014 às 16:09:40.
Fonte: Autoria Própria

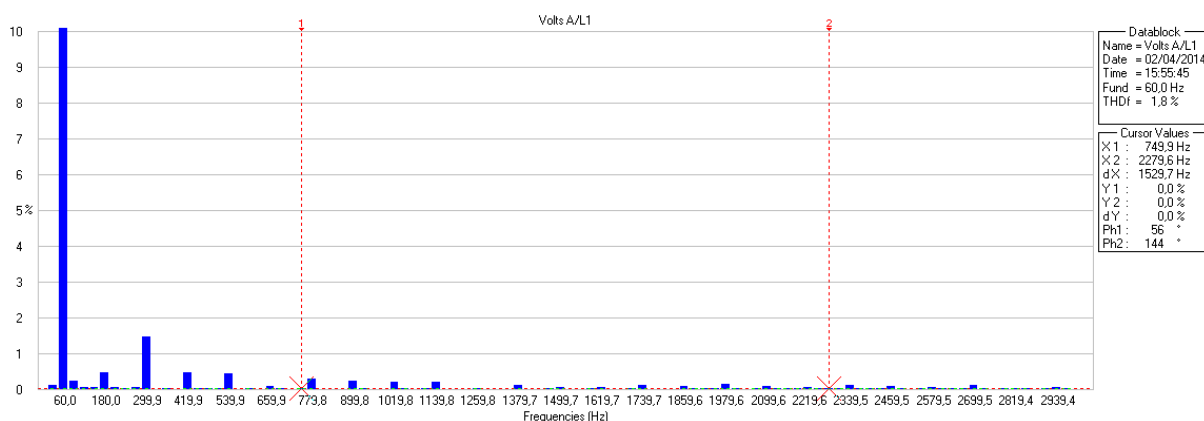
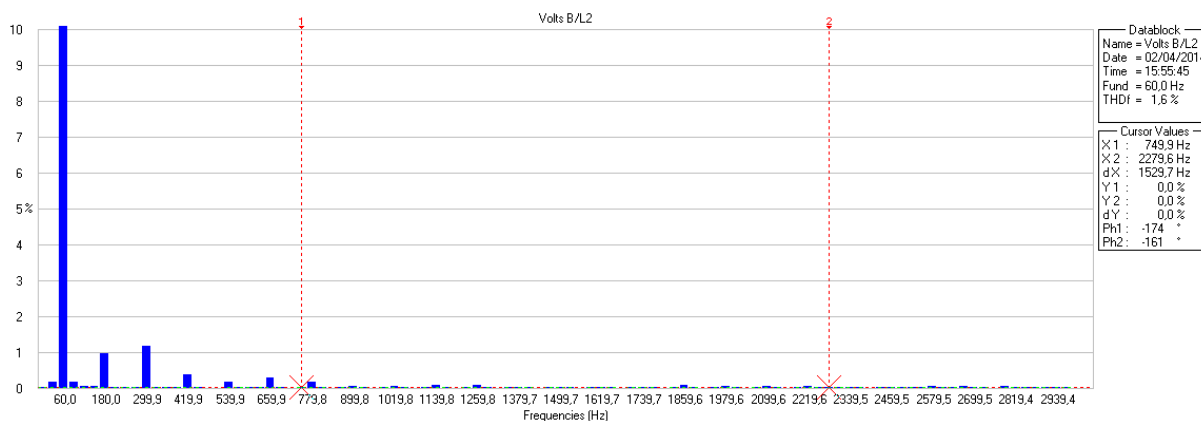
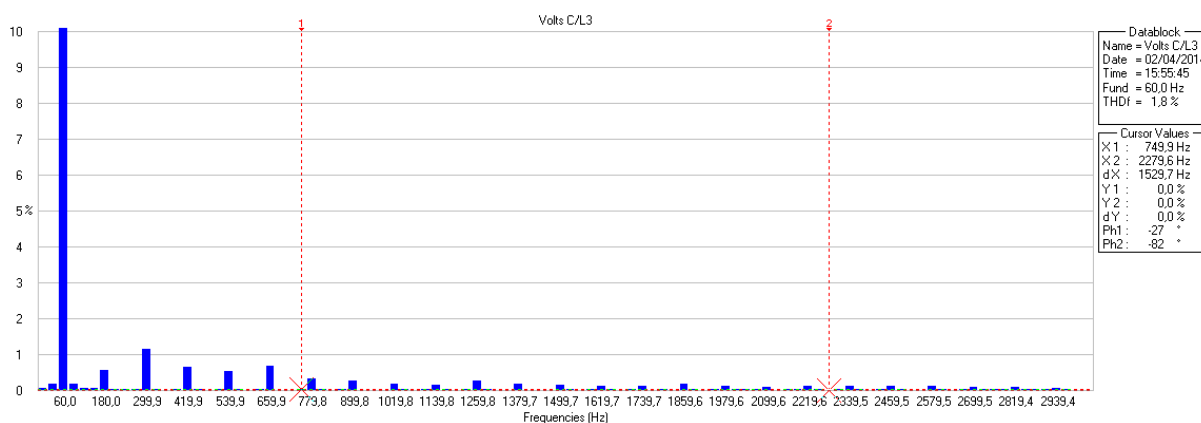


Figura 81 - Espectro harmônico da tensão da fase A/L1 do QD do segundo pavimento do bloco A. Dia 02/04/2014 às 15:55:45.
Fonte: Autoria Própria



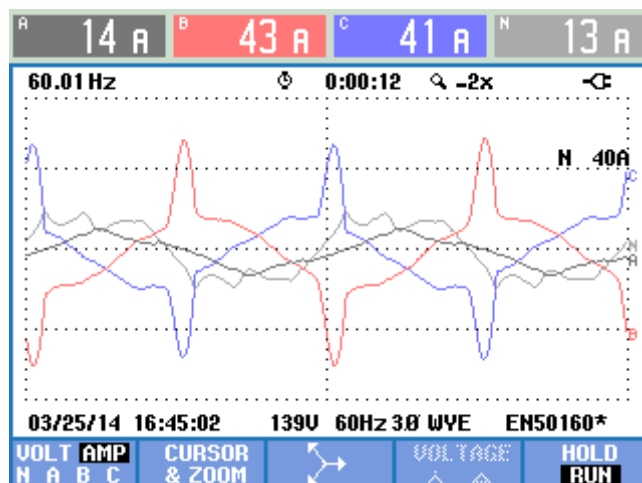
**Figura 82 - Espectro harmônico da tensão da fase B/L2 do QD do segundo pavimento do bloco A. Dia 02/04/2014 às 15:55:45.
Fonte: Autoria Própria**



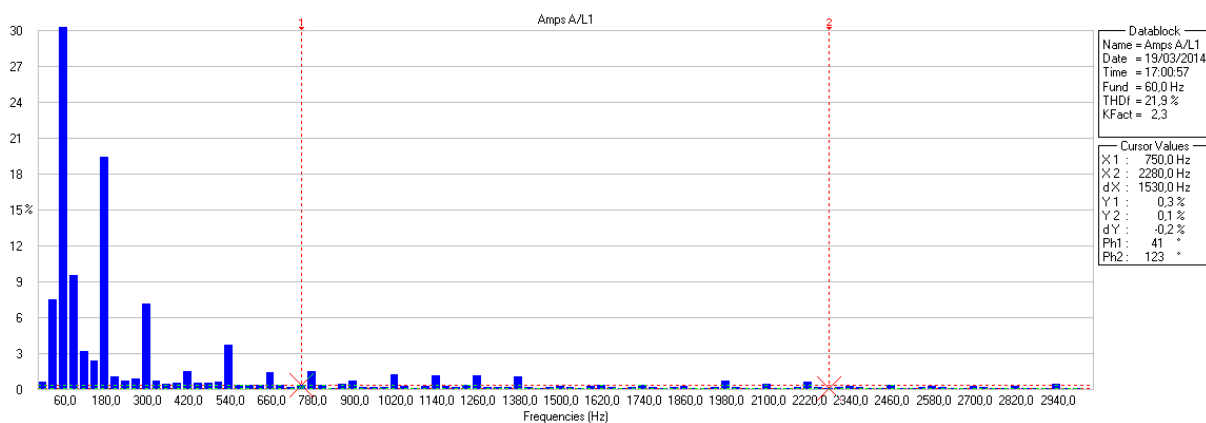
**Figura 83 - Espectro harmônico da tensão da fase C/L3 do QD do segundo pavimento do bloco A. Dia 02/04/2014 às 15:55:45.
Fonte: Autoria Própria**

Primeiramente é importante salientar que o segundo pavimento é composto basicamente por computadores, lâmpadas fluorescentes com reatores eletrônicos/eletromagnéticos e aparelhos de ar condicionado. Fica clara a maior proporção das cargas indutivas em relação às cargas eletrônicas (figura 76), embora haja grande número de computadores. As cargas eletrônicas geram correntes triangulares e as cargas indutivas uma forma de onda que, em certos casos, lembra uma senóide. Neste quadro é importante apontar a presença das conhecidas harmônicas ímpares múltiplas de 3, que são as frequências com sequência de fase zero (figuras 77 e 79). Novamente as harmônicas de tensão não apresentaram níveis preocupantes, visto pela forma de onda da figura 80.

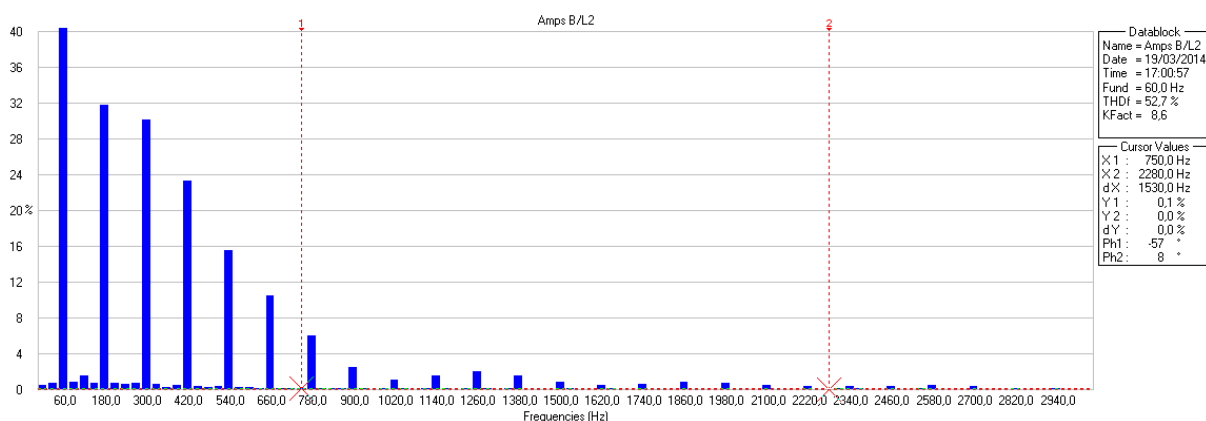
O terceiro e último pavimento do bloco A estará contido entre as figuras 84 e 94:



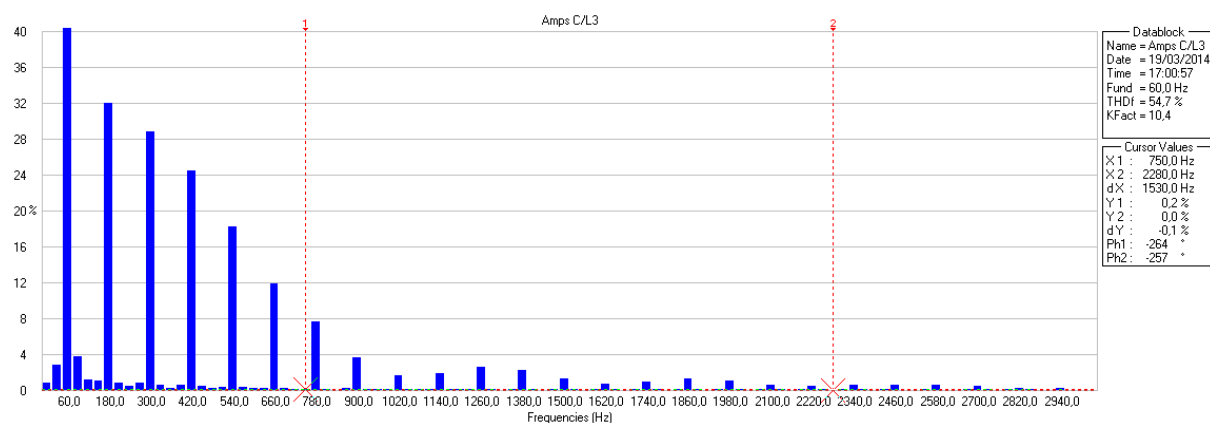
**Figura 84 - Forma de onda da corrente do QD do terceiro pavimento do bloco A. Dia 25/03/2014 às 16:45:02.
Fonte: Autoria Própria**



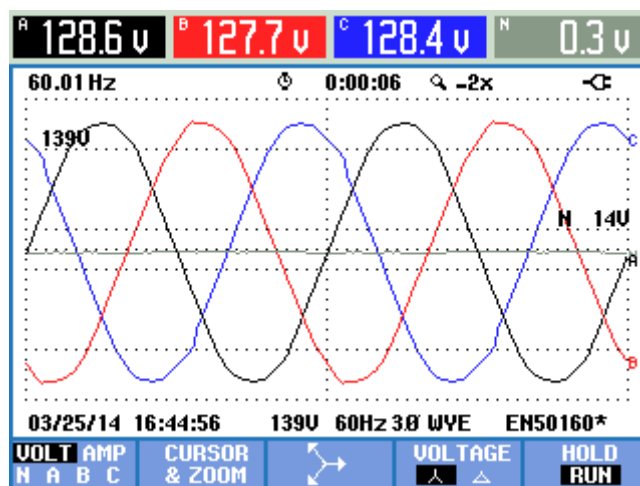
**Figura 85 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do terceiro pavimento do bloco A. Dia 19/03/2014 às 17:00:57.
Fonte: Autoria Própria**



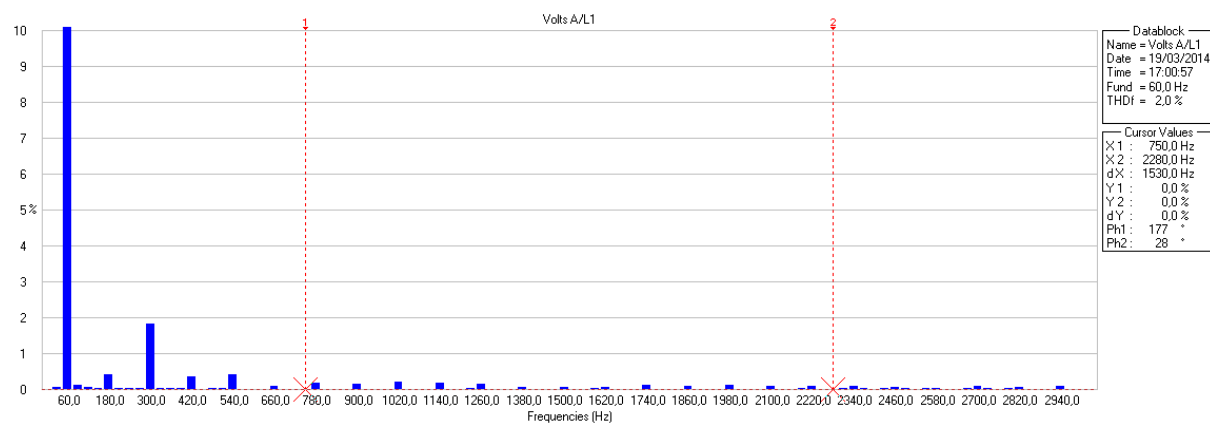
**Figura 86 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do terceiro pavimento do bloco A. Dia 19/03/2014 às 17:00:57.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 87 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do terceiro pavimento do bloco A. Dia 19/03/2014 às 17:00:57.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 88 - Forma de onda da tensão do QD do terceiro pavimento do bloco A. Dia 25/03/2014 às 16:44:56.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 89 - Espectro harmônico da tensão da fase A/L1 do QD do terceiro pavimento do bloco A. Dia 19/03/2014 às 17:00:57.
Fonte: Autoria Própria**

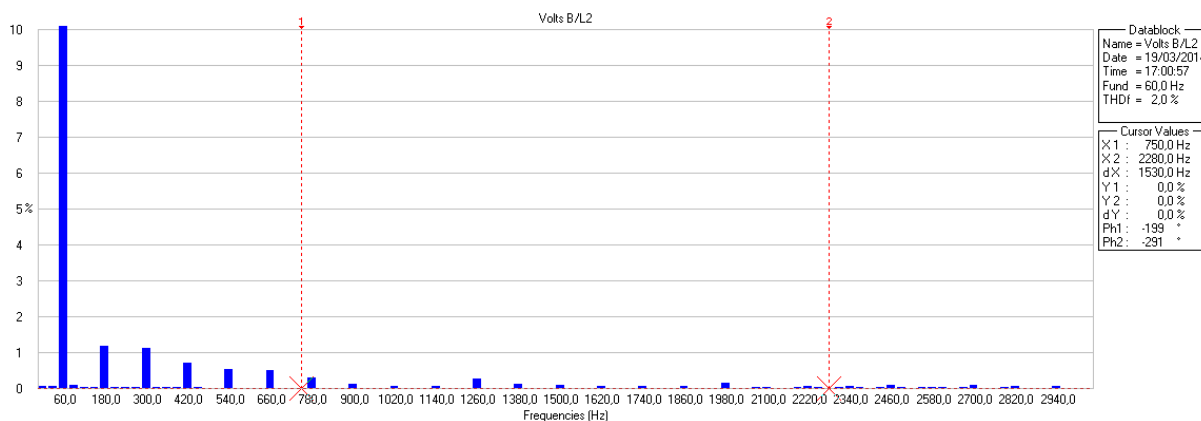


Figura 90 - Espectro harmônico da tensão da fase B/L2 do QD do terceiro pavimento do bloco A. Dia 19/03/2014 às 17:00:57. Fonte: Autoria Própria

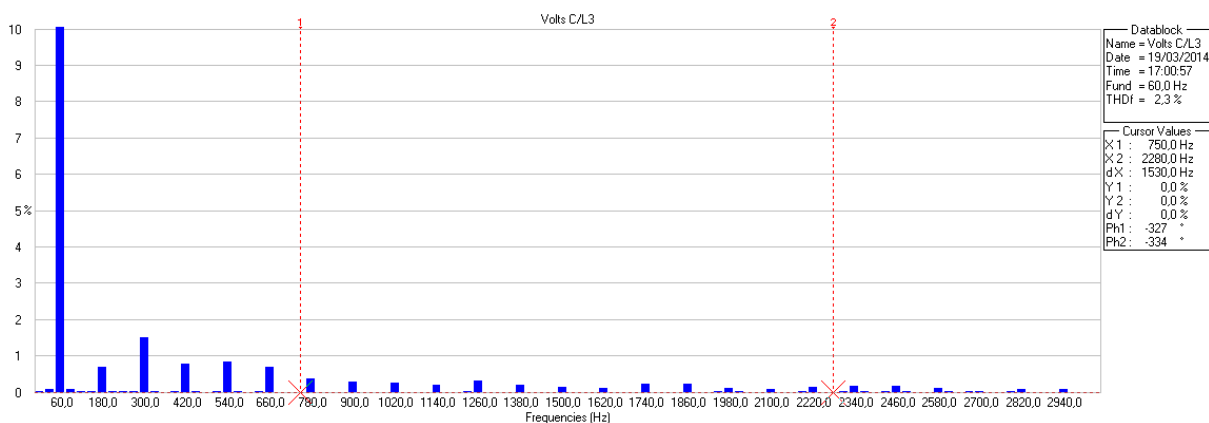


Figura 91 - Espectro harmônico da tensão da fase C/L3 do QD do terceiro pavimento do bloco A. Dia 19/03/2014 às 17:00:57. Fonte: Autoria Própria

Desde o início das medições do bloco A já se esperava que a maior poluição harmônica estaria no QD do terceiro pavimento devido ao *no-break* alimentado pelas fases B/L2 e C/L2. A forma de onda da corrente mostrada na figura 84 é característica das cargas eletrônicas, fazendo jus ao principal poluente da forma de onda da corrente. As figuras 86 e 87 mostram o alto nível de poluição atingido pelas harmônicas, a se iniciar pela terceira e indo até a décima quinta. Novamente neste QD acontece o problema de múltiplos ímpares de três, podendo levar ao superaquecimento do condutor neutro. A fase A, figura 85, também sofreu alta poluição da terceira harmônica, mas não houve problema das múltiplas ímpares, tampouco níveis alarmantes da quinta harmônica em diante. Novamente os níveis das harmônicas de tensão não são alarmantes, dada a senóide com baixa distorção da figura 88.

A partir de agora, será feita a análise da poluição harmônica e formas de onda do bloco C, onde também há cargas mescladas nas instalações, como aparelhos de ar condicionado, laboratórios de informática e de engenharia civil, que contam com cargas indutivas relativamente pesadas, reatores eletrônicos para as lâmpadas fluorescentes, *no-breaks* e demais equipamentos. A começar pelo pavimento térreo, que compreende as figuras 92 a 121.

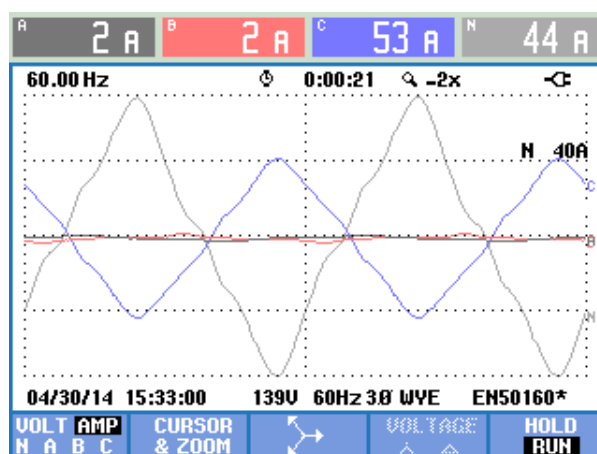


Figura 92 - Forma de onda da corrente do QD do pavimento térreo do bloco C. Dia 30/04/2014 às 15:33:00.

Fonte: Autoria Própria

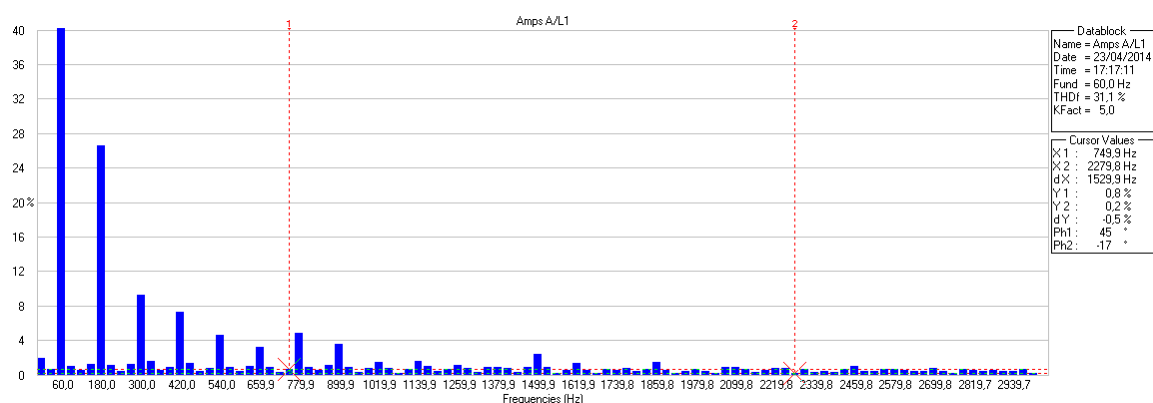
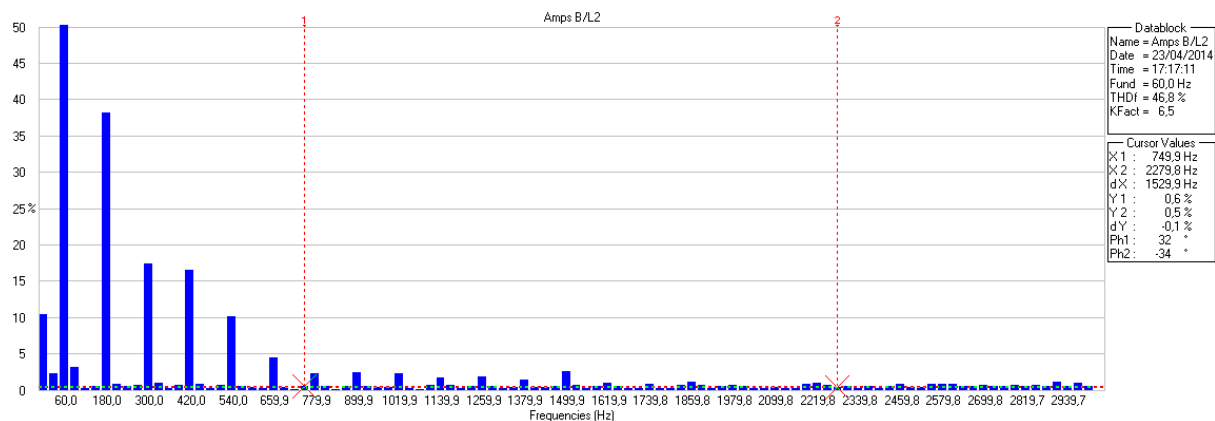
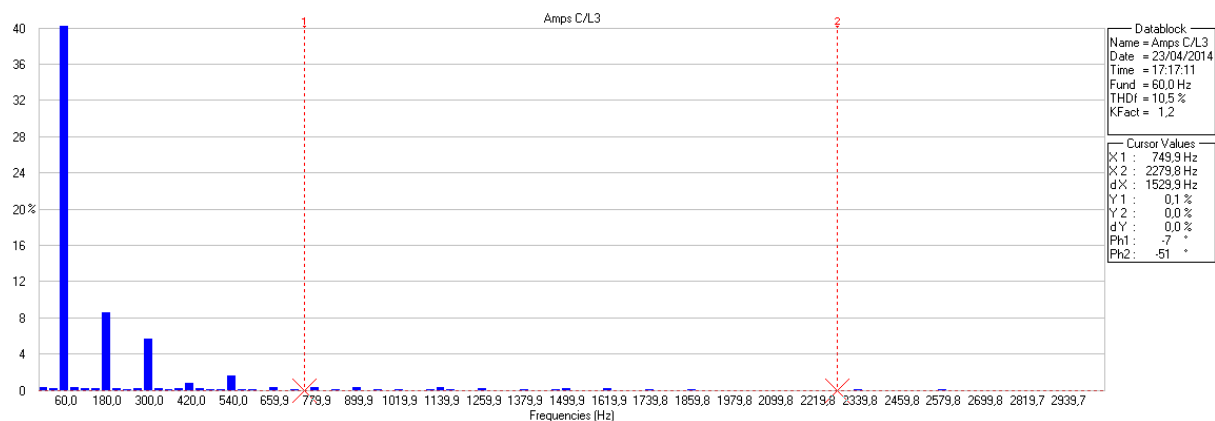


Figura 93 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do pavimento térreo do bloco C. Dia 23/04/2014 às 17:17:11.

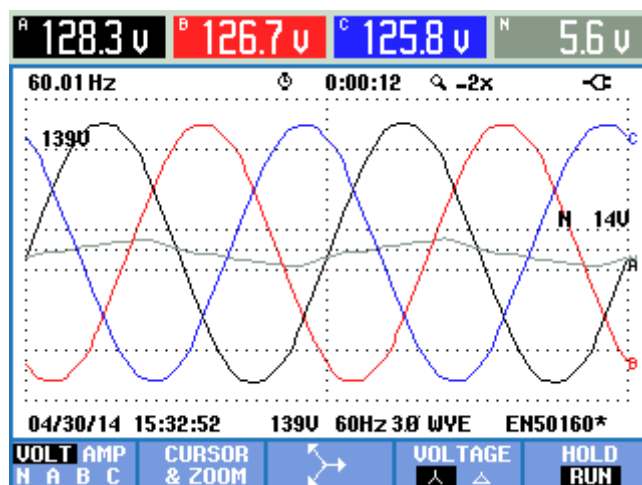
Fonte: Autoria Própria



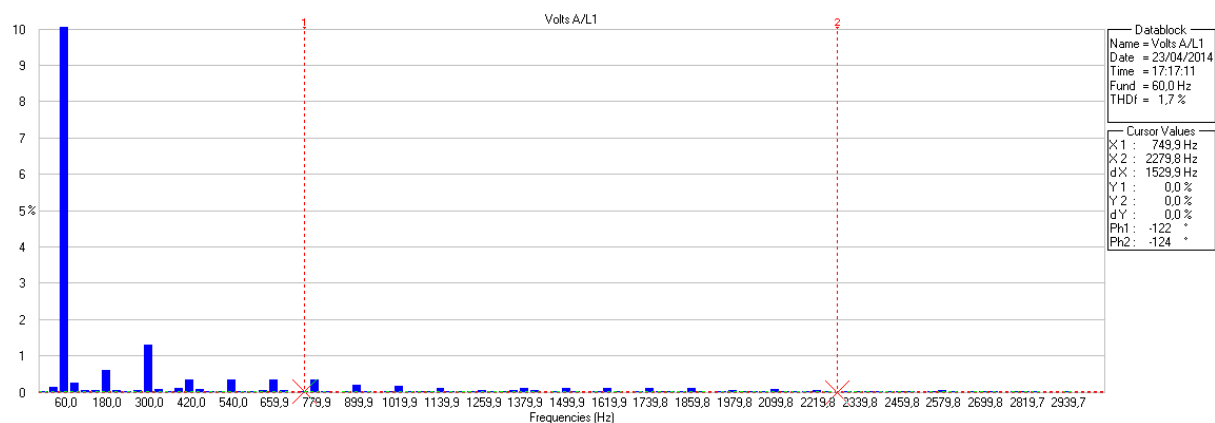
**Figura 94 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do pavimento térreo do bloco C. Dia 23/04/2014 às 17:17:11.
Fonte: Autoria Própria**



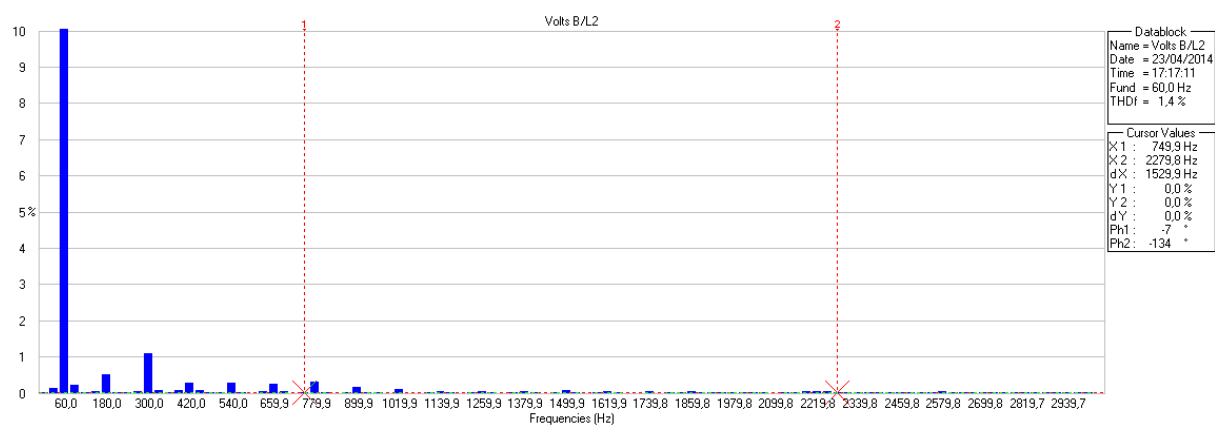
**Figura 95 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do pavimento térreo do bloco C. Dia 23/04/2014 às 17:17:11.
Fonte: Autoria Própria**



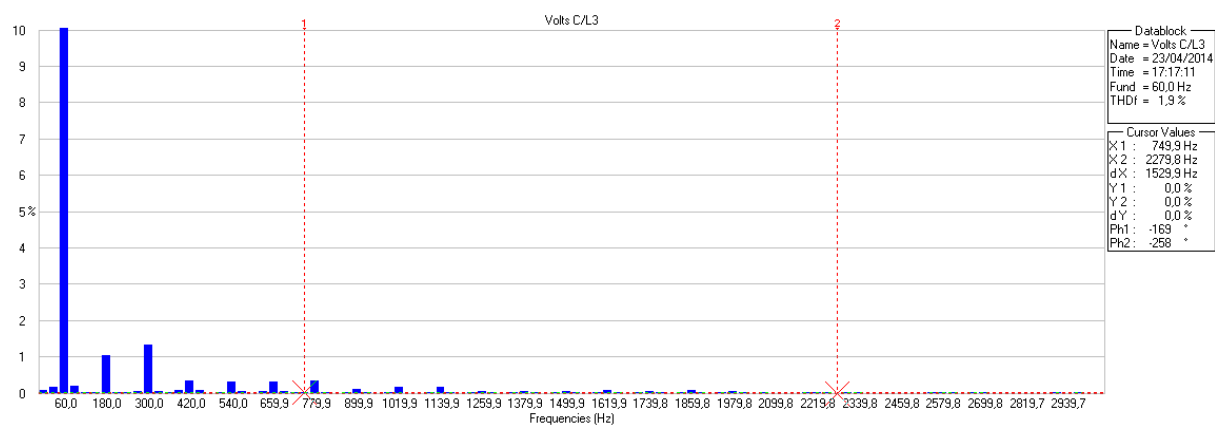
**Figura 96 - Forma de onda da corrente do QD do pavimento térreo do bloco C. Dia 30/04/2014 às 15:33:00.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 97 - Espectro harmônico da tensão da fase A/L1 do QD do pavimento térreo do bloco C.
Dia 23/04/2014 às 17:17:11.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 98 - Espectro harmônico da tensão da fase B/L2 do QD do pavimento térreo do bloco C.
Dia 23/04/2014 às 17:17:11.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 99 - Espectro harmônico da tensão da fase C/L3 do QD do pavimento térreo do bloco C.
Dia 23/04/2014 às 17:17:11.
Fonte: Autoria Própria**

O térreo do bloco C é povoado por laboratórios ligados à engenharia civil, portanto, alguns podem ser considerados como cargas pesadas, além dos aparelhos de ar condicionado posicionados em todas as salas deste pavimento. Analisando a figura 92, onde é mostrada a forma de onda da corrente deste QD, tem-se as fases A/L1 e B/L2 ligadas a cargas muito pequenas, sendo somente possível analisar a forma de onda da corrente da fase C/L3. Em todo caso, analisando o espectro harmônico da corrente, tem-se que a fase B/L2 (figura 94) é a mais afetada pela poluição harmônica, seguida pela fase A/L1 (figura 93) e tendo a fase C/L3 (figura 95) com baixíssimas poluições. Novamente, as harmônicas de tensão estão em níveis baixos, sendo possível visualizar nas figuras 96 a 99.

As figuras do primeiro pavimento do bloco C estão dispostas entre as figuras 100 e 107:

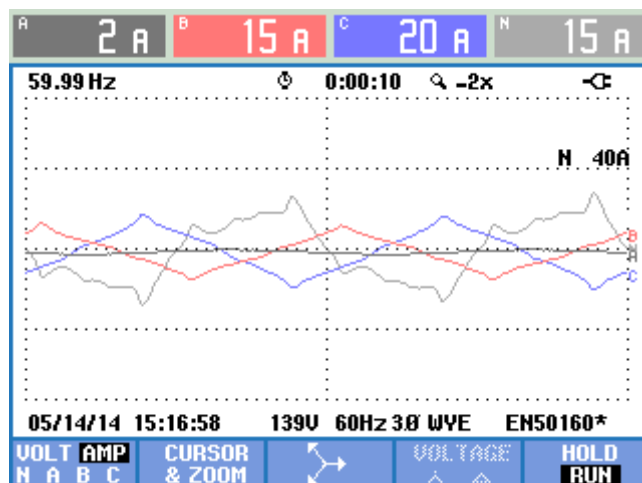


Figura 100 - Forma de onda da corrente do QD do primeiro pavimento do bloco C. Dia 14/05/2014 às 15:16:58. Fonte: Autoria Própria

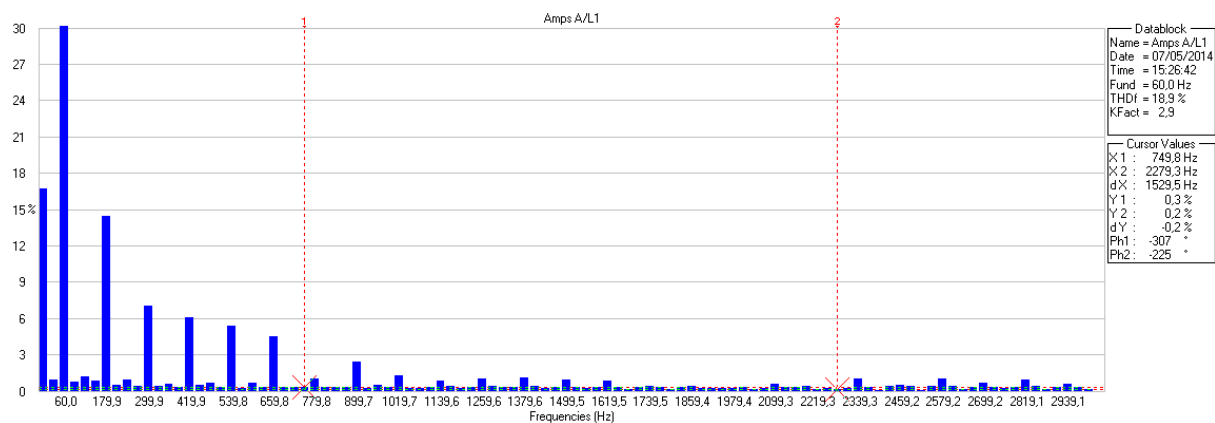


Figura 101 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do primeiro pavimento do bloco C. Dia 07/05/2014 às 15:26:42. Fonte: Autoria Própria

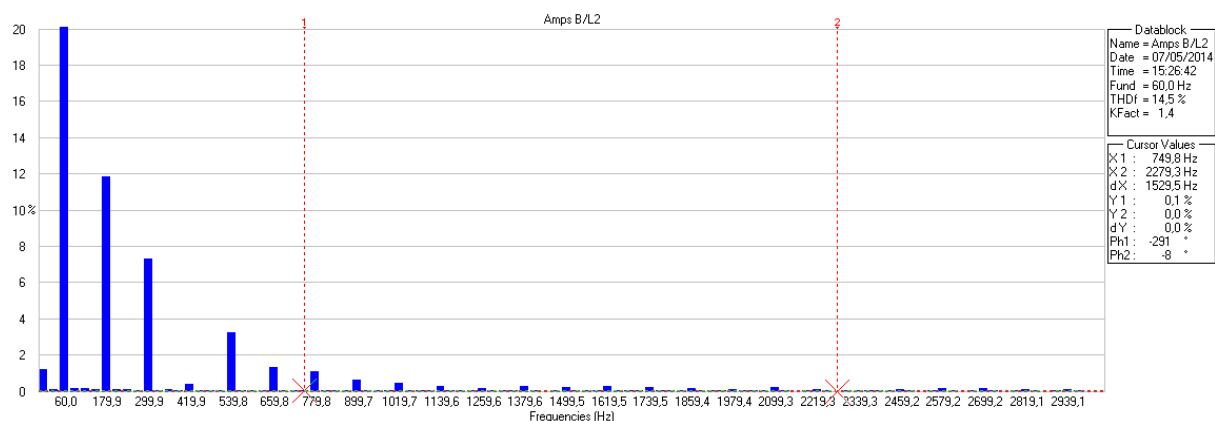
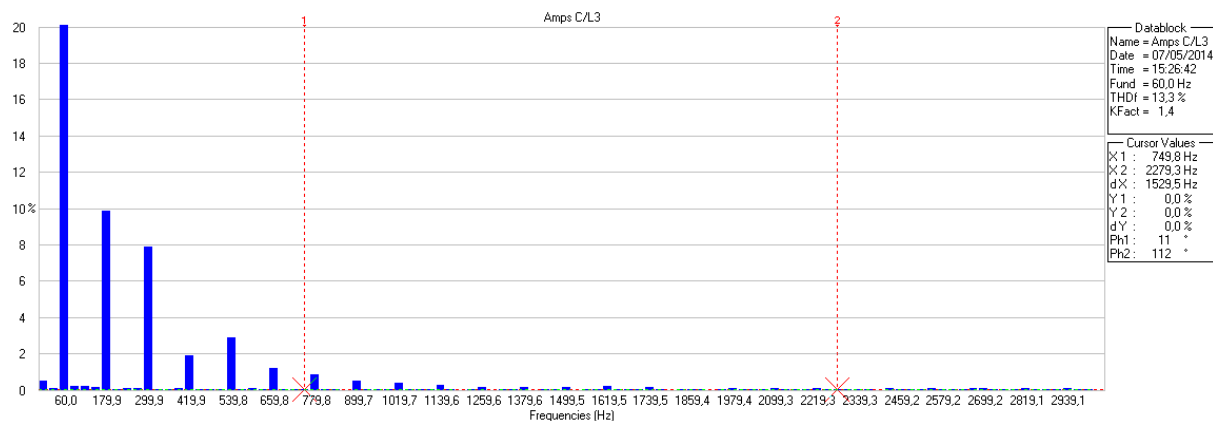
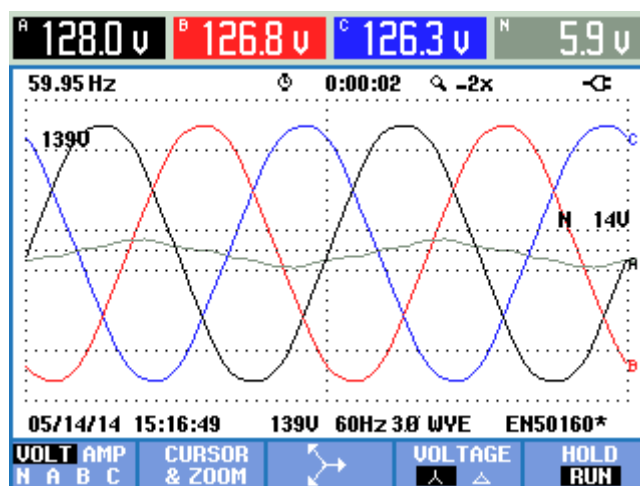


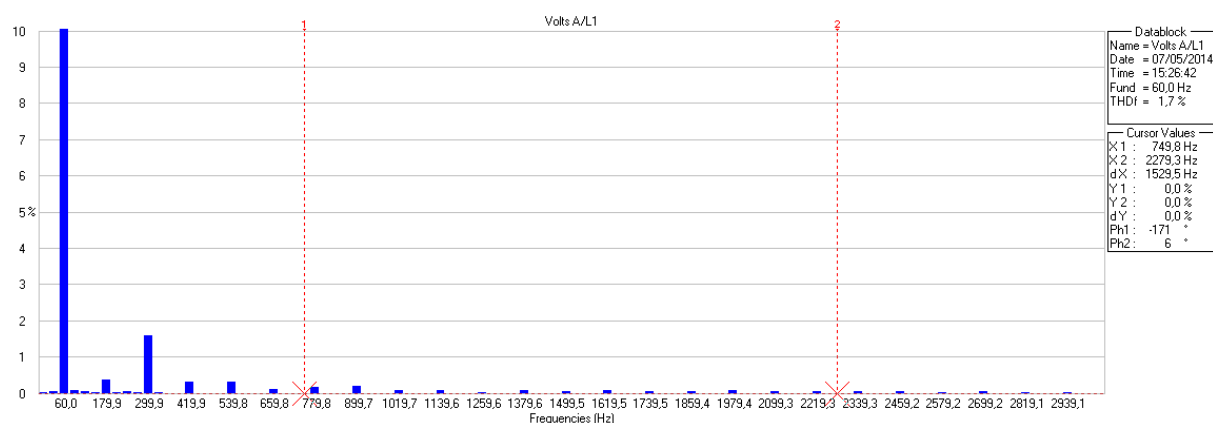
Figura 102 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do primeiro pavimento do bloco C. Dia 07/05/2014 às 15:26:42. Fonte: Autoria Própria



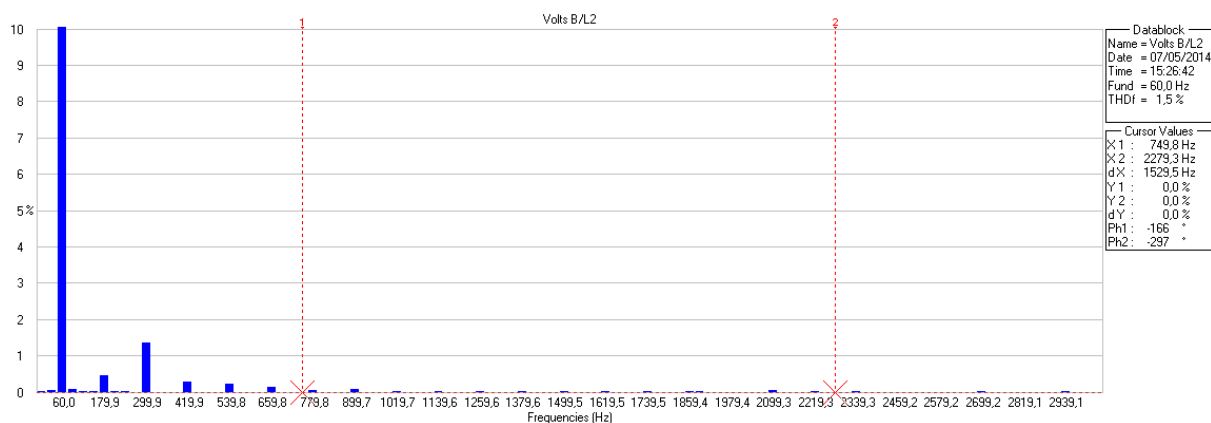
**Figura 103 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do primeiro pavimento do bloco C. Dia 07/05/2014 às 15:26:42.
Fonte: Autoria Própria**



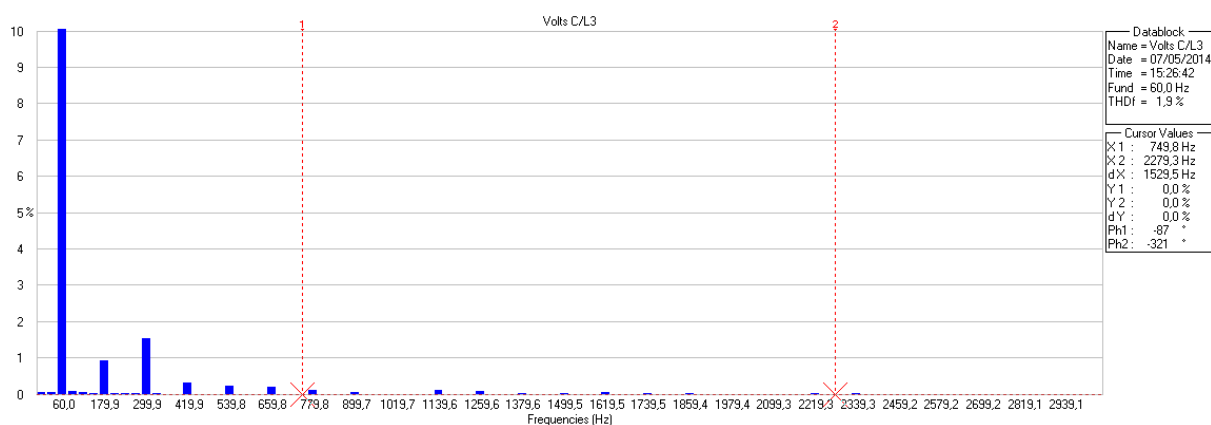
**Figura 104 - Forma de onda da tensão do QD do primeiro pavimento do bloco C. Dia 14/05/2014 às 15:16:49.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 105 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do primeiro pavimento do bloco C. Dia 07/05/2014 às 15:26:42.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 106 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do primeiro pavimento do bloco C. Dia 07/05/2014 às 15:26:42.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 107 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do primeiro pavimento do bloco C. Dia 07/05/2014 às 15:26:42.
Fonte: Autoria Própria**

O primeiro pavimento do bloco C não possui cargas relevantes, apenas alguns dispositivos eletrônicos, mas em quantidade moderada.

Desta forma, sabe-se que os níveis de poluição causada pelas correntes harmônicas tendem a ser mais brandos, mantendo a forma de onda da figura 100 sem muita deformação. Novamente o problema das harmônicas múltiplas ímpares de três aparecem na fase A/L1 (figura 101), que embora esteja com menos carga do que as fases B/L2 e C/L3, está mais distorcida. As harmônicas de tensão se mantiveram em níveis semelhantes aos outros quadros, deformando minimamente a forma de onda da tensão do QD (figura 104).

Segue o segundo pavimento bloco C entre as figuras 108 e 115:

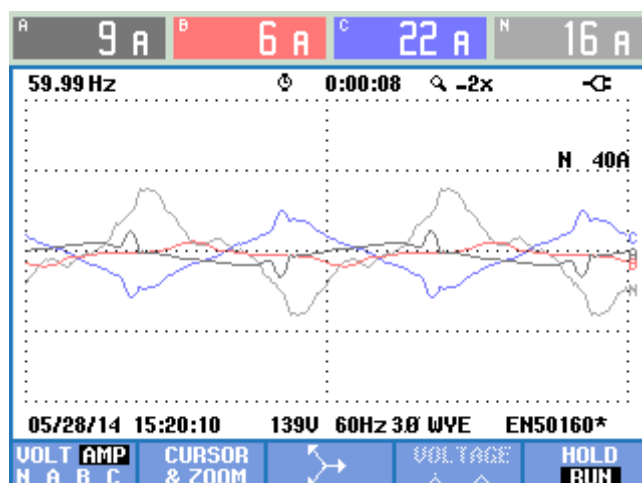


Figura 108 – Forma de onda da corrente do QD do segundo pavimento do bloco C. Dia 28/05/2014 às 15:20:10. Fonte: Autoria Própria

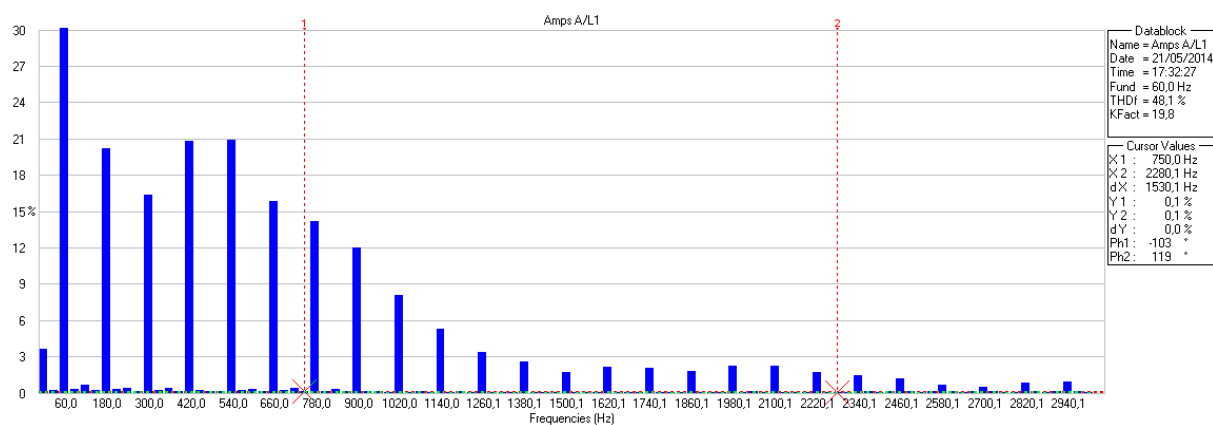


Figura 109 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do segundo pavimento do bloco C. Dia 21/05/2014 às 17:32:27. Fonte: Autoria Própria

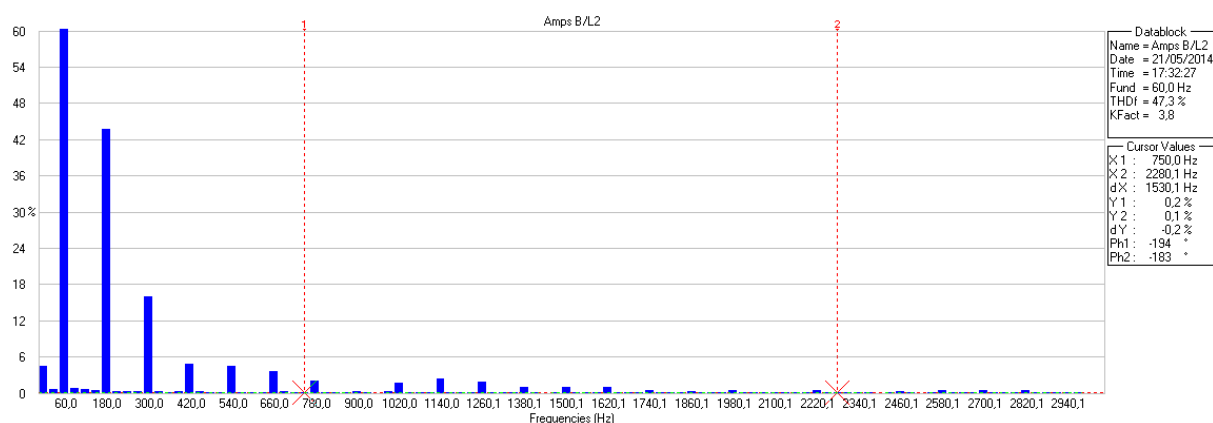
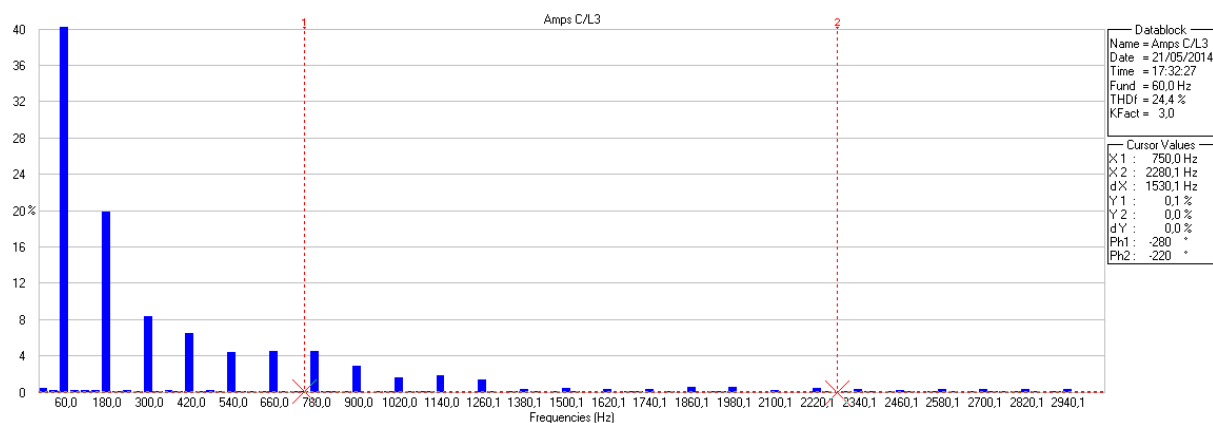
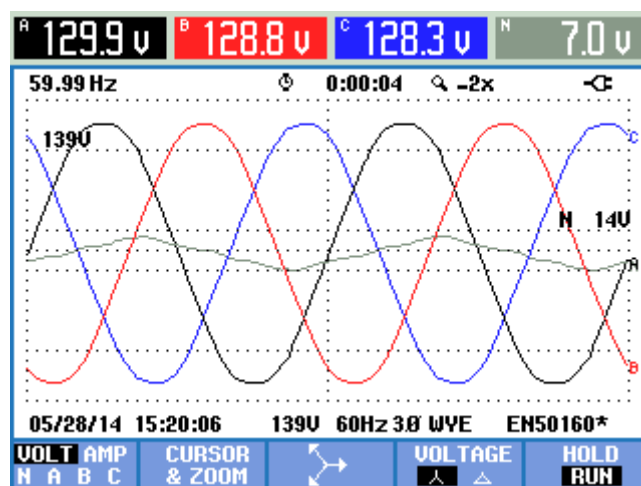


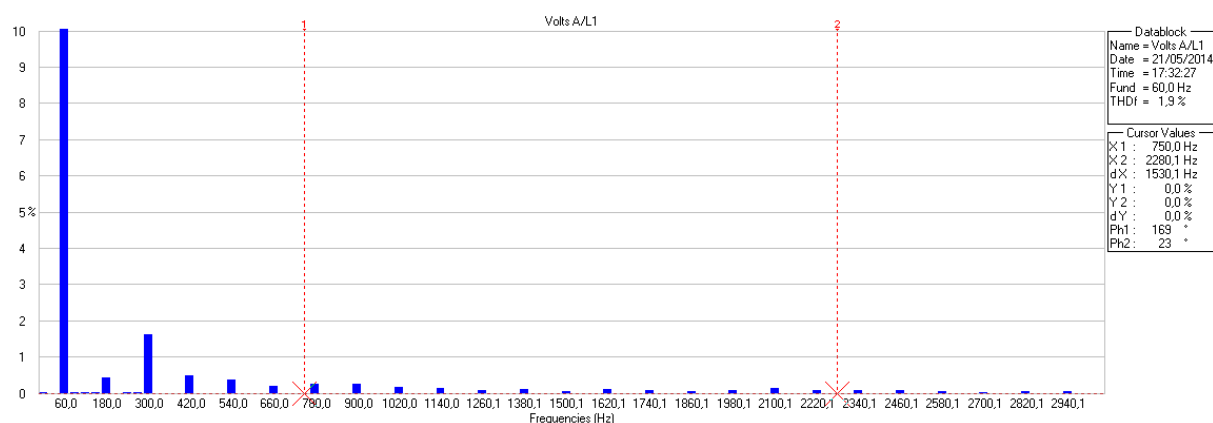
Figura 110 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do segundo pavimento do bloco C. Dia 21/05/2014 às 17:32:27. Fonte: Autoria Própria



**Figura 111 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do segundo pavimento do bloco C. Dia 21/05/2014 às 17:32:27.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 112 - Forma de onda da tensão do QD do segundo pavimento do bloco C. Dia 28/05/2014 às 15:20:06.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 113 - Espectro harmônico da tensão da fase A/L1 do QD do segundo pavimento do bloco C. Dia 21/05/2014 às 17:32:27.
Fonte: Autoria Própria**

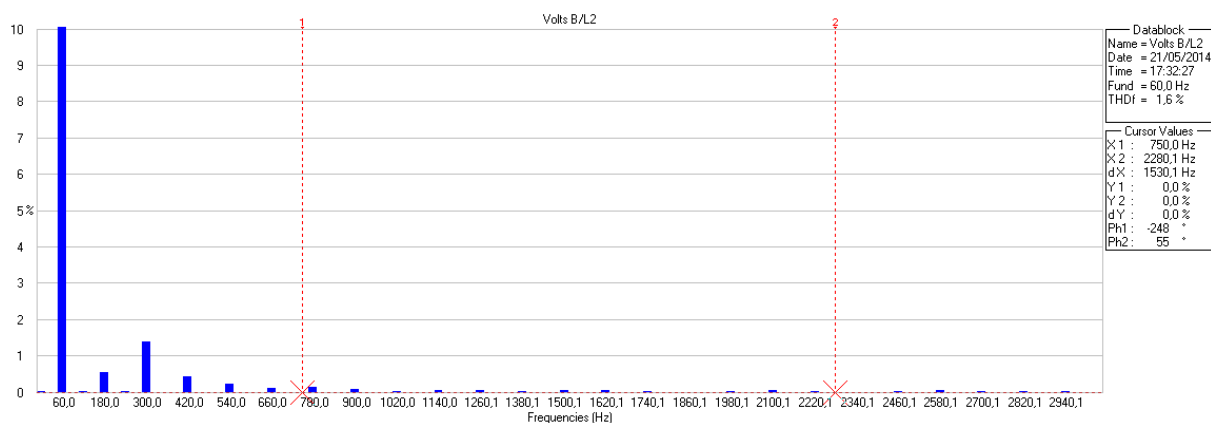


Figura 114 - Espectro harmônico da tensão da fase B/L2 do QD do segundo pavimento do bloco C. Dia 21/05/2014 às 17:32:27. Fonte: Autoria Própria

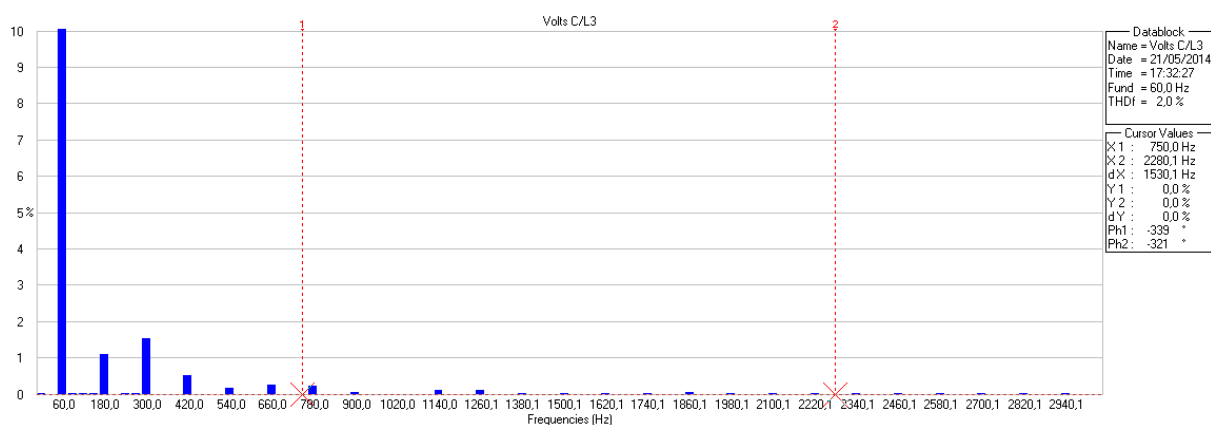


Figura 115 - Espectro harmônico da tensão da fase C/L3 do QD do segundo pavimento do bloco C. Dia 21/05/2014 às 17:32:27. Fonte: Autoria Própria

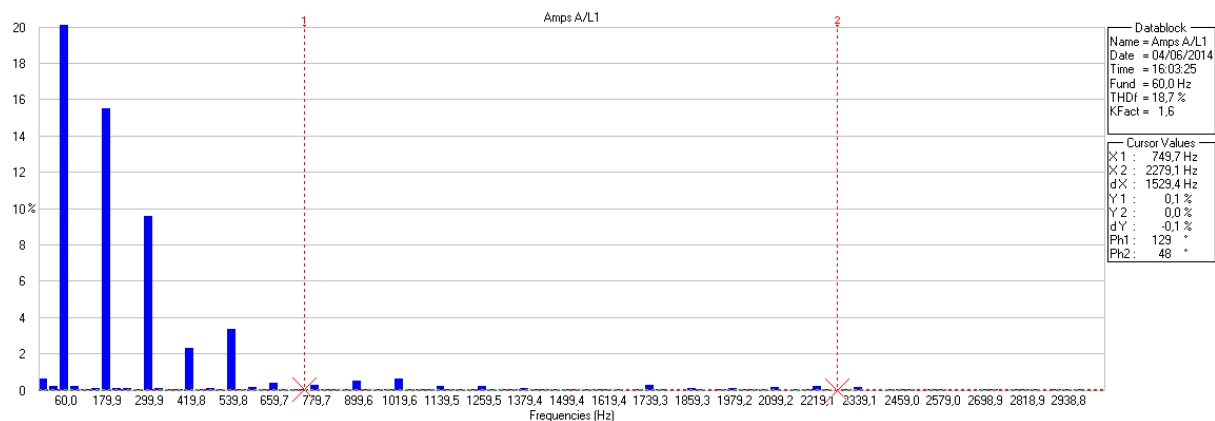
Como no QD do terceiro pavimento do bloco A, tem-se um *no-break* e um laboratório de informática com grande quantidade de computadores ligados ao QD do segundo pavimento do bloco C, o que, como se sabe, injeta grande poluição harmônica dentro da rede.

Para entender, basta observar as formas de onda da corrente na figura 108, onde passam a ter caráter triangular, ou seja, condizem com a forma de onda das cargas eletrônicas.

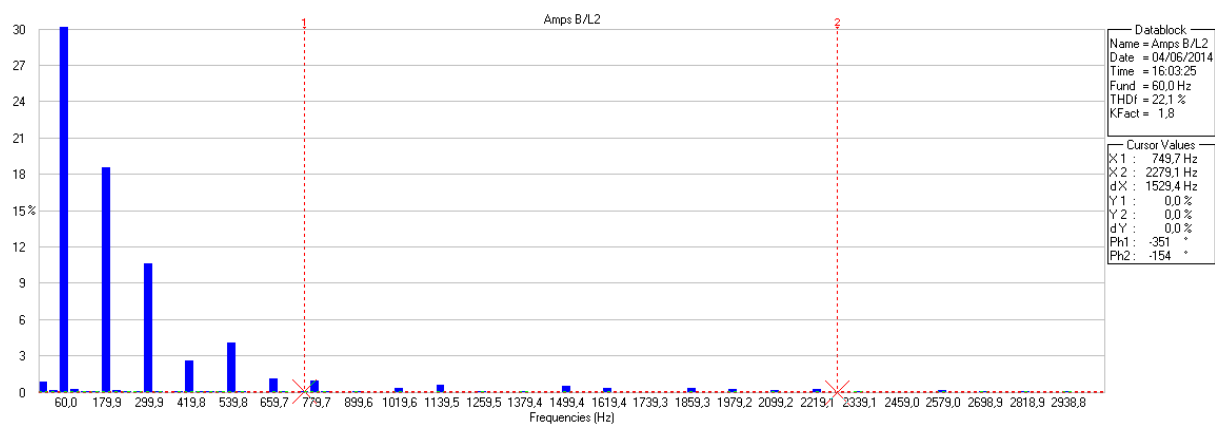
A fase A/L1 (figura 109) é a mais atingida, com níveis de componentes harmônicas bastantes elevadas, principalmente em se tratando de harmônicas ímpares múltiplas de três, o que pode levar a aquecimento do condutor neutro. A fase B/L2 (figura 110) possui um nível bastante elevado, mas da quinta em diante diminui até se tornar desprezível. A fase C/L2 (figura 111) possui menos poluição harmônica, porém começa a ter presença das harmônicas ímpares múltiplas de 3.

Seguindo um padrão até aqui, a poluição harmônica na tensão é bastante baixa, veja a forma de onda da figura 112, onde não há nenhuma distorção notável.

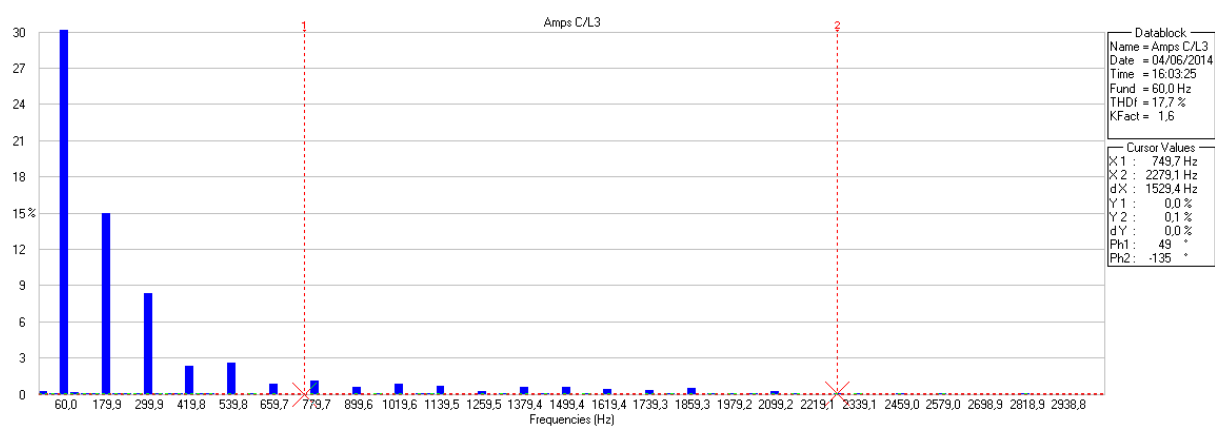
O último quadro a ser analisado para este item, espectro harmônico, é o terceiro pavimento do bloco C. Suas figuras então compreendidas entre 116 e 121.



**Figura 116 - Espectro harmônico da corrente da fase A/L1 do QD do terceiro pavimento do bloco C. Dia 04/06/2014 às 16:03:25.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 117 - Espectro harmônico da corrente da fase B/L2 do QD do terceiro pavimento do bloco C. Dia 04/06/2014 às 16:03:25.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 118 - Espectro harmônico da corrente da fase C/L3 do QD do terceiro pavimento do bloco C. Dia 04/06/2014 às 16:03:25.
Fonte: Autoria Própria**

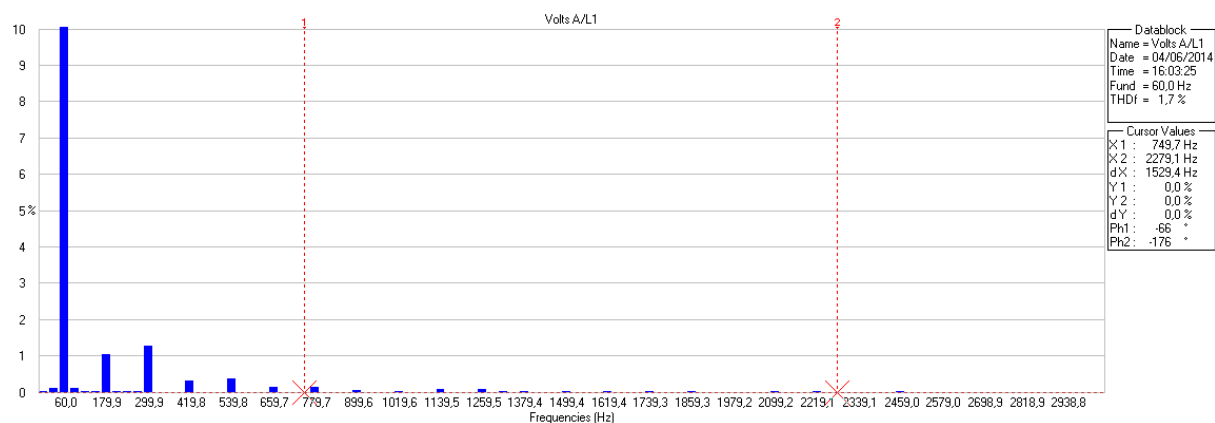


Figura 119 - Espectro harmônico da tensão da fase A/L1 do QD do terceiro pavimento do bloco C. Dia 04/06/2014 às 16:03:25. Fonte: Autoria Própria

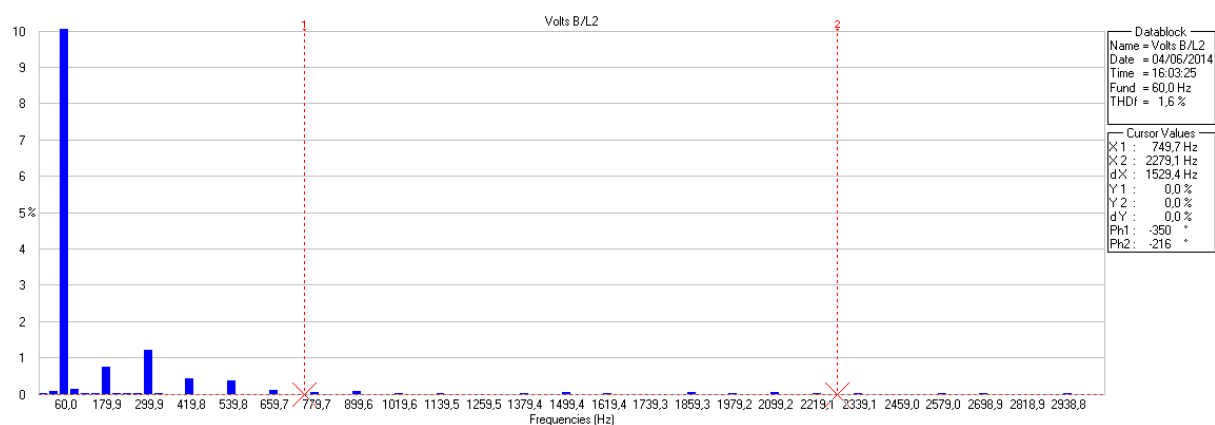


Figura 120 - Espectro harmônico da tensão da fase B/L2 do QD do terceiro pavimento do bloco C. Dia 04/06/2014 às 16:03:25. Fonte: Autoria Própria

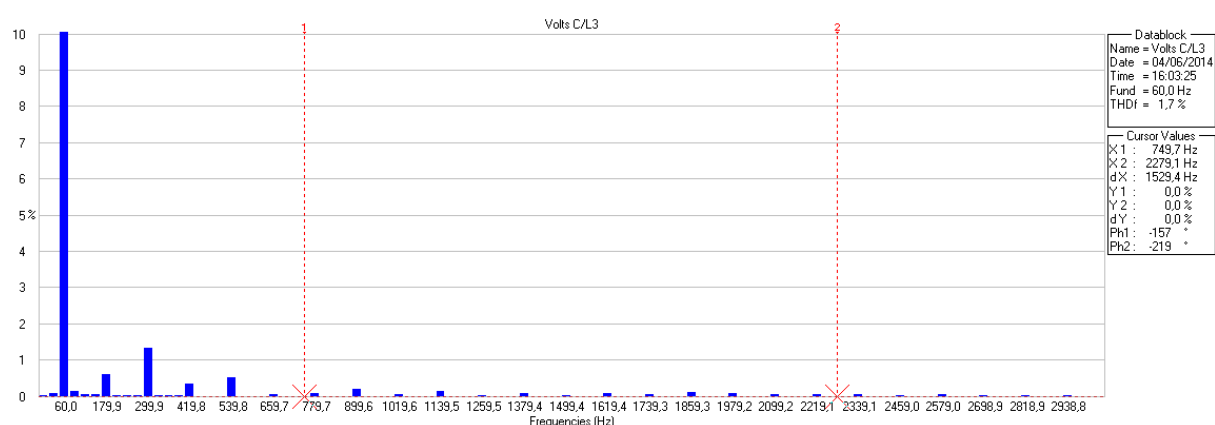


Figura 121 - Espectro harmônico da tensão da fase C/L3 do QD do terceiro pavimento do bloco C. Dia 04/06/2014 às 16:03:25. Fonte: Autoria Própria

O terceiro pavimento do bloco C não conta com cargas relevantes e o equilíbrio nas componentes harmônicas mostrado nas figuras 116 a 118 leva a

entender que o sistema está relativamente balanceado. As três fases possuem níveis que podem ser considerados aceitáveis para uma instalação elétrica. A tensão não apresentou distorções relevantes para discussão, vide figuras 119, 120 e 121.

A ANEEL, através do PRODIST, estabelece valores de referência somente para as harmônicas de tensão, a figura 122 mostra quais são estes valores. Como comentado anteriormente, nenhum QD da UTFPR-Toledo apresentou ultrapassagem destes níveis para distorção harmônica individual de tensão.

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

Figura 122 – Níveis de referência para distorção harmônica individual em relação à tensão fundamental.

Fonte: ANEEL - PRODIST, caderno 8 (2010, P. 21)

Em se tratando de um assunto bastante relevante, resolveu-se utilizar, como parâmetro para as correntes harmônicas a norma IEC 61000-3-4. Os níveis de referência para as harmônicas individuais para corrente são bastante diferentes em relação à tensão. Esses valores são apresentados na figura 123:

Componente Harmônico	Harmônico Admissível	Componente Harmônico	Harmônico Admissível
n	In/I ₁ , %	n	In/I ₁ , %
3	21,6	21	≤0,6
5	10,7	23	0,9
7	7,2	25	0,8
9	3,8	27	≤0,6
11	3,1	29	0,7
13	2	31	0,7
15	0,7	≤33	≤0,6
17	1,2		
19	1,1	Sempre	≤8/n ou ≤0,6

Figura 123 – Valores de referência para componentes harmônicas na corrente.
Fonte: IEC 60000-3-4 (1998)

Ao analisar os espectros harmônicos de corrente para os quadros dos blocos A e C, observou-se que em vários destes, ocorreu a ultrapassagem dos limites recomendados, o que pode causar diversos problemas no sistema elétrico de distribuição dos blocos A e C. Por exemplo, deve-se ter grande atenção com os níveis das harmônicas nos QD's onde estão instalados os *no-breaks* (figuras 85 a 87 e 109 a 111), além do QD do pavimento térreo do bloco C (figuras 92 a 94). Os demais quadros não apresentaram níveis alarmantes para o espectro harmônico. Desta forma, deve-se aplicar medidas corretivas nos quadros que possuem maior nível de distorção através do projeto de filtros ativos ou compensadores.

Na sequência deste trabalho será analisada a taxa de distorção harmônica total, a partir deste indicador é possível identificar e definir quão poluído é um sinal AC devido o conteúdo harmônico (Schneider, 2003).

A ANEEL define no PRODIST, módulo 8, que para tensões nominais menores ou iguais a 1kV, deve-se ter, no máximo, uma THD de tensão, ou THD_v, de 10% (PRODIST, 2010).

No entanto, a ANEEL não estabelece valores de referência para a THD da corrente, ou simplesmente THD_i. Desta forma, para se obter parâmetros de análise da THD_i e, para manter um padrão, para THD_v, estabeleceu-se a IEC 61000-2-2 como nível de referência.

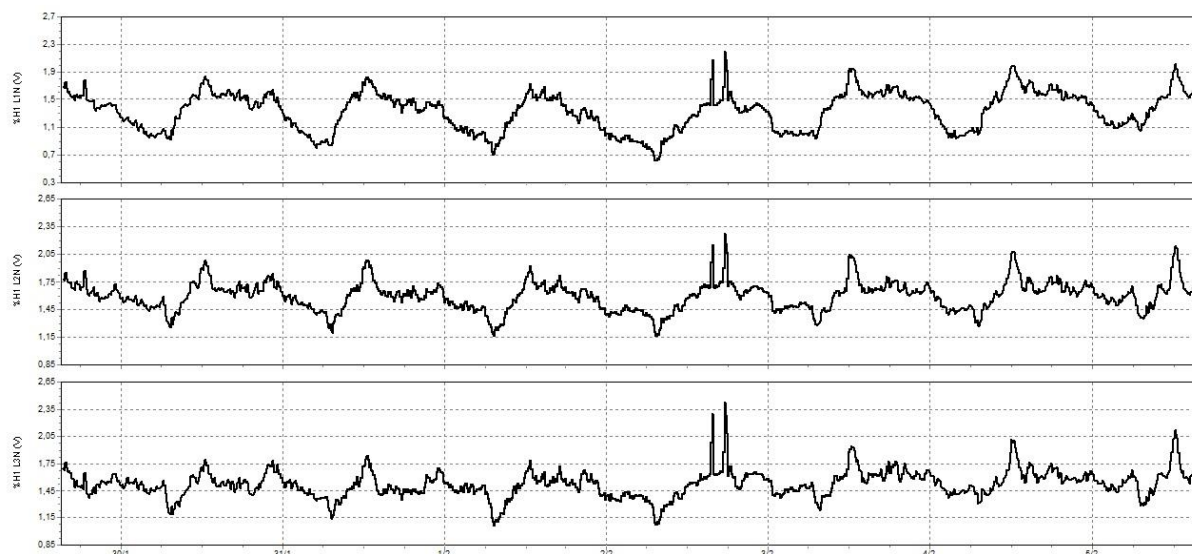
Para THD_v, tem-se:

- Menor do que 5%: sem risco de mau funcionamento, a situação está normal;
- Entre 5 e 8%: o nível de poluição é significativo, podendo ocorrer situações de mau funcionamento;
- Maior do que 8%: nível bastante elevado de poluição, com grande possibilidade de mau funcionamento; necessário dispositivos atenuadores;

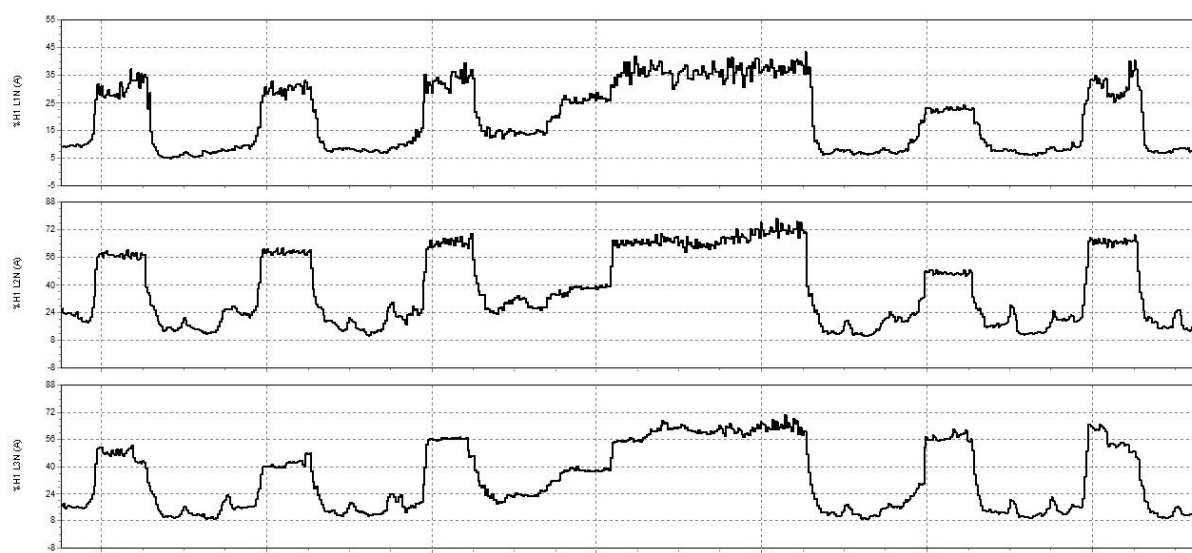
Para THD_i:

- Menor do que 10%: sem risco de mau funcionamento, a situação está normal;
- Entre 10 e 50%: o nível de poluição é significativo, podendo ocorrer situações de mau funcionamento;
- Maior do que 50%: nível bastante elevado de poluição, com grande possibilidade de precariedade no funcionamento; necessário dispositivos atenuadores;

A seguir, apresentam-se uma série de gráficos mostrando a variação ao longo do tempo das taxas de distorção harmônicas de tensão e corrente nos diversos quadros onde foram coletados os dados nos blocos A e C. Na figura 124 é apresentado o comportamento no tempo da THD de tensão do QGF do bloco A, cujo período de avaliação foi de aproximadamente sete dias (uma semana). Na figura 125 é apresentado o comportamento no tempo da THD de corrente do QGF do bloco A, para o mesmo período de aquisição de dados.



**Figura 124 – Distorção harmônica da tensão, QGF do bloco A, 29/01 a 05/02/2014.
Fonte: Autoria Própria**



**Figura 125 – Distorção harmônica da corrente, QGF do bloco A, 05/02 a 12/02/2014.
Fonte: Autoria Própria**

Como o espectro harmônico já havia mostrado, a situação do QGF do bloco A, para tensão, está abaixo do limitado pela IEC 61000-2-2, que é um nível de 5%. O THD_i (figura 125), durante o horário comercial, permanece ligeiramente acima dos 10%, porém, durante o horário da madrugada e finais de semana, o THD_i se eleva a cerca de 70% na fase B/L2, 60 na fase C/L3 e 40 na fase A/L1. Este nível de THD é preocupante no sistema, pois chega a ultrapassar 50% em alguns horários.

No QD do pavimento térreo o THD se encontra da seguinte forma (figuras 126 e 127):

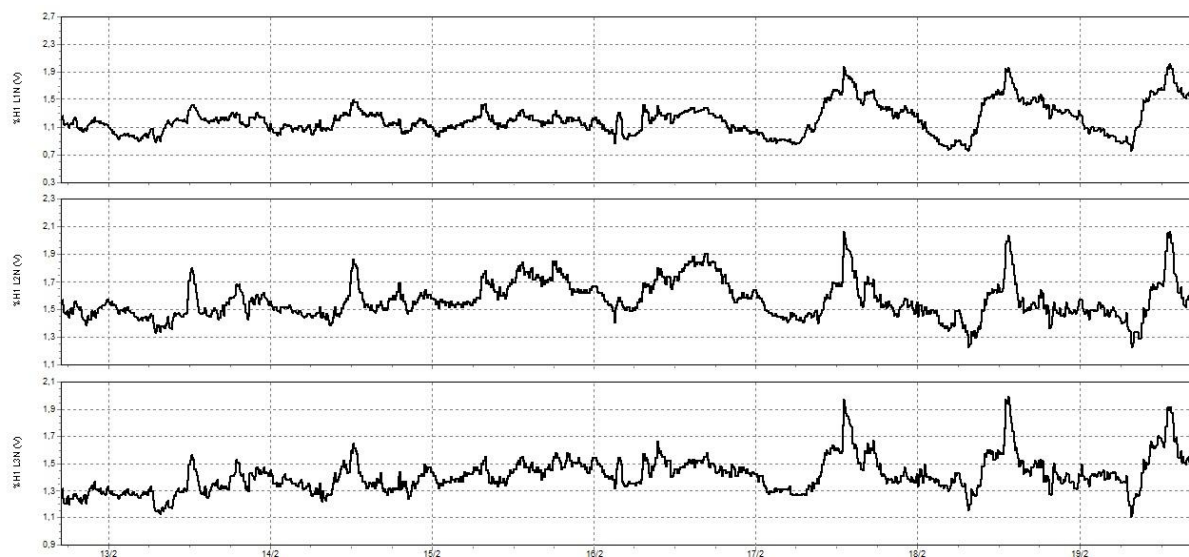


Figura 126 - Distorção harmônica da tensão, QD do pavimento térreo do bloco A, 12/02 a 19/02/2014.

Fonte: Autoria Própria

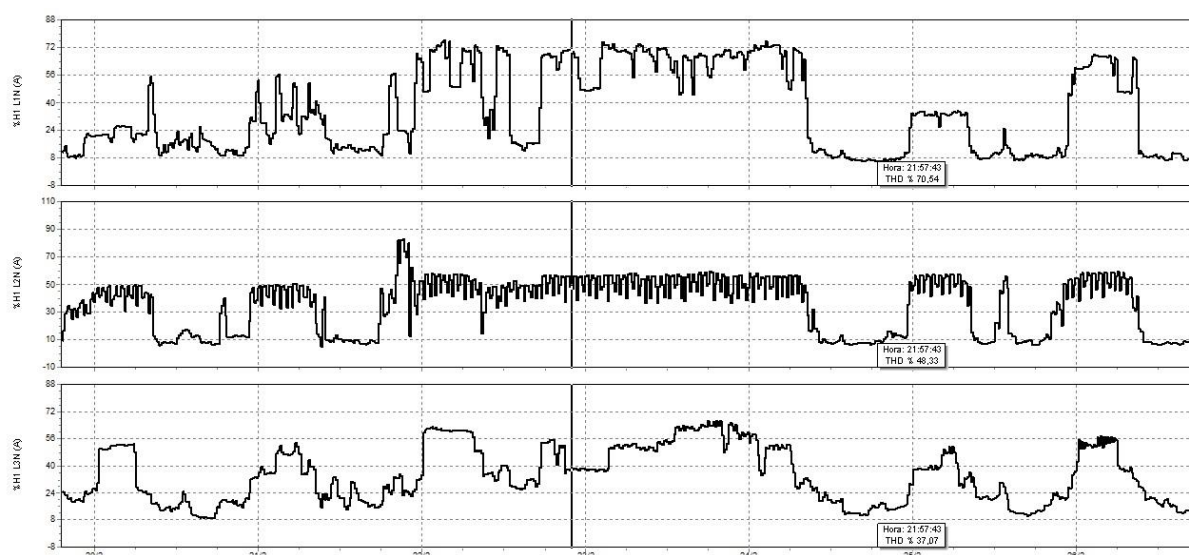


Figura 127 - Distorção harmônica da corrente, QD do pavimento térreo do bloco A, 19/02 a 26/02/2014.

Fonte: Autoria Própria

A THD_v (figura 126) não ultrapassou, em nenhum momento durante os sete dias, o nível de 2%. Desta forma, não chega nem a metade do estabelecido pela IEC e uma quinta parte dos valores estabelecidos pela ANEEL. Novamente, os valores do THD_i (figura 127) alcançaram valores bastante elevados durante o final de semana, chegando a 73% na fase A/L1, 80% na fase B/L2 e 65% da fase C/L3, podendo causar malefícios ao sistema. No entanto, a THD_i durante o intervalo de aulas no campus (7:30 às 22:40), ou seja, os três turnos, possui um THD_i razoável, na faixa de 10%.

O QD do primeiro pavimento pode ser analisado através das figuras 128 e 129:

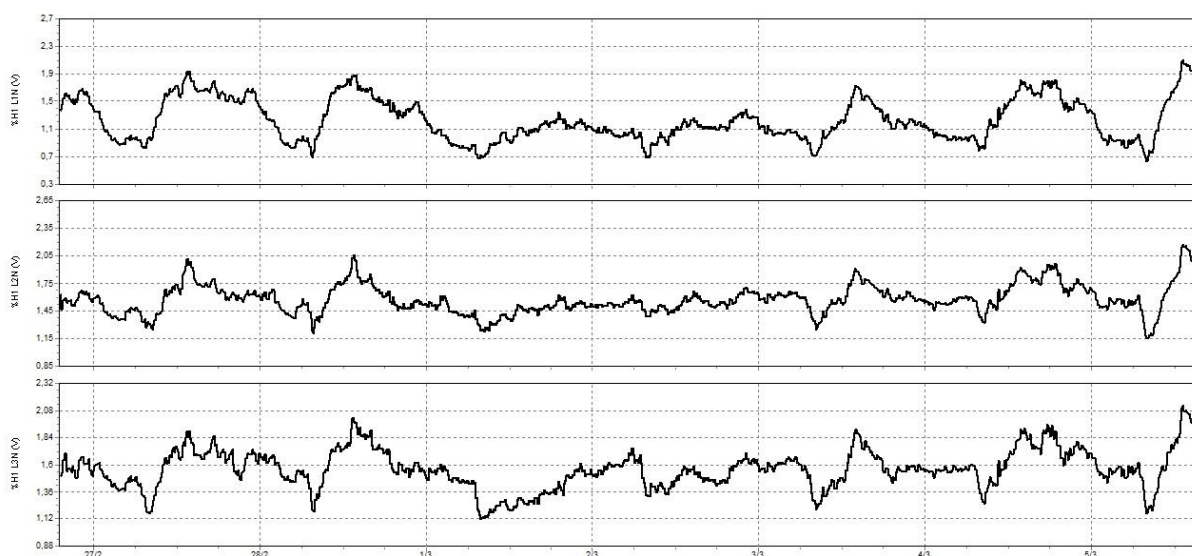


Figura 128 - Distorção harmônica da tensão, QD do primeiro pavimento do bloco A, 26/02 a 05/03/2014.
Fonte: Autoria Própria



Figura 129 - Distorção harmônica da corrente, QD do primeiro pavimento do bloco A, 05/03 a 12/03/2014.
Fonte: Autoria Própria

No QD do primeiro pavimento do bloco A, tem-se novamente a THD_v (figura 128) não passando de 2%, o que é um ótimo indicador para o sistema, representando que não há problema algum. A deformação da corrente (figura 129) é bastante elevada em relação à tensão, sendo que na fase A/L1 os níveis podem chegar a 25% durante o final de semana e madrugada, a fase B/L2 a 80% e a fase

C/L3 a 50%. Novamente há possibilidade de funcionamento precário dos equipamentos.

Tem-se, agora, o QD do segundo pavimento do bloco A:

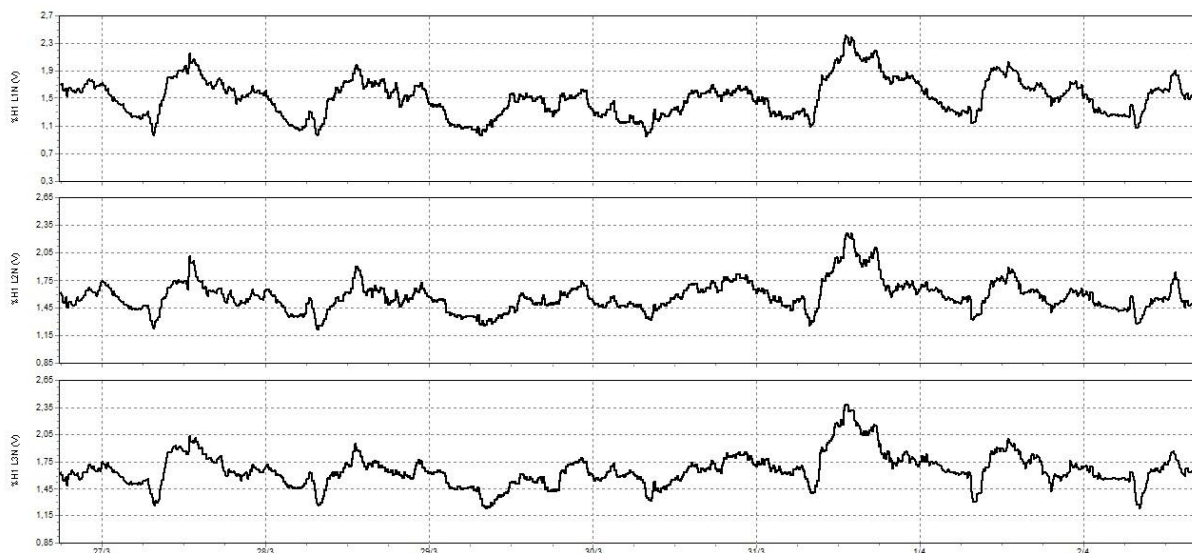


Figura 130 - Distorção harmônica da tensão, QD do segundo pavimento do bloco A, 26/03 a 02/04/2014.

Fonte: Autoria Própria

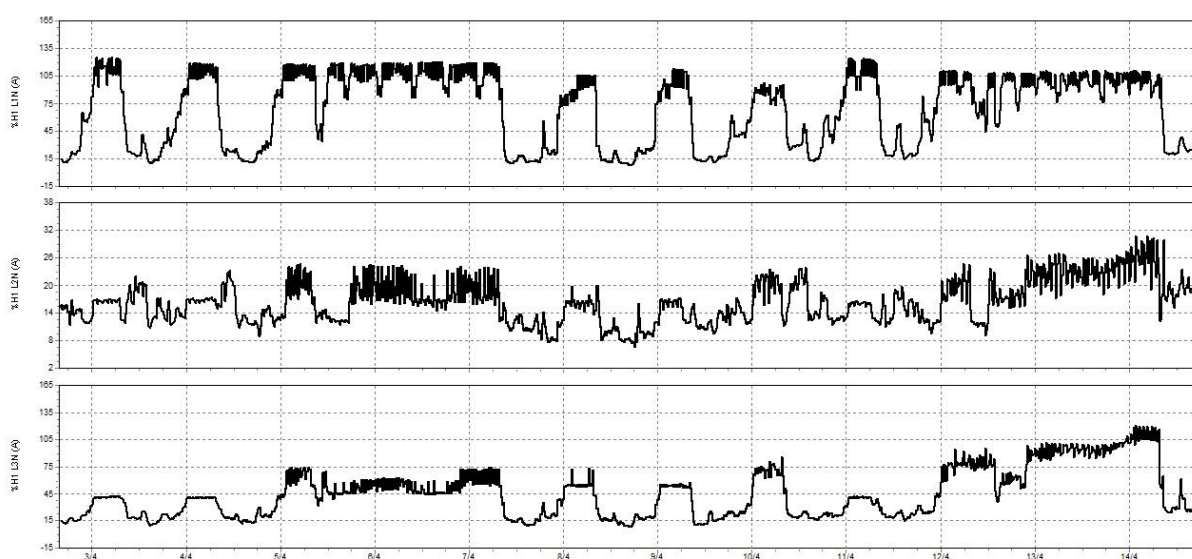


Figura 131 - Distorção harmônica da corrente, QD do segundo pavimento do bloco A, 26/03 a 02/04/2014.

Fonte: Autoria Própria

Novamente a tensão está abaixo de 2%, reafirmando um ótimo nível de THD_v (figura 130). Neste QD, a situação da THD_i (figura 131) se mostra bastante preocupante até aqui, pois chega nos elevados valores de, aproximadamente, 125% na fase A/L1 e 118% na fase C/L3. Estes níveis se mostram decididamente

perigosos para uma instalação, podendo causar sérios danos a aparelhos eletrônicos.

Como já dito antes, terceiro pavimento do bloco A possui em seu QD um *no-break*. As figuras 132 e 133 mostrarão o nível de THD para este quadro:

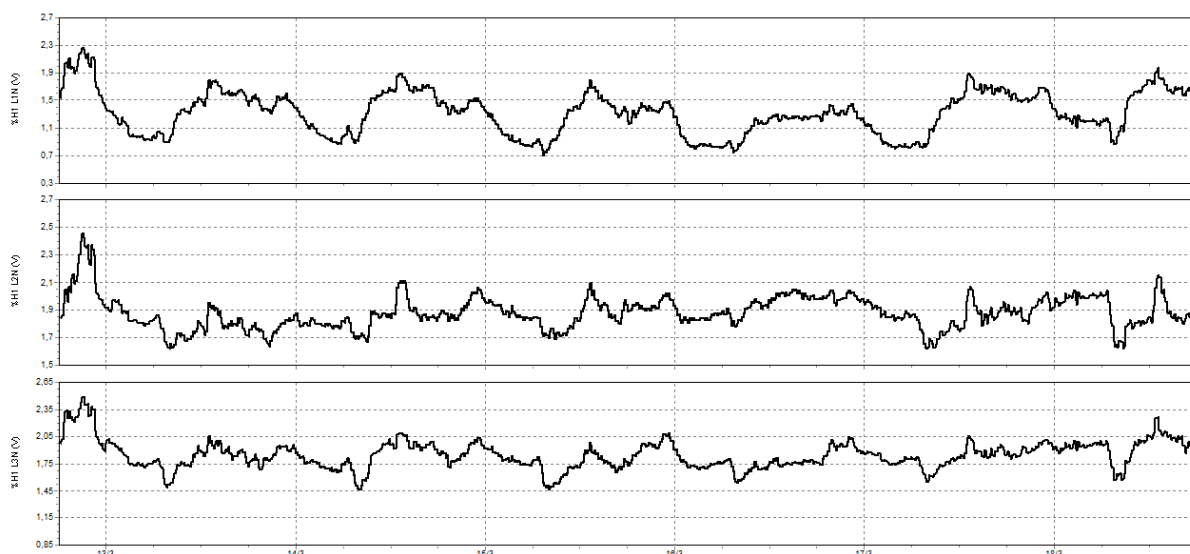


Figura 132 - Distorção harmônica da tensão, QD do terceiro pavimento do bloco A, 12/03 a 18/03/2014.

Fonte: Autoria Própria

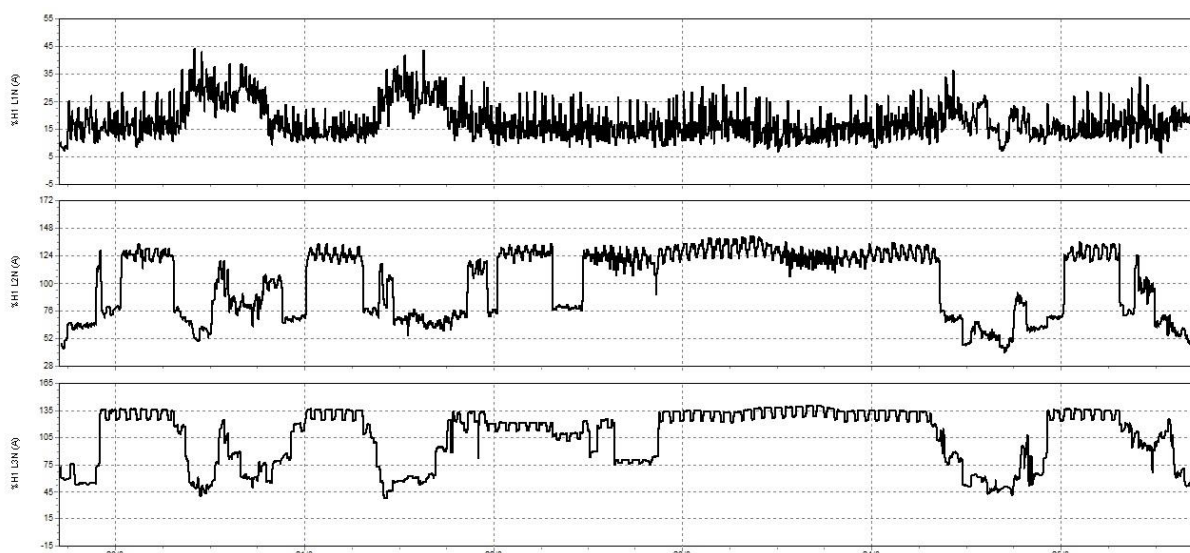


Figura 133 - Distorção harmônica da corrente, QD do terceiro pavimento do bloco A, 18/03 a 25/03/2014.

Fonte: Autoria Própria

Como esperado, o caso da THD_v (figura 132) está satisfatório mais uma vez, se mantendo constante a maior parte do tempo em 2%. A THD_i (figura 133), por sua vez, encontra-se em um nível bastante alarmante. A fase A/L1 se mantém constante com picos em 30% durante a maior parte do tempo, no entanto as fases B/L2 e

C/L3, que estão alimentando o *no-break* permanecem a maior parte do tempo na faixa dos 135%. Sabendo que acima de 50% danos permanentes aos equipamentos já podem ocorrer, deve-se ficar ainda mais atento procurando medidas mitigadoras urgentemente.

A partir de agora a realidade do bloco C será checada. O pavimento térreo do bloco C será exposto pela figura 134:

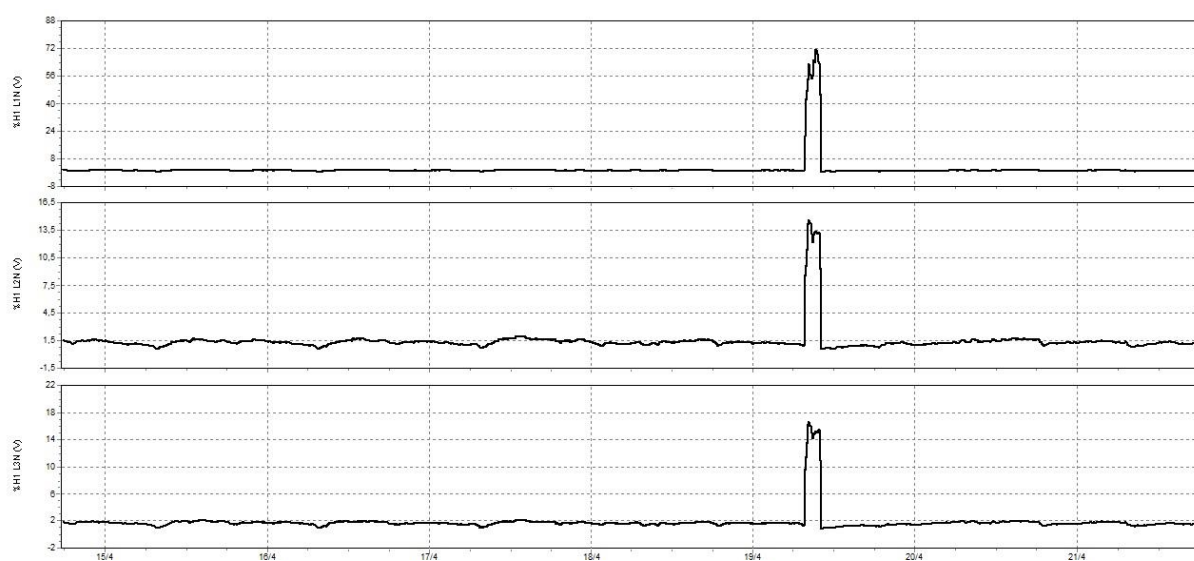


Figura 134 - Distorção harmônica da tensão, QD do pavimento térreo do bloco C, 14/04 a 21/04/2014.

Fonte: Autoria Própria

Durante a semana de medição da THD_v (figura 134), ocorreu, durante aproximadamente duas horas, das 7:33 às 9:55, um pulso em que elevou os níveis para valores altos, principalmente na fase A/L1, que chegou a 70%. A fase B/L2 e C/L3 permaneceram mais brandas atingindo 14% e 13%, respectivamente. Embora os níveis tenham sido bastante alarmantes, o período de tempo em que permaneceram elevados foi pequeno, não causando danos mais sérios aos equipamentos.

O primeiro pavimento do bloco C apresenta os seguintes índices de THD:

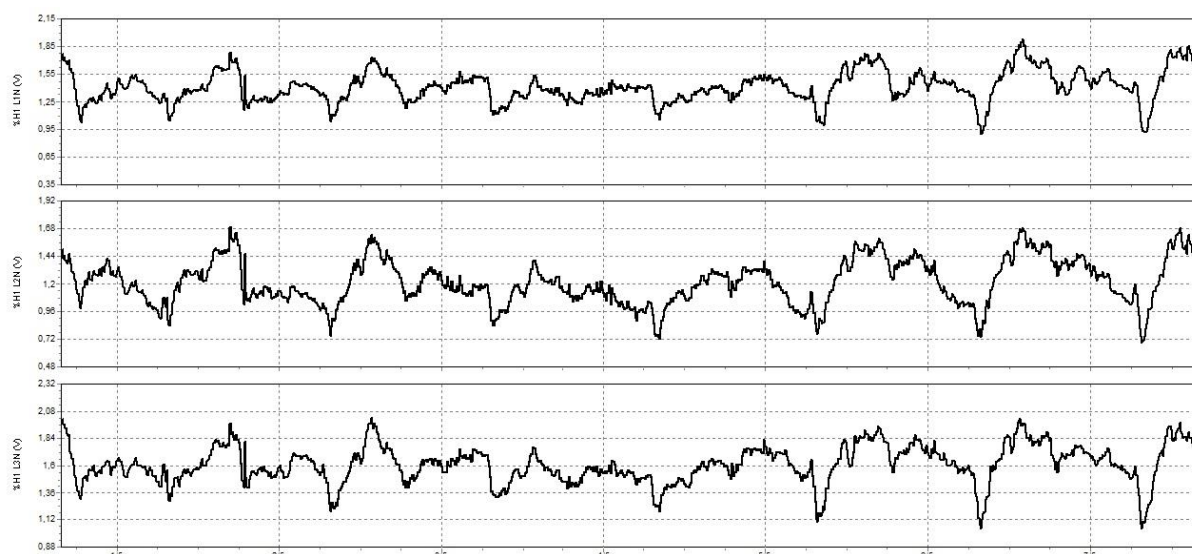


Figura 135 - Distorção harmônica da tensão, QD do primeiro pavimento do bloco C, 30/04 a 07/05/2014.

Fonte: Autoria Própria

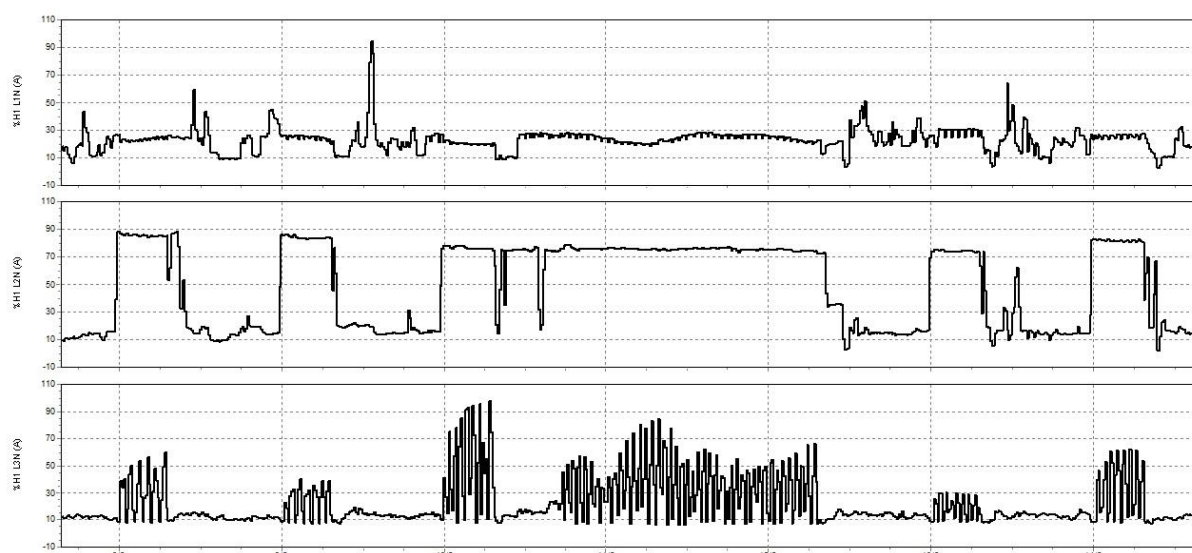


Figura 136 - Distorção harmônica da corrente, QD do primeiro pavimento do bloco C, 07/05 a 14/05/2014.

Fonte: Autoria Própria

Seguindo o padrão até então, os valores para a THD_v (figura 135) se mantiveram abaixo de 2% para todas as fases. Para a THD_i (figura 136) os níveis variaram entre as três fases, mostrando que o sistema está bastante desbalanceado. A fase A/L1 sofreu alguns picos, mas passou a maior parte do tempo na faixa dos 30%. A fase B/L2 foi a mais castigada, se mantendo durante grande parte do período de medição perto de 80%. A fase C/L3 sofreu alguns picos, os quais chegaram a 50%, mas em grande parte do tempo por volta dos 10%.

Novamente o período do final de semana traz preocupação quanto aos níveis de THD_i , clamando por medidas mitigatórias.

Como o terceiro pavimento do bloco A, o segundo pavimento do bloco C conta com um *no-break*, ou seja, os níveis de THD_i são elevados, como é possível verificar através das figuras 137 e 138:

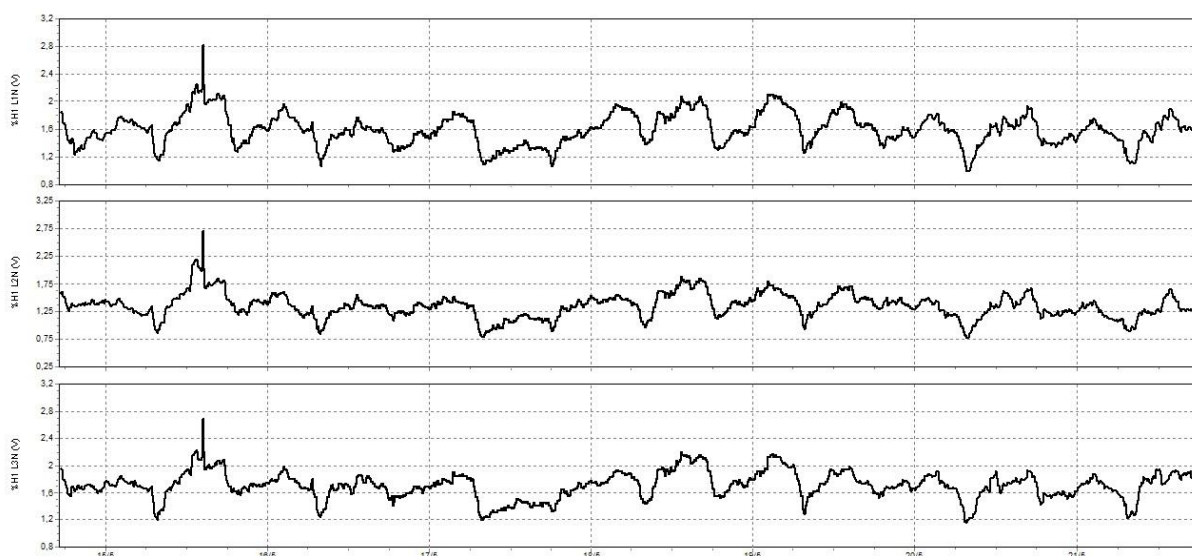


Figura 137 - Distorção harmônica da tensão, QD do segundo pavimento do bloco C, 14/05 a 21/05/2014.

Fonte: Autoria Própria

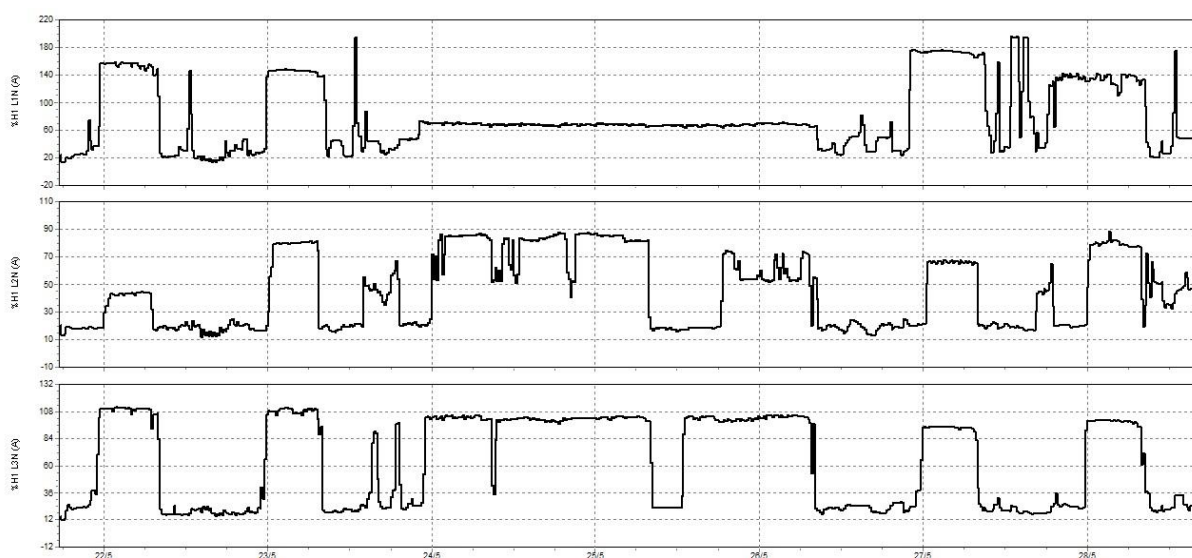


Figura 138 - Distorção harmônica da corrente, QD do segundo pavimento do bloco C, 21/05 a 28/05/2014.

Fonte: Autoria Própria

Os níveis de THD_v (figura 137) se mantêm excelentes, ou seja, ficam constantes em, aproximadamente, 2% durante todo o tempo. Os níveis de THD_i (figura 138), por sua vez, são alarmantes outra vez, assim como no terceiro

pavimento do bloco A. Registrou-se, na fase A/L1, um pico de 190%, o que é extremamente elevado, embora este tempo tenha sido pequeno. A maior parte do tempo se manteve em, aproximadamente, 66% durante os finais de semana e 20% durante o período de aula, o que já pode causar sérios danos aos equipamentos. A fase B/L2 atingiu 86,79%, pois o *no-break* não está sendo alimentado por ela, ou seja, há outras cargas gerando altos níveis de harmônica. A fase C/L3 possui níveis elevados que chegam a 112%, e durante os períodos de aula se mantém por volta de 10%, na faixa do limite tolerável.

O último QD medido foi o do terceiro pavimento do bloco C. Tem-se:

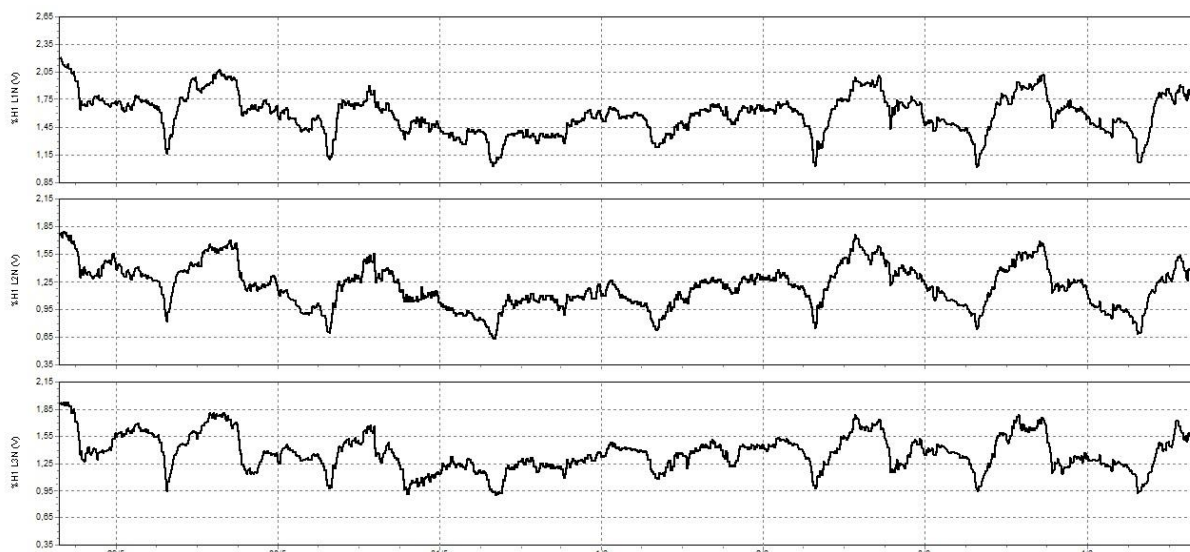


Figura 139 - Distorção harmônica da tensão, QD do terceiro pavimento do bloco C, 28/05 a 04/06/2014.

Fonte: Autoria Própria

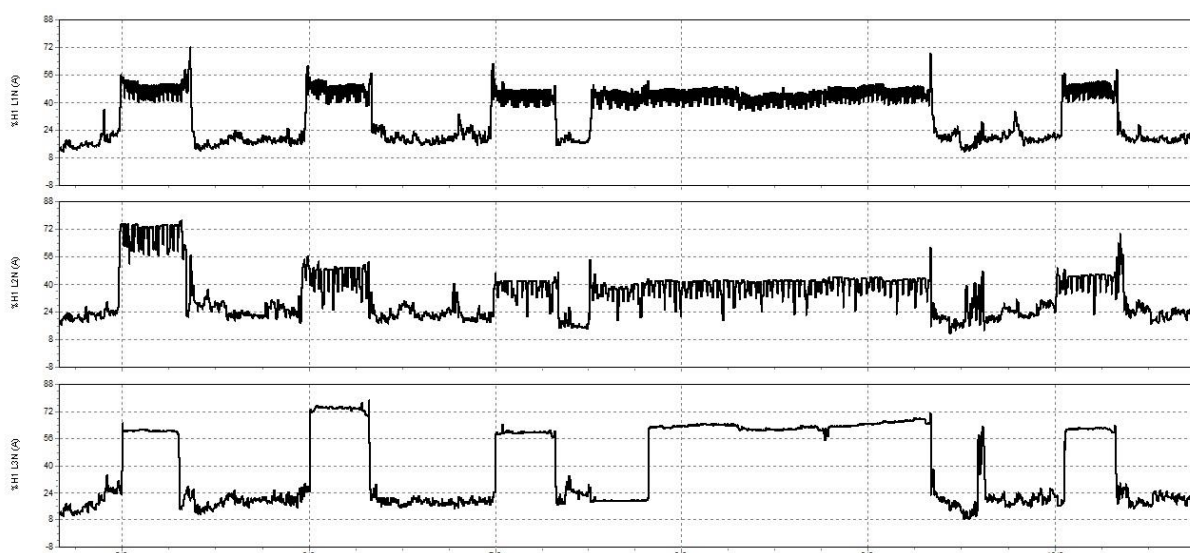


Figura 140 - Distorção harmônica da corrente, QD do terceiro pavimento do bloco C, 04/06 a 10/06/2014.

Fonte: Autoria Própria

Mantendo-se fiel à regra de bons níveis de THD_v , novamente a distorção harmônica de tensão manteve-se abaixo do nível estabelecido pelos órgãos regulamentadores (figura 139). Os níveis de THD_i (figura 140) também se mantiveram fiel ao fato de que, durante a madrugada e finais de semana, há um elevado percentual: a fase A/L1 registrou valores próximos a 50%, a fase B/L2, 40% e a fase C/L3, 60%. Durante o restante do tempo, ou seja, intervalos de tempo onde há atividade acadêmica, as três fases se mantiveram por volta dos 10%.

Novamente, é importante salientar que estes níveis atingidos podem causar problemas nas instalações e nos equipamentos.

Desta forma, conclui-se que é importante mitigar as harmônicas de corrente, de modo a diminuí-la nos períodos não convencionais: madrugada e finais de semana. Para isto, como falado no início desta seção, 5.5, é necessário a instalação de filtros ativos, passivos ou híbridos, de modo a reduzir a alta distorção nas formas de onda da corrente. Os níveis das componentes harmônicas para tensão estão excelentes, de modo que é difícil uma instalação manter níveis tão baixos para as THD_v e um espectro harmônico tão uniforme.

Outro ponto importante da análise das THD_i é a capacidade de identificação de um sistema balanceado de acordo com o comportamento da curva de cada fase. A tendência, caso haja uma boa distribuição das cargas, é as curvas se comportarem de maneira semelhante, o que não ocorreu em vários QD's, como por exemplo, os quadros de distribuição do primeiro e terceiro pavimento do bloco C, entre outros.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho de conclusão de curso analisou os indicadores de qualidade de energia dos blocos A e C do campus da UTFPR *campus* Toledo. Durante um grande período de medições, buscou-se coletar dados de forma a possuir maior veracidade nas colocações, mostrando como está, de fato, a qualidade de energia.

Em todo caso, a energia que está sendo entregue pela concessionária COPEL possui grande qualidade no que se diz respeito aos indicadores. Problemas podem ser percebidos nos circuitos sem balanceamento. Por exemplo, as variações de frequência de maior rigor descritas no item 5.3 foram causadas por situações externas, assim como alguns abaixamentos de tensão, porém, ainda há alguns eventos que podem trazer malefícios ao sistema. É necessário estudar a fundo as causas e propor as consequências, como a utilização de compensadores de tensão ou redistribuição das cargas. No entanto o problema mais urgente a ser sanado é a situação das harmônicas de corrente existentes, que podem gerar grandes problemas, como a inutilização de reatores de lâmpadas fluorescentes e a diminuição da vida útil dos equipamentos existentes nos andares mais atingidos, com o terceiro pavimento do bloco A e o segundo pavimento do bloco C. Para que seja possível tratar as harmônicas, pode-se escolher, dentre uma gama de opções, as mais eficazes: utilização de filtros ativos ou passivos. Os filtros passivos são comumente mais acionados em locais em que não se tem pretensão de aumento de carga, pois como a faixa de atuação é escolhida pelo projetista e não é passível de mudança, se correntes harmônicas de ordens diferentes da faixa do filtro surgirem no sistema com o aumento ou troca de carga, o mesmo passa a ser desnecessário. Os filtros ativos são mais caros, porém mais funcionais: seu princípio de funcionamento se resume a uma medição da corrente harmônica existente no sistema e um gerador de corrente faz com que uma corrente semelhante (sinal trocado), por simetria, anule a corrente harmônica, fazendo com que a fonte fique livre da presença dos componentes harmônicas do sistema.

Outras opções podem ser utilizadas, como empregar dois transformadores no sistema, um para a carga não linear e outro para a carga linear, o agrupamento das cargas não lineares num mesmo lugar para que a corrente harmônica não

circule por todo o sistema ou transformadores de isolamento, o que acaba se tornando totalmente inviável economicamente e, possivelmente, logisticamente.

As outras partes vistas, como a análise do fator de potência e energia reativa excedente mostraram que há um grande avanço em relação aos anos anteriores e que tende a melhorar cada vez mais, pois através dos gráficos pode-se notar a constante melhora. Por exemplo, o fator de potência em referência ao fim do ano de 2011 e começo de 2012 é bastante inferior ao fator de potência do ano de 2014. Com isso, faz-se estreita relação com a energia reativa excedente, que, com a melhora do fator de potência, passou a transitar em valores mais brandos, tendendo a diminuir também, pois como se sabe, o excesso de energia reativa no sistema acelera a diminuição da vida útil dos equipamentos, deteriora a qualidade da energia elétrica, gera multas por parte da concessionária, etc.

Como já dito, os indicadores DIC, FIC e DMIC são baseados em operações da concessionária, não sendo, necessariamente um problema de qualidade de energia do campus Toledo da UTFPR e sim da COPEL.

De toda forma, este trabalho foi composto por uma referência bibliográfica, capítulo 2, a qual tem como objetivo a explanação dos indicadores de qualidade de energia; um capítulo (capítulo 3) para explicar a proposta do trabalho, equipamento e *softwares* utilizados; uma análise documental onde se mostra indicadores importantes como DIC, FIC e DMIC, além do estudo das faturas de energia e do fator de potência; e, por fim, um capítulo analisando os indicadores de qualidade de energia, desde as variações na amplitude, frequência, *flicker*, curva ITI CBEMA e distorções harmônicas, sendo que todos estes itens foram discutidos em suas respectivas seções.

Todavia, é de grande interesse, seja por motivos econômicos ou de conhecimento, que haja trabalhos deste segmento, para que possa ser prevenidos problemas que possam causar grandes danos ao sistema elétrico, seja de uma simples casa a grandes indústrias.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). Audiência pública nº 065/2012, de 25 de outubro de 2012. Fator de potência. Brasília: ANEEL, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 13 de agosto de 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) – Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica**. Brasília: ANEEL, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 20 mai. 2014.

Apagão teve origem em curto-circuito em linha de transmissão. Disponível em <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2014/02/apagao-teve-origem-em-curto-circuito-em-linha-de-transmissao-diz-ons.html>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

Comitê de Distribuição de Energia Elétrica – CODI. **Manual de Orientação aos consumidores – Energia Reativa Excedente**. Disponível em: <<http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-escelsa/informacoes/grandes-clientes/normas-e-manuais/Documents/Manual%20de%20Orienta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Energia%20Reativa%20Excedente.pdf>>. Acesso em: 8 jun. 2014.

Copel – Companhia Paranaense de Energia. **Manual de Acesso de Geração Distribuída ao Sistema da Copel**. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcArquivos.nsf/0342A62F50C68EC4032577F500644B9A/\\$FILE/905100.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcArquivos.nsf/0342A62F50C68EC4032577F500644B9A/$FILE/905100.pdf)>. Acesso em: 06 de agosto de 2013.

Copel – Companhia Paranaense de Energia. **Fator de potência: como transformá-lo em um fator de economia**. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/fator_de_potencia/\\$FILE/fator_potencia.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/fator_de_potencia/$FILE/fator_potencia.pdf)> Acesso em: 19 jun. 2014.

CHAPMAN, David. **Harmonics: causes and effects**. In: **Copper Development Association (Org.)**. Power quality application guide. United Kingdom: Copper Development Association, 2001. 6p. Disponível em: <<http://admin.copperalliance.eu/docs/librariesprovider5/power-quality-and-utilisation-guide/31-causes-and-effects.pdf?sfvrsn=4&sfvrsn=4>>. Acesso em: 6 jun. 2014.

CHAPMAN, David. **Voltage Dips: Introduction**. In: **Copper Development Association (Org.)**. Power quality application guide. United Kingdom: Copper Development Association, 2001. 10p. Disponível em: <<http://www.copperinfo.co.uk/power-quality/downloads/pqug/51-voltage-dips.pdf>>. Acesso em: 6 jun. 2014.

DECKMANN, Sigmar Maurer; POMILIO, José Antenor. **Avaliação da qualidade da energia elétrica**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, 2010. Apostila do curso.

DUGAN, Roger C.; MCGRANAGHAN, Mark F.; SANTOSO, Surya; BEATY, H. Wayne. **Electrical power systems quality**. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2002. 528p.

Eletrobrás. *PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*. Disponível em: <
<http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp?TeamID={67469FA5-276E-431F-B9C0-6F40630498EE}>>. Acesso em: 06 de agosto de 2013.

FLUKE®. Manual do usuário – FLUKE 434/435. Holanda: Fluke, 2006. 144 p.

FRANCO, Edgar. **Qualidade de energia – causas, efeitos e soluções**. Engecomp Tecnologia em Automação e Controle Ltda. Disponível em: <
<http://iecom.dee.ufcg.edu.br/~mylene/potencia/artigo2.doc>>. Acesso em 18 de julho de 2013.

GRADY, W. Mack; SANTOSO, Surya. **Understand power system harmonics**. IEEE Power Engineering Review. v.21, n.11, p.8-11, Nov. 2001. Disponível em: <
<http://www.ieee.org>>. Acesso em: 03 maio 2014.

Kennedy, Barry W. **Power Quality Primer**. 1st ed. New York: McGraw-Hill, 2000. 360 p.

Limite para avaliação qualitativa do desempenho da frequência durante distúrbios. Disponível em:
 <http://www.ons.org.br/download/procedimentos/modulos/Modulo_25/Subm%C3%B3dulo%2025.6_Rev_1.1.pdf>. Acesso em 21 jun 2014.

Nota Complementar ONS. Disponível em
 <http://www.eln.gov.br/opencms/opencms/modulos/noticia/noticia_0710.html?uri=/modulos/home_noticias.html>. Acesso em: 14 jun. 2014.

Onda senoidal. Disponível em:
 <<http://www.brasilecola.com/upload/e/onda%20senoidal.jpg>>. Acesso em: 06 de agosto de 2013.

OLIVEIRA, Caio Gomes de. **Estudo sobre Conservação de Energia Elétrica e Qualidade de Energia Elétrica**. 2009. 201 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Unicamp, Campinas, 2009.

Operador Nacional do Sistema (ONS). **Indicadores de qualidade de energia elétrica – frequência e tensão.** Disponível em: <http://www.ons.org.br/download/procedimentos/modulos/Modulo_25/Subm%C3%B3dulo%2025.6_Rev_1.1.pdf> Acesso em: 25 jun. 2014.

Power Quality in European Electricity Supply Networks - 1st Edition, Union of the Electricity Industry – Eurelectric, Feb. 2004.

Schneider Electric Brasil LTDA. / Procobre. **Workshop – Instalações Elétricas de Baixa Tensão: Qualidade de energia harmônicas.** Disponível em: <<http://www.schneider-electric.com.br/documents/cadernos-tecnicos/harmon.pdf>>. Acessado em: 10 jun. 2014.

Sankaran, C. **Power Quality**. 1st ed. Boca Ratón: CRC Press, 2002. 202p.

Union of the Electricity Industry – EURELECTRIC. **Power Quality in European Electricity Supply Networks**. 1st edition. Brussels: EURELECTRIC, 2002.

Variações de frequência. Disponível em <<http://www.sms.com.br/respostas-sms/sobre-energia/disturbios-energia/variacoes-frequencia/variacoes-frequencia.asp>>. Acesso em: 14 jun. 2014.