

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RESPOSTA DE SISTEMAS ININTERRUPTOS DE ENERGIA
FRENTE A FENÔMENOS DE QUALIDADE DA ENERGIA

FABRICIO DOUGLAS GONÇALVES

ORIENTADOR: MARCO AURÉLIO GONÇALVES DE OLIVEIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PUBLICAÇÃO: PPGENE.DM – 352A/08

BRASÍLIA/DF: OUTUBRO/2008

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETRICA**

**RESPOSTA DE SISTEMAS ININTERRUPTOS DE ENERGIA
FRENTE A FENÔMENOS DE QUALIDADE DA ENERGIA**

FABRICIO DOUGLAS GONÇALVES

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.**

APROVADA POR:

**MARCO AURÉLIO GONÇALVES DE OLIVEIRA, Doutor, ENE/UnB
(ORIENTADOR)**

**ANTÔNIO CÉSAR BALEEIRO ALVES, Doutor, EEEC/UFG
(EXAMINADOR EXTERNO)**

**IVAN MARQUES DE TOLEDO CAMARGO, Doutor, ENE/UnB
(EXAMINADOR INTERNO)**

BRASÍLIA/DF, 01 DE OUTUBRO DE 2008

FICHA CATALOGRÁFICA

GONÇALVES, FABRICIO DOUGLAS

Resposta de Sistemas Ininterruptos de Energia frente a Fenômenos de Qualidade da Energia [Distrito Federal] 2008.

xix, 155p, 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2008).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1.Sistemas Ininterruptos de Energia

2.Qualidade da Energia Elétrica

3.Eletrônica de Potência

4. Aquisição de Dados

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GONÇALVES, F. D. (2008). Resposta de Sistemas Ininterruptos de Energia frente a Fenômenos de Qualidade da Energia. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.DM-352A/08, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 155p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Fabricio Douglas Gonçalves.

TÍTULO: Resposta de Sistemas Ininterruptos de Energia frente a Fenômenos de Qualidade da Energia.

GRAU: Mestre

ANO: 2008

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Fabricio Douglas Gonçalves

QI 03 cj Z cs 27, Guará 1

71020-252 Brasília – DF – Brasil.

Dedico essa dissertação à minha amada esposa,
Fabiana, por estar ao meu lado nessa jornada.
Aos meus queridos e eternos pais, Airton e
Helena (em memória), por todo carinho e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS por guiar todos os meus passos, tornando-se meu refúgio nos diversos momentos que precisei.

Aos meus pais pelos ensinamentos, carinho e amor passados ao longo dos anos. Aos meus irmãos Alexandre, Gisele e Evelyn por compartilhar e valorizar a importância do estudo.

A minha esposa Fabiana pela paciência, incentivo e dedicação aplicada na realização desse trabalho.

Aos meus familiares que de alguma forma ajudaram a realizar mais esse sonho.

Ao Professor Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira pelo apoio e compreensão para o desenvolvimento desse tema, pelo referencial de pessoa e pesquisador, por ser o responsável pela apresentação de temas como Qualidade de Energia e Eletrônica de Potência e, principalmente, pela amizade.

Aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica que fizeram parte da minha formação acadêmica e humana.

Aos técnicos do GSEP, Valter, Cícero, Célio pela simpatia e prontidão.

A toda turma do laboratório de Qualidade de Energia, Lílian, Rafael, Sérgio e Alessandra.

Ao amigo Cilmo Alencar de Oliveira pelas diversas conversas sobre o tema, pelo empréstimo de um sistema de aquisição de dados e pelo incentivo técnico e humano.

Ao amigo Maurício pelo interesse ao tema desenvolvido, assim como pelo empréstimo de alguns equipamentos para realização dos ensaios em laboratório.

Aos amigos do HRBz pelo incentivo e compreensão durante todo o desenvolvimento desse trabalho.

RESUMO

RESPOSTA DE SISTEMAS ININTERRUPTOS DE ENERGIA FRENTE A FENÔMENOS DE QUALIDADE DA ENERGIA

Os Sistemas Ininterruptos de Energia (UPS) estão presentes em diversas instalações elétricas de baixa tensão como: instalações residenciais (urbana e rural), comerciais e industriais. A utilização desses faz-se necessária pelo desejo do consumidor em evitar que a energia fornecida aos equipamentos eletrônicos essenciais seja interrompida ou que permaneça fora dos limites aceitáveis para o funcionamento adequado da carga. Com isso, a escolha de um UPS, dentre as diversas topologias existentes, pode ser fundamentada a partir da sua resposta frente aos fenômenos de Qualidade de Energia Elétrica (QEE).

Inicialmente, esse trabalho apresenta aspectos importantes que cercam a concepção de UPS estáticos, tais como: i) relevância do uso de UPS em determinadas instalações elétricas; ii) normas utilizadas para classificar e avaliar o desempenho das topologias de UPS existentes; iii) visão geral da arquitetura e funcionamento de cada topologia; e iv) conceitos de QEE aplicados à classificação e análise de desempenho dos UPS. Em seguida, é apresentada uma formulação de ensaios específicos para cada fenômeno de QEE, o qual é aplicado na entrada de cada topologia de UPS, a fim de observar e comparar o comportamento da forma de onda da tensão e da corrente, na entrada e saída do equipamento, por meio de um sistema de aquisição de dados.

A partir dos resultados obtidos, pode-se visualizar o comportamento de cada topologia de UPS estático sob o ponto de vista da resiliência desses equipamentos frente aos fenômenos de QEE, classificados pela norma IEEE 1159/1995. Assim, torna-se possível tanto a análise de desempenho da interação desses fenômenos com as cargas supridas pelos mesmos, quanto à criação de índices de resiliência ou selos de QEE aplicados aos UPS estáticos de baixa ou até mesmo alta potência. A idéia desses índices ou selos pode auxiliar, o usuário final desses equipamentos, a escolha da topologia ideal para o tipo de aplicação que o mesmo deseja, seja ela um simples computador pessoal ou um grande centro de processamento de dados.

ABSTRACT

RESPONSES OF UNINTERRUPTIBLE POWER SYSTEMS IN THE FACE OF POWER QUALITY DISTURBANCES

The Uninterruptible Power Systems (UPS) have been present in many kind of low-voltage electrical installation such as: residential (urban and rural), business and industrial. The use of such is made necessary by the desire of the consumer to prevent the energy supplied to essential electronic equipment that is interrupted or remain out of bounds acceptable to the suitable functioning of the load. Thus, the choice of UPS, among the various existing topologies, may be based from their response phenomena facing the Power Quality (PQ) Disturbances.

Initially, this work presents important issues surrounding the design of static UPS, such as: i) relevance of the use of UPS in certain electrical installations, ii) standards used to classify and evaluate the performance of existing topologies of UPS, iii) overview the architecture and operation of each topology, and iv) concepts of PQ applied in the classification and analysis of performance of UPS. Then, there is a specific formulation of tests for each of PQ phenomenon, which is applied at the entrance of each topology of UPS, in order to observe and compare the performance of the waveform of voltage and current, the entry and exit, through of a data acquisition system.

From the results, you can view the behavior of each UPS topology of static from the point of view of the resilience of such equipment against the phenomena of PQ, classified by the IEEE 1159/1995. Thus, it is possible to know the performance analysis of the interaction of these phenomena with the loads met by them, about the creation of indices of resilience or seals of PQ applied to UPS static low or even high power. The idea of such indices or stamps can help the end user of such equipment, the choice of topology ideal for the type of application that it wants, be it a simple personal computer or a large data-processing center.

Sumário

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1- SISTEMAS ININTERRUPTOS DE ENERGIA	4
2.2 - NORMALIZAÇÃO DOS UPS ESTÁTICOS	6
2.3 - ARQUITETURA DOS UPS ESTÁTICOS	11
2.3.1- Chave de transferência	11
2.3.2 - Retificador ou Carregador de Bateria	12
2.3.3 - Baterias	13
2.3.4 - Inversores	15
2.4 - TOPOLOGIA DOS UPS ESTÁTICOS	17
2.4.1 - Topologia <i>Passive Standby</i>	17
2.4.2 - Topologia Linha Interativa	21
2.4.3 - Topologia Dupla Conversão	25
2.5 - CONCEITOS DE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA APLICADOS AOS SISTEMAS ININTERRUPTOS DE ENERGIA.....	30
2.5.1 - Qualidade da Energia Elétrica.....	30
2.5.2 - Classificação dos UPS frente aos fenômenos de QEE.....	38
2.5.3 - Parâmetros e limites recomendados para análise de desempenho dos UPS frente aos fenômenos de QEE	45
2.5.4 - Conceitos de Resiliência aplicados aos UPS estáticos	51
3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
3.1 - LABORATÓRIO DE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA	54
3.1.1- Apresentação do laboratório.....	54
3.1.2 - Fonte de alimentação	55
3.2 - UPS ESCOLHIDOS PARA OS ENSAIOS	56
3.2.1- UPS <i>Passive Standby</i> (Monofásico)	57
3.2.2- UPS Linha Interativa (Monofásico)	58

3.2.3 - UPS Dupla Conversão (Monofásico)	59
3.3 - SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	60
3.4 - DISTÚRBIOS DE QUALIDADE DA ENERGIA APLICADOS NOS UPS.....	63
3.4.1 - Transitórios	63
3.4.2 - Variações de Tensão de Curta Duração	65
3.4.3 - Variações de Tensão de Longa Duração	77
3.4.4 - Desequilíbrio de Tensão	80
3.4.5 - Distorções na Forma de Onda	81
3.4.6 - Flutuações de Tensão	86
3.4.7 - Variações de Freqüência.....	86
4 – RESULTADOS E ANÁLISE.....	88
4.1 - TESTE UPS <i>PASSIVE STANDBY</i>	88
4.1.1 - Transitórios	88
4.1.2 - Variações de Tensão de Curta Duração	90
4.1.3 - Variação de Tensão de Longa Duração.....	103
4.1.4 - Distorção da Forma de Onda	103
4.1.5 - Flutuações de Tensão	107
4.1.6 - Variação de Freqüência	108
4.2 - TESTE UPS LINHA INTERATIVA	113
4.2.1 - Transitórios	113
4.2.2 - Variações de Tensão de Curta Duração.....	116
4.2.3 - Variação de Tensão de Longa Duração.....	130
4.2.4 - Distorção da Forma de Onda	130
4.2.5 - Flutuações de Tensão	134
4.2.6 - Variação de Freqüência	135
4.3 - TESTE UPS DUPLA CONVERSÃO	141
4.3.1 - Transitórios	141
4.3.2 - Variações de Tensão de Curta Duração.....	143
4.3.5 - Distorções na Forma de Onda	144

4.3.6 - Flutuações de Tensão	148
5 - CONCLUSÕES	150
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	153

LISTA DE TABELA

Tabela 2.1 - Diagrama de blocos das topologias de UPS estáticos de acordo com a norma nacional e a norma internacional.	9
Tabela 2.2 - Parâmetros elétricos aplicados às células dos tipos de baterias usadas em UPS.	15
Tabela 2.3 - Categorias e características dos Fenômenos de QEE presentes no Sistema Elétrico de Potência.	36
Tabela 2.4 - Causas e efeitos decorrentes dos Fenômenos de QEE classificados na tabela 2.3.	37
Tabela 2.5 - Classificação do desempenho das topologias de UPS no modo normal.	43
Tabela 2.6 - Classificação dos UPS frente aos Fenômenos de QEE.	44
Tabela 2.7 - Terminologia utilizada na caracterização de desequilíbrios de tensão.	48
Tabela 2.8 - Níveis de referência para distorções harmônicas individuais de tensão.	49
Tabela 2.9 - Limites de distorção de corrente de acordo com a norma IEEE 519-92.	50
Tabela 3.1 - Principais parâmetros de um UPS <i>Passive Standby</i> , declarados pelo fabricante A.	57
Tabela 3.2 - Principais parâmetros elétricos de um UPS Linha Interativa, declarados pelo fabricante B.	58
Tabela 3.3 - Principais parâmetros elétricos de um UPS Dupla Conversão, declarados pelo fabricante C.	59
Tabela 3.4 - Parâmetros utilizados para gerar transitórios impulsivos.	64
Tabela 3.5 - Parâmetros utilizados para gerar interrupções instantâneas.	67
Tabela 3.6 - Parâmetros utilizados para gerar interrupções momentâneas.	68
Tabela 3.7 - Parâmetros utilizados para gerar interrupções temporárias.	70
Tabela 3.8 - Parâmetros utilizados para gerar afundamentos de tensões instantâneas.	70
Tabela 3.9 - Parâmetros utilizados para gerar afundamentos de tensões momentâneas.	72
Tabela 3.10 - Parâmetros utilizados para gerar afundamentos de tensões temporários.	73
Tabela 3.11 - Parâmetros utilizados para gerar elevações de tensões instantâneas.	75
Tabela 3.12 - Parâmetros utilizados para gerar elevações de tensões momentâneas.	76
Tabela 3.13 - Parâmetros utilizados para gerar elevações de tensões temporárias.	77

Tabela 3.14 - Parâmetros utilizados para gerar interrupções de tensão sustentada.....	78
Tabela 3.15 - Parâmetros utilizados para gerar subtensão sustentada.....	79
Tabela 3.16 - Parâmetros utilizados para gerar sobretensão sustentada.....	79
Tabela 3.17 - Parâmetros utilizados para gerar desvio do nível CC.....	82
Tabela 3.18 - Parâmetros utilizados para gerar distorção harmônica da tensão.....	83
Tabela 3.19 - Parâmetros analisados a fim de avaliar o desempenho de cada topologia de UPS frente às distorções harmônicas.....	84
Tabela 3.20 - Parâmetros utilizados para gerar variações de frequência.....	87
Tabela 4.1 - Variações de frequências que provocam transferência do modo normal para o modo bateria. <i>Passive Standby</i>	109
Tabela 4. 2 - Variações de frequência que provocam transferência do modo normal para modo bateria. Linha Interativa.....	137

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Soluções adotadas para eliminar ou mitigar os fenômenos de QEE em setores da sociedade em porcentagem da carga total instalada..	5
Figura 2.2 - Diagrama de blocos simplificado de um UPS <i>on-line</i>	7
Figura 2.3 - Diagrama de blocos simplificado de um UPS <i>off-line</i>	7
Figura 2.4 - Diagrama básico da topologia <i>Passive Standby</i> , com componentes que melhoram seu desempenho frente fenômenos de QEE.	11
Figura 2.5 - Retificador trifásico controlado por modulação por largura de pulsos.	13
Figura 2.6 - Exemplo de uma bateria selada.	14
Figura 2.7 - Circuito de potência de um inversor trifásico.	16
Figura 2.8 - Diagrama de blocos dos UPS <i>Passive Standby</i> , funcionando no modo normal.	18
Figura 2.9 - Diagrama de blocos dos UPS <i>Passive Standby</i> , funcionando no modo bateria.	18
Figura 2.10 - Modelo de UPS <i>Passive Standby</i>	20
Figura 2.11 - Diagrama de blocos dos UPS Linha Interativa, funcionando no modo normal.	21
Figura 2.12 - Diagrama de blocos dos UPS Linha Interativa, funcionando no modo bateria.	22
Figura 2.13 - Diagrama de blocos dos UPS Linha Interativa, funcionando no modo <i>by-pass</i> .	22
Figura 2.14 - Modelo de UPS Linha Interativa.	24
Figura 2.15 - Diagrama de blocos dos UPS Dupla Conversão, funcionando no modo normal.	25
Figura 2.16 - Diagrama de blocos dos UPS Dupla Conversão, funcionando no modo bateria.	26
Figura 2.17 - Diagrama de blocos dos UPS Dupla Conversão, funcionando no modo <i>by-pass</i> automático.	26
Figura 2.18 - Diagrama de blocos dos UPS Dupla Conversão, funcionando no modo <i>by-pass</i> manual.	27
Figura 2.19 - Modelo de UPS Dupla Conversão	28
Figura 2.20 - Faixa de potência típicas de uso das topologias dos UPS	29

Figura 2.21 - Aplicações típicas de uso das topologias dos UPS	29
Figura 2.22 - Relação entre as áreas da Engenharia Elétrica com a Qualidade da Energia Elétrica.	31
Figura 2.23 - Curva de Classificação 1.....	41
Figura 2.24 - Curva de Classificação 2.....	42
Figura 2.25 - Curva de Classificação 3.....	42
Figura 2.26 - Curva CBEMA.	46
Figura 2.27 - Curva ITIC	46
Figura 2.28 - Curva SEMI F47.....	47
Figura 3.1 - Laboratório de Qualidade da Energia Elétrica.....	54
Figura 3.2 - Módulo da fonte CA/CC.....	55
Figura 3.3 - Fonte de alimentação, com potência de 30 kVA.	55
Figura 3.4 - Placa de aquisição de dados.....	60
Figura 3.5 - <i>Layout</i> de um dos lados do SAD projetado	61
Figura 3.6 - Conexões monofásicas para análise de equipamentos.....	61
Figura 3.7 - Sistema de aquisição de dados monofásico.....	62
Figura 3.8 - Forma de onda de um transitório impulsivo	64
Figura 3.9 - Forma de onda de um transitório oscilatório	65
Figura 3.10 - Interrupção de Tensão Instantânea, com duração de meio ciclo e iniciada em um ângulo de 0° grau.....	66
Figura 3.11 - Interrupção de Tensão Instantânea, com duração de meio ciclo e iniciada em um ângulo de 90° grau.....	66
Figura 3.12 - Interrupção de Tensão Instantânea, com duração de meio ciclo e iniciada em um ângulo de -90° grau	67
Figura 3.13 - Interrupção de Tensão Temporária, com duração de 600 ciclos e magnitude de 0,09 pu	69
Figura 3.14 - Afundamento de tensão instantâneo com magnitude de 0,3 pu e duração de 10 ciclos.....	72
Figura 3.15 - Elevação de tensão instantânea com magnitude de 1,2 pu e intervalo de 4 ciclos.....	74
Figura 3.16 - Interrupção sustentada com intervalo de 70 segundos.....	78
Figura 3.17 - Subtensão sustentada com magnitude de 0,8 pu e intervalo de 2 minutos. ...	79

Figura 3.18 - Sobretensão sustentada com magnitude de 1,15 pu e intervalo de 2 minutos.	80
Figura 3.19 - Desequilíbrio de tensão.....	80
Figura 3.20 - Forma de onda da tensão com desvio do nível CC no valor de +10V.....	81
Figura 3.21 - Forma de onda da tensão distorcida com a presença de harmônicas.....	82
Figura 3.22 - Forma de onda da tensão distorcida com presença de cortes de tensão.	85
Figura 3.23 - Forma de onda da tensão distorcida com presença de ruído elétrico.....	85
Figura 3.24 - Flutuação de tensão variando entre 0,95 e 1,05 pu.....	86
Figura 3.25 - Variação de frequência entre 60 e 180 Hz.....	87
Figura 4.1 - Resposta do UPS, <i>Passive Standby</i> , frente a um transitório impulsivo com duração de 1ms.	89
Figura 4.2 - Topologia <i>Passive Standby</i> : Curva ITIC para transitório impulsivo.....	90
Figura 4.3 - Interrupção Instantânea de meio ciclo, 90° e 100% de carga resistiva.....	91
Figura 4.4 - Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo normal para o modo bateria.	91
Figura 4.5 - Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo bateria para o modo normal.....	92
Figura 4.6 - Interrupção de tensão instantânea de meio ciclo, 90° e 50% de carga.	93
Figura 4.7 - Interrupção de tensão instantânea de meio ciclo, 90° e 20% de carga.	94
Figura 4.8 - Topologia <i>Passive Standby</i> : Curva ITIC para interrupções Instantâneas.....	95
Figura 4.9 - Topologia <i>Passive Standby</i> : Curva ITIC para interrupções Momentâneas.	95
Figura 4.10 - Topologia <i>Passive Standby</i> : Curva ITIC para interrupções Temporárias.	96
Figura 4.11 - Afundamento de tensão temporário, 20 segundos, 0,6 pu e 100% de carga resistiva	97
Figura 4.12 - Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo normal para o modo bateria.	97
Figura 4.13 - Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo bateria para o modo normal.....	98
Figura 4.14 - Forma de onda da tensão de entrada e saída durante o afundamento de tensão temporário.....	98
Figura 4.15 - Elevação de Tensão Instantânea de um ciclo, 1,65 pu e 100% carga resistiva.....	99

Figura 4.16 - Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo normal para o modo bateria.	100
Figura 4.17 - Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo bateria para o modo normal.....	100
Figura 4.18 - Elevação de tensão que provocou queima do equipamento.	101
Figura 4.19 - Aproximação do instante da queima do UPS Passive Standby.	101
Figura 4.20 - Topologia <i>Passive Standby</i> . Curva ITIC para elevação de tensão instantânea.	102
Figura 4.21 - Curva ITIC para elevação de tensão momentânea. Topologia <i>Passive Standby</i>	103
Figura 4.22 - Distorção harmônica da tensão.	104
Figura 4.23 - Forma de onda da tensão com a presença de cortes de tensão.	105
Figura 4.24 - Forma de onda da tensão com a presença de ruído elétrico.....	106
Figura 4.25 - Flutuação de tensão entre 1,05 e 0,95 pu.....	107
Figura 4.26 - Variação de frequência de 63 Hz em um período de 1 segundo.....	108
Figura 4.27 - Aproximação do primeiro instante. Transferência do modo normal para o modo bateria.	109
Figura 4.28 - Aproximação segundo instante.....	110
Figura 4.29 - Aproximação do terceiro instante.....	111
Figura 4.30 - Aproximação do quarto instante. Transferência do modo bateria para o modo normal.....	112
Figura 4.31 – Resposta do UPS, Linha Interativa, frente a um transitório impulsivo com duração de 1ms.	114
Figura 4.32 - Topologia Linha Interativa: Curva ITIC para transitório impulsivo.	114
Figura 4.33 - Resposta do UPS, Linha Interativa, frente a um transitório oscilatório com duração de 50 ms.	115
Figura 4.34 - Linha Interativa. Interrupção Instantânea de cinco ciclos, 0,09 pu e 100% carga resistiva.	116
Figura 4.35 - Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo normal para modo bateria.	117
Figura 4.36 - Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo bateria para modo normal.....	117
Figura 4.37 - Interrupção Instantânea de meio ciclo, 0° grau, 50% carga	118

Figura 4.38 - Interrupção Instantânea de meio ciclo, 0° grau, 20% carga	118
Figura 4.39 - Curva ITIC para interrupções Instantâneas	120
Figura 4. 40 - Curva ITIC para interrupções Momentâneas.....	120
Figura 4.41 - Curva ITIC para interrupções Temporárias.....	121
Figura 4.42 - Afundamento de tensão temporário de 1200 ciclos, 0,6 pu e 20% carga resistiva.....	121
Figura 4.43 - Aproximação do 1° instante em que ocorre a mudança do modo normal para o modo bateria.	122
Figura 4.44 - Aproximação do 2° instante. Afundamento de tensão temporário.....	122
Figura 4. 45 - Aproximação do 3° instante. Afundamento de tensão temporário.....	123
Figura 4.46 - Aproximação do 4° instante em que ocorre a mudança do modo bateria para o modo normal.....	123
Figura 4.47 - Topologia Linha Interativa. Curva ITIC para afundamento de tensão instantâneo.....	125
Figura 4.48 - Topologia Linha Interativa. Curva ITIC para afundamento de tensão momentâneo.	125
Figura 4.49 - Topologia Linha Interativa. Curva ITIC para afundamento de tensão temporário.	126
Figura 4.50 - Elevação de Tensão Instantânea de cinco ciclos, 1,65 pu e 50% carga resistiva.	126
Figura 4. 51 – Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo normal para o modo bateria.	127
Figura 4.52 - Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo bateria para o modo normal.....	127
Figura 4.53 - Topologia Linha Interativa: Curva ITIC para elevação de tensão instantânea.....	128
Figura 4.54 - Topologia Linha Interativa: Curva ITIC para elevação de tensão momentânea.	129
Figura 4.55 - Topologia Linha Interativa: Curva ITIC para elevação de tensão temporária.....	129
Figura 4.56 - Desvio do nível CC +2,0 V.....	130
Figura 4.57 - Distorção harmônica da tensão.....	132

Figura 4.58 - Forma de onda da tensão com a presença de cortes de tensão. Linha Interativa.	133
Figura 4.59 - Ruído Elétrico, Linha Interativa.	134
Figura 4.60 - Flutuação de tensão, Linha Interativa.	135
Figura 4.61 – Variação de frequência de 180Hz, durante um segundo.....	135
Figura 4.62 - Aproximação do primeiro instante. Transferência do modo normal para o modo bateria.	136
Figura 4.63 - Aproximação do segundo instante.	138
Figura 4.64 - Aproximação do terceiro instante.	139
Figura 4.65 - Aproximação do quarto instante. Transferência do modo bateria para o modo normal.....	139
Figura 4.66 - Resposta do UPS Dupla Conversão frente a um Transitório Impulsivo.	142
Figura 4.67 - Resposta do UPS Dupla Conversão frente a um Transitório Oscilatório....	143
Figura 4.68 - Resposta do UPS Dupla Conversão frente a uma Interrupção de Tensão...	144
Figura 4.69 - Resposta do UPS Dupla Conversão frente a um Desvio de Nível CC.	144
Figura 4.70 - Resposta do UPS Dupla Conversão frente a uma Distorção Harmônica de Tensão.	146
Figura 4.71 - Resposta do UPS Dupla Conversão frente aos Cortes de Tensão.	147
Figura 4.72 - Topologia Dupla Conversão: Ruído elétrico	148
Figura 4.73 -Topologia Dupla Conversão: Flutuação de tensão	149

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

APEC - *Applied Power Electronics Conference and Exposition*

CA - Corrente Alternada

CBA - Congresso Brasileiro de Automática

CBQEE - Conferência Brasileira de Qualidade de Energia Elétrica

CC - Corrente Contínua

CIREC - *International Electricity Distribution Conference & Exhibition*

CLP - Controlador Lógico Programável

COBEP - Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência

EPQU - *Electrical Power Quality and Utilisation*

IAS - *Industry Applications Society*

ICHQP - *International Conference on Harmonics and Quality of Power*

ICREPQ - *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*

IEC - *International Electrotechnical Commission*

IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineer*

MATLAB[®] - *Matrix Laboratory*

PES - *Power Engineering Society*

PESC - *Power Electronics Specialists Conference*

PRODIST - Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica

QEE - Qualidade da Energia Elétrica

SAD - Sistema de Aquisição de Dados

SBSE - Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos

SENDI - Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SEPOPE - Simpósio de Planejamento e Operação de Sistemas Elétricos de Potência

SIN - Sistema Interligado Nacional

SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica

UPS - *Uninterruptible Power Systems*

1 – INTRODUÇÃO

Atualmente, a complexidade no monitoramento de um Sistema Elétrico de Potência (SEP) pode ser comparada ao monitoramento de um paciente internado em uma Unidade de Terapia Intensiva (UTI), onde simultaneamente diversos parâmetros são observados a fim de avaliar o seu estado de saúde, e caso ocorram alterações que provoquem a instabilidade da saúde do paciente, imediatamente, são tomadas providências para restabelecer as condições normais. Ainda que, num SEP o seu funcionamento dificilmente chegue ao estado de gravidade em que os pacientes internados numa UTI se encontram. Deste modo em um SEP o aspecto vital é diferente, pois o que se leva em conta é a forma como toda a energia gerada é transmitida e consumida, continuamente, de modo a prover o perfeito funcionamento dos serviços essenciais à humanidade e ao próprio SEP.

Por isso, a monitoração de parâmetros fundamentais faz-se necessária por toda extensão de um SEP: geração, transmissão e distribuição. Por exemplo, na geração de energia elétrica, em usinas hidroelétricas, parâmetros como velocidade da turbina são monitorados e controlados constantemente. Na transmissão de energia elétrica, para que ocorra o despacho da energia gerada, parâmetros como fluxo de potência nas linhas de transmissão, devem ser monitorados. Já na distribuição, devido à proximidade com o consumidor, parâmetros como níveis de tensão são monitorados periodicamente.

Com o surgimento de medidores de energia - analisador de QEE - capazes de monitorar e capturar parâmetros, tais como: i) energia aparente, ativa e reativa; ii) fator de potência; iii) forma de onda da tensão e corrente; iv) transitórios de tensão e corrente; e v) espectro harmônico da tensão e corrente, está sendo possível, juntamente com os conceitos relacionados a QEE, analisar os fenômenos existentes e a interação desses com todas as cargas conectadas, tanto em um SEP, quanto em uma instalação elétrica de um consumidor. Assim, com o crescente número de pesquisas relacionadas ao desempenho de cargas lineares e não-lineares frente aos fenômenos de QEE, torna-se possível entender o comportamento de uma determinada carga, como um UPS, quando a mesma sofre um transitório impulsivo ou é alimentada por uma forma de onda da tensão com presença de harmônicos, por exemplo.

Assim, dentre as diversas cargas pesquisadas tais como motores e transformadores, escolheu-se os UPS estáticos. Apesar de esse equipamento ser muito utilizado em redes de baixa tensão ele é pouco explorado por pesquisadores, sob o ponto de vista da Qualidade de Energia. Com isso, a motivação para desenvolver este estudo se deu devido à necessidade de: especificar os equipamentos utilizados em redes estabilizadas de energia, redes supridas por estabilizadores e UPS; e entender fenômenos como o desligamento constante de fontes de computadores próximo a impressoras a *laser*, observados no dia-a-dia do meu trabalho. Outro aspecto relevante foi o contato diário com diversos tipos de UPS, sejam modernos ou antigos, que despertou a curiosidade sobre a resposta desses equipamentos frente aos inúmeros fenômenos de QEE, presentes em redes elétricas, aplicados na entrada desses equipamentos e a interação desses com as cargas que suprem.

Com essa idéia em mente, o uso de um Sistema de Aquisição de Dados (SAD) se fez necessário nessa dissertação, pois o seu “papel” se assemelha aos equipamentos de monitoração de uma UTI. Deste modo, capturando a tensão e a corrente (parâmetros) de entrada e saída de um UPS é possível avaliar o seu desempenho diante da adversidade de um fenômeno de QEE, cabe ressaltar que, nesse trabalho apenas os parâmetros supracitados foram analisados. Entretanto, diversos parâmetros internos e externos ao equipamento podem ser monitorados, tais como: tensão na bateria, temperatura no retificador, temperatura no inversor, ruído sonoro entre outros. Ainda que, a limitação no uso de um SAD encontre-se no número de parâmetros (canais de entrada) a serem monitorados e na capacidade de processamento dos dados adquiridos.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é apresentar métodos de ensaios que permitam avaliar o desempenho de cada topologia de UPS estático: *Passive Standby*, Linha Interativa e Dupla Conversão, frente aos fenômenos de QEE. E também classificar essas topologias sob o ponto de vista da QEE. Com isso, é possível definir, por meio das características de cada carga (curva CBEMA), se o UPS é capaz de fornecer à carga uma forma de onda da tensão dentro dos limites aceitáveis para o bom funcionamento da mesma.

O segundo capítulo engloba todos os aspectos teóricos importantes para o entendimento do escopo dessa dissertação. Inicialmente, a revisão bibliográfica trata da importância do uso de UPS em determinadas instalações e breves conceitos sobre os tipos de UPS. Na seção

seguinte, são abordados aspectos de normalização, os quais apresentam as dificuldades geradas pela falta de padronização em décadas anteriores e as melhorias advindas após a criação de normas aplicadas aos UPS estáticos. Nas seções posteriores são inseridos breves conceitos sobre a arquitetura de construção de um UPS e o funcionamento de cada topologia, ainda nesse capítulo são explorados conceitos e classificações relacionadas aos fenômenos de QEE, bem como a classificação e os limites recomendados (estabelecidos em normas) para análise de desempenho dos UPS. Finalmente, na última seção desse capítulo, é explorado o termo resiliência conhecido na física de materiais e adaptado ao contexto dessa dissertação.

O terceiro capítulo apresenta, na seção inicial, o Laboratório de Qualidade de Energia e a fonte geradora de distúrbios utilizada na formulação dos ensaios. Na seção posterior são apresentadas as características dos UPS escolhidos para os ensaios. Em seguida, é descrito o Sistema de Aquisição de Dados, em que é feita uma breve explicação de todos os componentes utilizados para confecção deste. Finalmente, na última seção desse capítulo tem-se a formulação de ensaios específicos para cada fenômeno de QEE, de acordo com a classificação e os conceitos explorados no capítulo anterior.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos e as discussões acerca dos UPS ensaiados. Na primeira seção, discorre-se sobre as análises dos resultados referentes à topologia *Passive Standby*, em que para cada fenômeno de QEE tem-se a noção de como essa topologia se comporta frente aos distúrbios aplicados. Do mesmo modo, as outras topologias são analisadas, semelhantemente, em seções posteriores.

O quinto capítulo apresenta uma visão geral deste trabalho de modo a fornecer subsídios para uma conclusão de todo o texto. Conseqüentemente, são apresentadas sugestões de pesquisas futuras a fim de dar continuidade ao tema abordado nesse trabalho, bem como algumas recomendações.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar conceitos relevantes acerca do funcionamento dos UPS, de modo a possibilitar uma análise posterior sob o ponto de vista da Qualidade de Energia Elétrica.

2.1- SISTEMAS ININTERRUPTOS DE ENERGIA

Com a evolução da tecnologia e, principalmente, da indústria eletroeletrônica, os equipamentos eletrônicos estão presentes em todos ou quase todos os setores da sociedade. Em setores essenciais à sociedade, tais como: telecomunicações, informática, saúde, transporte, financeiro, indústria e energia, há necessidade de que alguns equipamentos operem de modo adequado e ininterrupto, a fim de evitar falhas nos mesmos e possíveis danos aos consumidores.

É de conhecimento dos especialistas que a energia utilizada nas instalações elétricas desses consumidores não está livre de interrupções e distúrbios. Grosso modo, caracterizam-se as interrupções e os distúrbios como fenômenos de Qualidade da Energia Elétrica (QEE). Esses fenômenos estão presentes nas instalações elétricas tanto internas, quanto externas. Estas podem ser, por exemplo, as redes de distribuição de energia das concessionárias. Enquanto aquelas são as instalações elétricas a jusante do ponto de entrega. Portanto, as instalações elétricas de um consumidor, bem como os equipamentos a ela conectados estão susceptíveis aos fenômenos de QEE gerados externa ou internamente.

Pesquisa realizada pelo *European Copper Institute* apresenta algumas soluções adotadas pelos diversos setores da sociedade para eliminar ou mitigar os fenômenos de QEE, como mostra a figura 2.1. Para exemplificar, pode-se observar, nesta figura, que nas instalações bancárias, o uso de Sistemas Ininterruptos de Energia ou, em inglês, *Uninterruptible Power Systems* (UPS) é necessário em mais de sessenta por cento da carga total instalada. Pois, nesse tipo de instalação, é grande a quantidade de equipamentos sensíveis (cargas críticas) instalados nas centrais de processamento de dados e redes de computadores, os quais devem funcionar ininterruptamente de modo a evitar falhas nas transações bancárias nacionais e internacionais.

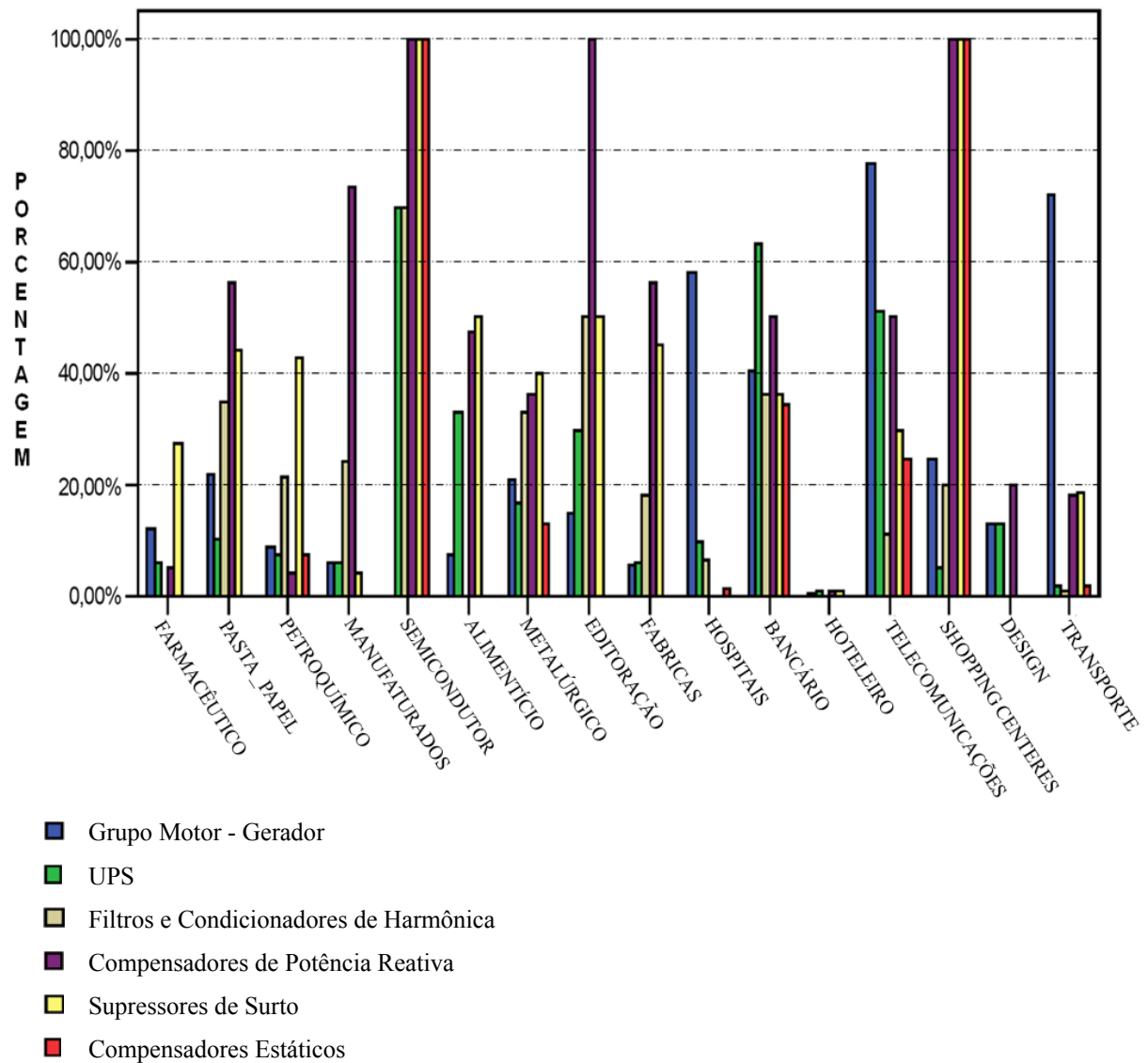


Figura 2.1 - Soluções adotadas para eliminar ou mitigar os fenômenos de QEE em setores da sociedade em porcentagem da carga total instalada. Fonte: (Manson, 2007) com modificações.

Os UPS podem ser classificados como fontes de energia secundária ou de emergência, pois quando fenômenos de QEE, provenientes de redes externas, prejudicam o funcionamento de cargas críticas, esses equipamentos assumem essas cargas, por meio da energia armazenada. Segundo King (2003), podem-se citar quatro razões básicas para a utilização de fontes de energia secundária ou de emergência, em algumas instalações, como:

Segurança Humana: instalações que alimentam equipamentos eletromédicos, sistemas de controladores de voo, instalações de usinas nucleares;

Segurança Nacional: sistemas de comunicação, instalações militares, controle do espaço aéreo;

Perdas de Dados: situações em que a perda de informações ou dados possam ser irreversíveis, por exemplo, em experimentos realizados em centros de pesquisas; e

Perdas Financeiras: processos industriais, instalações bancárias.

Os UPS são divididos em três tipos: dinâmicos (UPS rotativo), estáticos (UPS eletrônico) e híbridos (combinação das tecnologias dinâmica e estática). É comum, no Brasil, a utilização do termo "*No Break*" para referenciar os UPS estáticos. Como o objetivo dessa dissertação relaciona-se ao estudo dos UPS estáticos, será adotado o termo UPS para fazer referência a esse tipo de equipamento.

O crescente estudo dos fenômenos de QEE gerou novos questionamentos e preocupações, aos engenheiros, sendo que estas não mais se restringem apenas à falta de energia ou alimentação dos equipamentos essenciais (cargas sensíveis ou críticas). Agora, além de suprir a falta de energia, as soluções adotadas para eliminar ou mitigar os fenômenos de QEE devem garantir aos equipamentos essenciais que operem ininterruptamente de maneira adequada, e também evitar a injeção de distúrbios na rede de energia.

2.2 – NORMALIZAÇÃO DOS UPS ESTÁTICOS

Devido à diversidade de sistemas ininterruptos de energia - incluem-se todos os tipos e topologias de UPS presentes no mercado desde a década de 70 - e à falta de normas que estabelecessem terminologias para as topologias desses equipamentos, alguns termos utilizados pelos fabricantes daquela época causaram e ainda causam muita confusão aos usuários e aos próprios fabricantes como, por exemplo: UPS *on-line* e UPS *off-line*.

De acordo com Karve (2000), os reguladores observaram que o termo "*on-line*" significava "na rede ou ligado à rede" na literatura técnica. Na realidade, a construção desse termo se deu pela idéia de que os UPS alimentam a carga continuamente por meio do inversor

conectado em série com a rede CA, ou seja, o inversor permanece o tempo todo conectado à carga. Logo, o termo citado permite inferir uma situação contrária a apresentada pela figura 2.2, em que a carga é suprida pelo inversor e não pela rede de energia CA. O termo “*on-line*” foi, primeiramente, associado aos UPS de potência acima de 10 kVA.

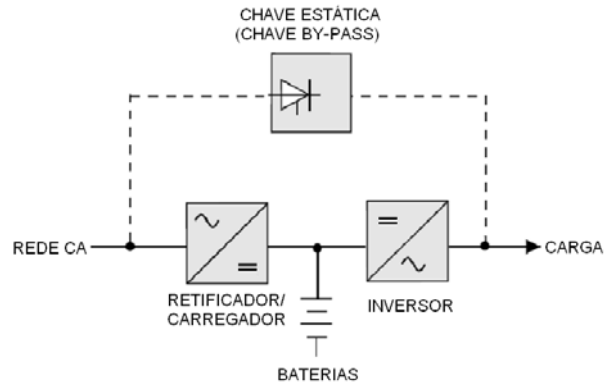


Figura 2.2 - Diagrama de blocos simplificado de um UPS *on-line*.

Fonte: (Karve, 2000) com modificações.

Com o crescente uso de computadores pessoais, na década de 80, os chamados UPS “*off-line*” foram desenvolvidos para atender a demanda destes equipamentos que possuem menor potência. Segundo Karve (2000), a literatura técnica define o termo “*off-line*” como “fora da rede ou desligado da rede”. Assim, a construção deste termo se deu pela idéia de que o inversor do UPS permanece desconectado da carga, enquanto a rede CA funciona adequadamente. Por isso, o termo citado permite inferir uma situação contrária a apresentada pela figura 2.3, em que a carga está conectada, diretamente, à rede CA através de um filtro. Já o inversor, o qual não opera continuamente, está conectado em paralelo com a carga e somente a supre quando ocorre algum problema na rede CA. O termo “*off-line*” foi, primeiramente, associado aos UPS de potência abaixo de 2 kVA.

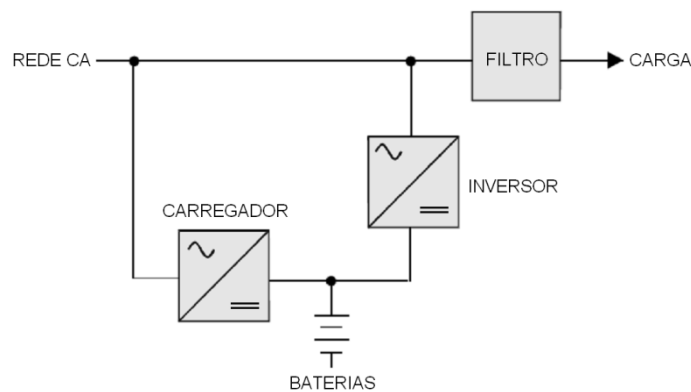


Figura 2.3 - Diagrama de blocos simplificado de um UPS *off-line*.

Fonte: (Karve, 2000) com modificações.

Na década de 90, com o desenvolvimento do inversor bidirecional, surge o termo “linha interativa ou interativo” (do inglês *Line Interactive*), este termo causou e ainda causa grande confusão devido à semelhança com a topologia “*off-line*”, pois o inversor bidirecional também está conectado em paralelo com a carga. Contudo, a principal diferença entre essas duas topologias é que o inversor está em sincronismo com a fase e com a frequência da rede para o caso da topologia linha interativa, ao contrário do que ocorre com a topologia “*off-line*”.

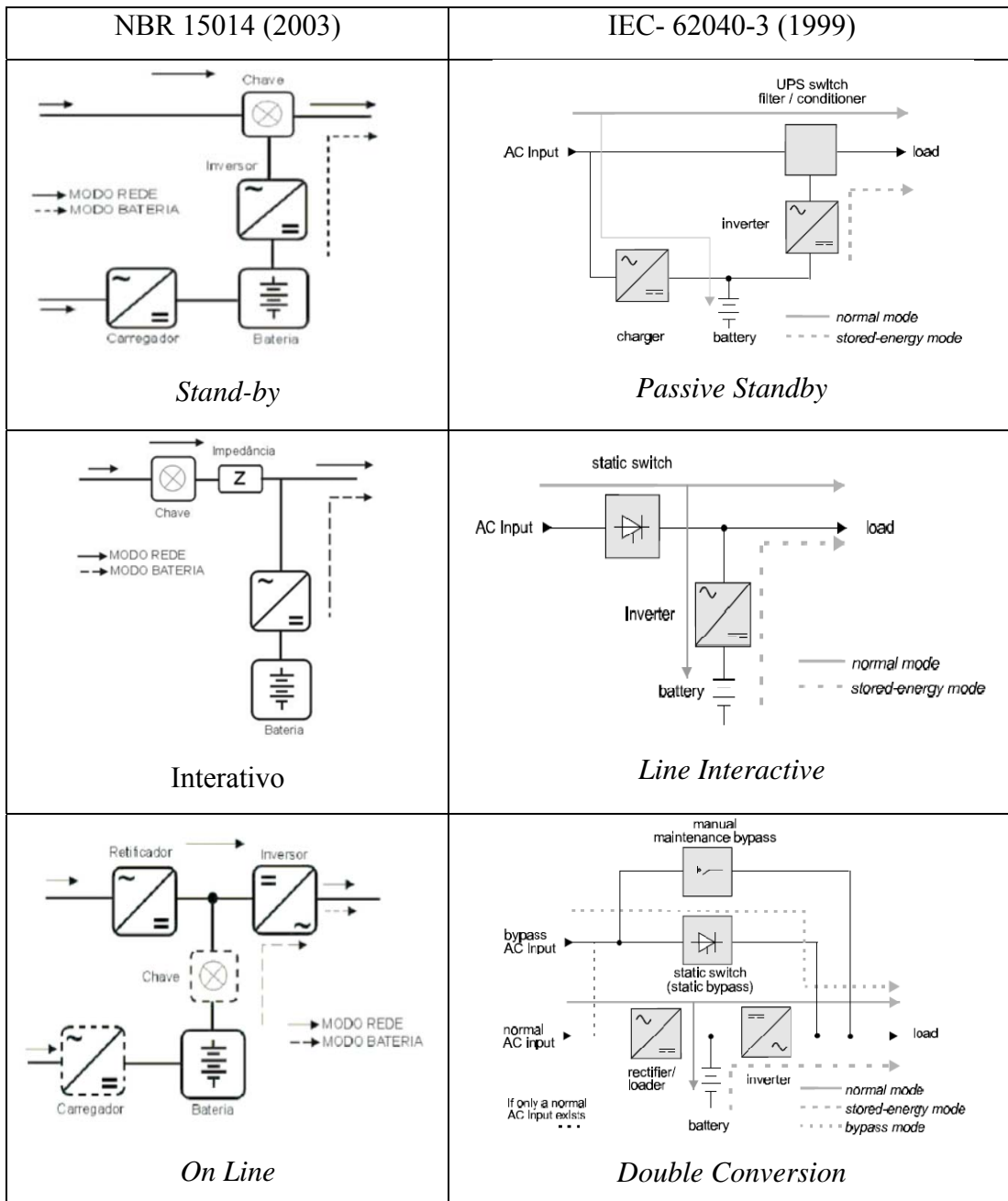
Nessa mesma década, a ausência de normas que estabelecesse as terminologias adequadas, os limites de desempenho e os requisitos básicos de segurança dos UPS estáticos, causou insatisfação em muitos fabricantes e consumidores. Uma vez que estes não sabiam qual fabricante estava realmente produzindo um equipamento ideal para sua necessidade. Enquanto que aqueles eram prejudicados por outros fabricantes que lançavam - e ainda lançam - no mercado produtos de má qualidade e com a mesma nomenclatura.

A fim de padronizar as topologias existentes e estabelecer, principalmente, os limites de desempenho desses equipamentos, a Comissão Eletrotécnica Internacional (do inglês *International Electrotechnical Commission* - IEC) desenvolveu uma norma específica para os UPS estáticos, IEC 62040-3/1999. Essa norma define os três tipos de topologias, que são: *Passive Standby*, Linha Interativa (do inglês *Line Interactive*) e Dupla Conversão (do inglês *Double Conversion*). O termo *Passive Standby* não será traduzido para o português, tendo em vista a falta de um termo específico. A norma também classifica o desempenho de cada topologia de acordo com os fenômenos de QEE presentes nas redes de energia CA, esse assunto será abordado detalhadamente no item 2.5.

No Brasil, a norma NBR 15014/2003 apenas define os três tipos de topologias, seguindo as mesmas topologias apresentadas pela IEC 62040-3, sendo que os termos utilizados pela norma brasileira são: *Standby*, Interativo e *On line*. Já a NBR 15204/2005 é a norma brasileira que estabelece os limites de desempenho e requisitos básicos de segurança dos UPS estáticos, até 3,0 kVA. Contudo, esta norma não possui a mesma classificação, quanto aos fenômenos de QEE utilizada pela IEC 62040-3.

A tabela 2.1 mostra os diagramas de blocos básicos das topologias utilizados pelas normas NBR 15014 e IEC 62040-3, em que fica evidente a utilização inadequada do termo “*on line*”, pela norma brasileira, atribuído à topologia Dupla Conversão. Logo, para não haver confusão, no decorrer deste texto, a nomenclatura utilizada será: *Passive Standby*, Linha Interativa e Dupla Conversão.

Tabela 2.1- Diagrama de blocos das topologias de UPS estáticos de acordo com a norma nacional e a norma internacional. Fonte: NBR 15014 e IEC 62040-3



A criatividade de alguns fabricantes aliada à falta de normas em décadas anteriores proporciona, atualmente, a difusão de uma variedade de termos utilizados, por exemplo: “quase *on line* UPS”, semi *on line* UPS, “senoidal interativo - regulação *on line*”, “senoidal *on-line* - simples conversão”, “senoidal *on-line* – dupla conversão”, “true *on line* UPS”, “tripla conversão”, entre outros.

Desta forma, as normas atuais - específicas aos UPS - visam à padronização de terminologias, limites de desempenhos, limites de segurança e conceitos importantes para melhor entendimento dos UPS. A dificuldade de estabelecer, principalmente, os limites de desempenho gera diversos questionamentos sobre as metodologias aplicadas para estabelecer esses limites, já que o contexto aplicado no desenvolvimento de algumas metodologias limita-se ao desempenho do condicionamento da forma de onda da tensão. Entretanto, quando se analisa limites de desempenhos em UPS o contexto deve ser modificado, devido a sua duplicidade de interação com a rede CA, pois o mesmo pode ser visto como uma carga ou como uma fonte.

A inserção de normas - específicas aos conceitos QEE - que classificam e estabelecem os limites adequados para cada fenômeno de QEE nos Sistemas de Potência possibilita o desenvolvimento de metodologias de limites de desempenho aplicadas aos UPS. O conhecimento dessas normas permite a classificação dos UPS frente aos fenômenos de QEE e a verificação dos limites adequados ao funcionamento do equipamento. Assim, esta dissertação visa analisar a aplicação desses limites de QEE, a partir de métodos de ensaios criados para verificar se os limites aplicados serão adequados ao funcionamento do UPS, levando em conta a sua duplicidade de interação com a rede CA.

2.3 – ARQUITETURA DOS UPS ESTÁTICOS

Conforme observado nos diagramas de blocos da tabela 2.1, percebe-se que os UPS possuem topologias distintas formadas pela conexão de quatro componentes básicos:

- Chave de transferência;
- Retificador ou carregador de bateria;
- Bateria; e
- Inversor.

Outros componentes como supressores de surto, filtros de linha, transformadores isoladores também são freqüentemente utilizados na construção de UPS, principalmente, quando o objetivo é obter um melhor desempenho de topologias susceptíveis aos fenômenos de QEE, provenientes da rede de energia CA. A figura 2.4 mostra a inserção de alguns dos componentes citados na topologia *Passive Standby* para melhorar o desempenho dessa topologia frente aos fenômenos de QEE presentes na rede CA.

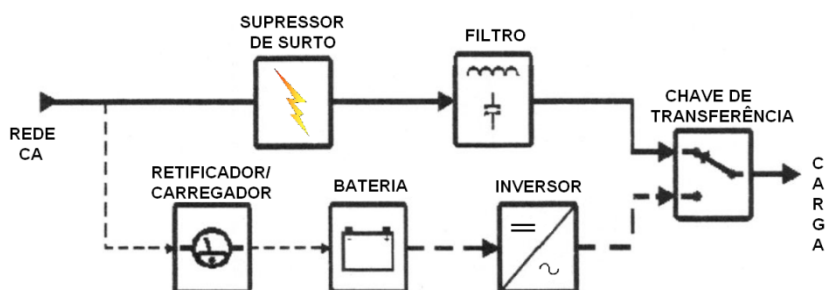


Figura 2.4 – Diagrama básico da topologia *Passive Standby*, com componentes que melhoram seu desempenho frente a fenômenos de QEE.

2.3.1- Chave de transferência

A chave de transferência é o dispositivo responsável pela transferência de uma ou mais cargas conectadas a uma fonte de energia principal (rede de energia CA) para outra fonte de energia secundária. A chave de transferência pode ser tanto automática quanto manual.

Os UPS podem utilizar a chave manual para fins de manutenção e (ou) a automática para realizar o chaveamento entre a rede de energia CA e as baterias, e também para fins de proteção do UPS.

Com a evolução da eletrônica de potência, passou-se a utilizar dispositivos estáticos como tiristores e triacs (chaves estáticas) para realizar as transferências automáticas e manuais. Entretanto, alguns fabricantes ainda utilizam chaves eletromecânicas (contatores) para realizar a transferência manual e as chaves estáticas para realizar a transferência automática.

2.3.2 – Retificador ou Carregador de Bateria

O retificador é um circuito que realiza a conversão da energia elétrica de corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC), a fim de entregar à bateria uma tensão CC, com nível de ondulação (*ripple*) o menor possível.

Segundo a norma IEEE 1184 (2006), *Guide for Batteries for Uninterruptible Power Supply Systems*, o valor recomendado para ondulações (*ripple*) de tensão CC, entregue à bateria do UPS, não deve ultrapassar o limite de 3,5% do valor nominal da tensão CC, já que as ondulações fora dessa faixa causam a diminuição da vida útil das baterias. Por isso, o circuito retificador, aplicado aos UPS modernos, deve apresentar um bom desempenho na conversão da energia CA para CC e também alimentar a bateria com níveis de ondulação aceitáveis. Existem vários modelos de circuitos retificadores, que são classificados da seguinte maneira:

- Forma de onda na tensão de saída (carga): meia onda ou onda completa;
- Controle do disparo dos semicondutores: controlado, semicontrolado e não controlado; e
- Número de fases retificadas: monofásica, bifásica e trifásica.

Segundo Figueira (2005), um circuito retificador, aplicado aos UPS, é composto por uma ponte retificadora monofásica, bifásica ou trifásica; filtro de corrente; e circuito de controle responsável pela geração dos pulsos de disparos e controle da tensão, corrente e alarmes.

A figura 2.5 mostra o circuito básico de um retificador trifásico com controle PWM. Segundo Rashid (1999), no controle da modulação por largura de pulsos, (do inglês *Pulse Width Modulation* - PWM), as chaves do conversor são ligadas e desligadas várias vezes durante um semiciclo e a tensão de saída é controlada pela variação da largura dos pulsos. Os sinais de gatilho são gerados através da comparação de uma onda triangular com um sinal CC.

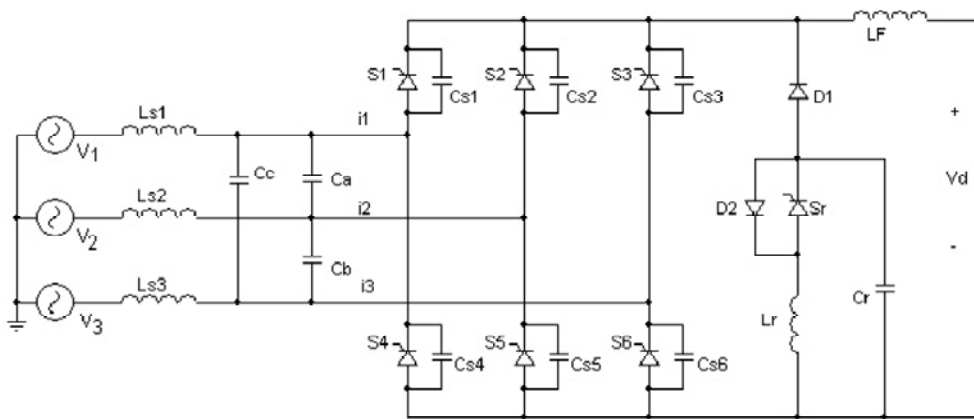


Figura 2.5– Retificador trifásico controlado por modulação por largura de pulsos.

Fonte: (Pomilio, 2007).

2.3.3 – Baterias

As baterias são essenciais para o objetivo final dos UPS, tendo em vista que na hipótese de falha da rede ou interrupção da energia, a bateria supre, por meio do inversor, a energia necessária para manter o funcionamento adequado da carga.

A bateria é formada por um conjunto de elementos acumuladores ou células, que são capazes de armazenar cargas elétricas. O acúmulo de cargas elétricas é devido a reações químicas, que ocorrem entre os eletrodos e os eletrólitos quando há passagem de corrente contínua entre os pólos negativos e positivos (eletrodos) da bateria.

Por existir uma infinidade de aplicações, o número de baterias utilizadas em um UPS depende da potência deste e da autonomia desejada (tempo de descarga da bateria). Assim, por exemplo, pode-se usar para aplicações domésticas UPS que possuem apenas uma bateria, já em aplicações industriais, utilizam-se dezenas de baterias para alimentar as cargas críticas. Normalmente, os UPS de grande potência são alimentados por uma associação de baterias ou banco de baterias.

Os fabricantes de UPS definem o número de baterias usadas a partir das especificações do retificador e do inversor utilizado no projeto do equipamento e, também, da necessidade de autonomia requisitada pelo usuário.

De acordo com a norma IEEE 1184 (2006), *Guide for Batteries for Uninterruptible Power Supply Systems*, os tipos de baterias recomendados para os UPS são listados a seguir e a figura 2.6 mostra uma bateria selada, normalmente, utilizada em UPS de baixa potência.

- Chumbo - ácida ventilada (VLA - *Vented lead-acid*);
- Chumbo - ácida regulada por válvula (VRLA - *Valve-regulated lead-acid*);
- Níquel – Cádmio ventilada (*Vented Ni-Cd*); e
- Níquel – Cádmio selada (*Sealed Ni-Cd*).



Figura 2.6 – Exemplo de uma bateria selada.

Fonte: Power Sonic.

Com intuito de manter o bom funcionamento, o rendimento e a durabilidade dos elementos de uma bateria, alguns parâmetros físicos e elétricos, determinados pelos fabricantes de baterias, devem ser seguidos pelos fabricantes de UPS quando projetam o circuito retificador. Assim, limites de tensão de carga da bateria, tensão de flutuação, tensão final de descarga, temperatura e capacidade de corrente da bateria são considerados parâmetros importantes para a definição do projeto de um UPS. A tabela 2.2 apresenta os valores dos parâmetros, relacionados à tensão, para cada tipo de célula de bateria especificada pelos fabricantes, sendo que a temperatura ambiente é 25° C [Figueira, 2005].

Tabela 2.2– Parâmetros elétricos aplicados às células dos tipos de baterias usadas em UPS.

	VLA	VRLA	Ni-Cd ventilada	Ni-Cd selada
Tensão de Flutuação	2,20V/célula	2,27 V/célula a 2,30V/célula	2,20 V/célula	2,27 V/célula a 2,30V/célula
Tensão de Carga da Bateria	2,40 V/célula	2,40 V/célula	2,40 V/célula	2,45 V/célula
Tensão final de descarga	1,75 V/célula	1,75 V/célula	1,75 V/célula	1,75 V/célula

2.3.4 – Inversores

O inversor é um circuito que realiza a conversão de energia CC em CA para entregar à carga uma tensão de valor eficaz e frequência determinadas. A forma de onda da tensão entregue à carga depende do tipo do inversor e da tecnologia empregada na conversão. Normalmente, classifica-se um inversor conforme o número de fases, dispositivo semicondutor utilizado (tiristor, BJTs, MOSFETs, IGBTs), modulação empregada e forma de onda da saída.

Os inversores são utilizados em diversas aplicações na indústria, tais como: controle de velocidade para motores síncronos e de indução; fontes alternativas de energia (Eólica e Solar); fontes de alimentação de aeronaves; UPS; e transmissão de energia em corrente contínua. A figura 2.7 mostra a configuração básica de um inversor trifásico utilizado, por exemplo, em UPS.

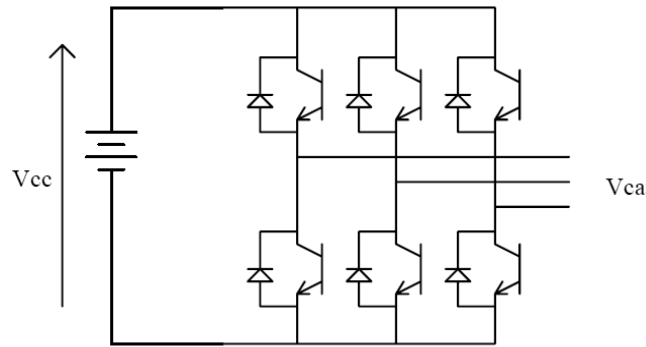


Figura 2.7– Circuito de potência de um inversor trifásico.

O objetivo principal do inversor é fornecer uma forma de onda de tensão que permita o funcionamento adequado da carga. Logo, a tecnologia empregada e o dispositivo semiconductor utilizado influenciam no custo de fabricação do circuito inversor. Por exemplo, se o inversor estiver alimentando uma carga não-crítica, como um computador pessoal, um inversor de onda quadrada (baixo custo) satisfaz a necessidade de funcionamento da carga. Em contrapartida, se o inversor estiver alimentando uma carga crítica, como um equipamento de automação industrial, o inversor utilizado deve ser do tipo senoidal (alto custo).

Como os UPS de topologia *Passive Standby* alimentam cargas não-críticas e de baixa potência, alguns fabricantes ainda utilizam inversores que fornecem à carga uma forma de onda de tensão quase-quadrada, na hipótese de falha da rede de energia CA. Esse tipo de inversor pode ser utilizado para alimentar computadores de uso pessoal, por exemplo, já que os mesmos possuem fontes chaveadas responsáveis pela conversão da energia CA em CC, no seu estágio de entrada. Entretanto, uma fonte chaveada suprida por uma onda quase-quadrada produz uma corrente com componentes harmônicas que provocam aquecimento nos transformadores e nos indutores eventualmente presentes. Contudo, como é curto o prazo de atuação do inversor (até o restabelecimento da energia CA) para esse tipo de topologia de UPS não ocorrem maiores problemas.

Para os UPS Dupla Conversão, as técnicas de construção do circuito inversor são mais complexas, pois as cargas que esses equipamentos alimentam exigem uma forma de onda da tensão senoidal. Os circuitos inversores fabricados com tiristores e diodos, modulados

por largura de pulso, foram amplamente utilizados na montagem de UPS Dupla Conversão por apresentarem na saída uma forma de onda da tensão com baixa distorção harmônica. Contudo, os fabricantes de inversores modernos preferem o uso de transistores bipolares de porta isolada (IGBTs), ao invés de tiristores.

Em suma, com a evolução dos dispositivos semicondutores utilizados no ramo da eletrônica de potência, e principalmente com o surgimento dos IGBTs, os circuitos inversores fabricados com estes dispositivos são capazes de entregar à carga uma forma de onda da tensão com níveis mínimos de harmônico, na ordem de 1% de distorção harmônica.

2.4 – TOPOLOGIA DOS UPS ESTÁTICOS

Este item tem por objetivo explicar o funcionamento e a construção de cada topologia de UPS, de modo a apresentar quais são as aplicações mais comuns, as vantagens e as desvantagens de cada topologia.

2.4.1 – Topologia *Passive Standby*

Na topologia *Passive Standby*, há dois modos de funcionamento: modo normal e modo bateria. A figura 2.8 mostra a operação desse UPS no modo normal, em que a carga é alimentada diretamente pela rede de energia CA através de uma chave de transferência (atualmente, essa chave pode ser estática). Por isso, alguns fabricantes utilizam filtros e condicionadores de energia a fim de eliminar ou mitigar possíveis distúrbios e regular a tensão na saída dos UPS (tensão na carga). Ainda no modo normal, a bateria é carregada constantemente por um retificador (CA/CC) e o inversor permanece em espera.

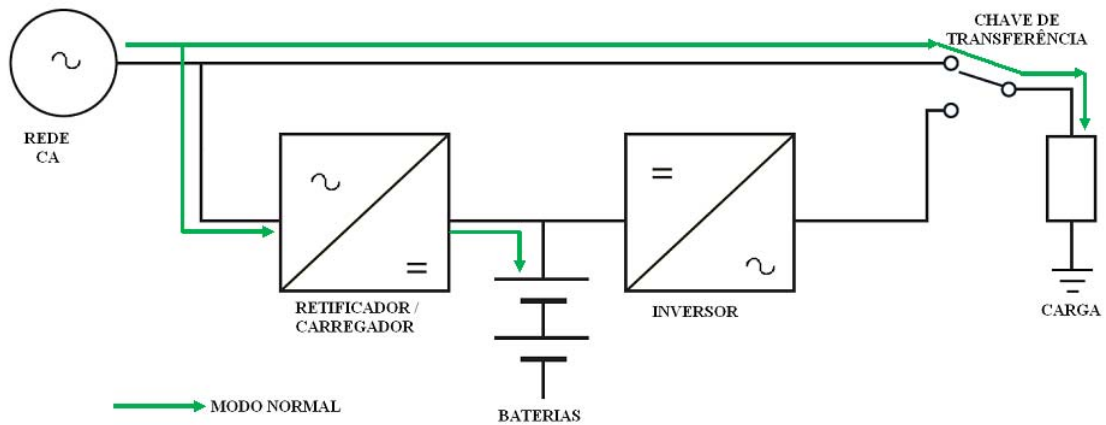


Figura 2.8– Diagrama de blocos dos UPS *Passive Standby*, funcionando no modo normal.

Segundo Karve (2000), a norma IEC 62040-3 não menciona a utilização de filtro ou condicionadores, apenas comenta sobre a chave de transferência (ver tabela 2.1). No entanto, a utilização desses dispositivos pode ser incorporada para prover o condicionamento de energia (regulação da tensão de saída), por exemplo: transformador ferromagnético ou transformador com *tap* automático. Todavia, a inserção desses dispositivos no ramo de conexão com a carga eleva o custo da fabricação desses equipamentos.

Quando a tensão de entrada ultrapassa uma determinada faixa de tolerância ou quando há interrupção de energia, o circuito de controle do equipamento detecta esse evento e aciona a chave de transferência para que a carga seja alimentada pela bateria (CC) por meio do inversor (CC/CA), como mostra a figura 2.9. Enquanto a bateria estiver alimentando a carga diz-se que o UPS está operando no modo bateria.

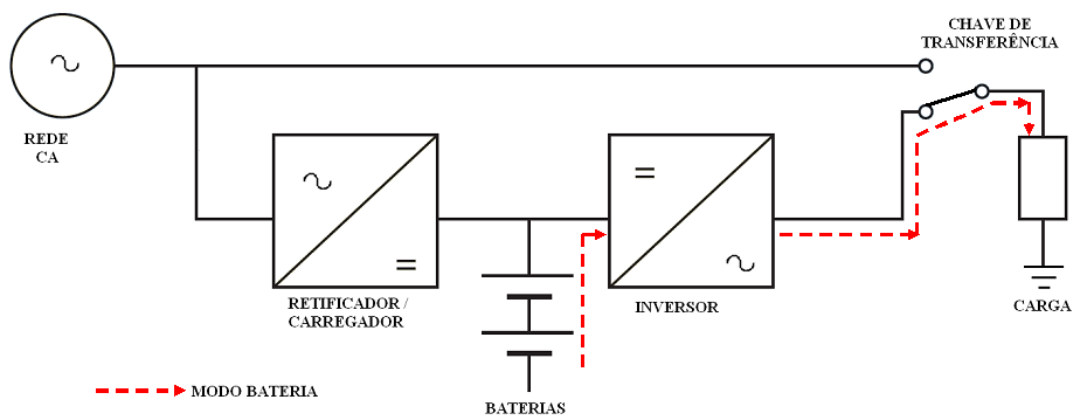


Figura 2.9– Diagrama de blocos dos UPS *Passive Standby*, funcionando no modo bateria.

Segundo Karve (2000), a norma IEC 62040-3 não menciona um tempo máximo de transferência do modo normal para o modo bateria. Todavia é recomendado que o tempo de transferência não prejudique o funcionamento da carga, a qual deve fornecer energia durante o período de transferência, como fontes chaveadas de computadores pessoais, que suprem a energia consumida através de capacitores. Atualmente o tempo típico de transferência para essa topologia de UPS é de aproximadamente 10 ms. Ainda no modo bateria, o inversor supre a carga enquanto houver energia armazenada na bateria, ou então, quando a tensão da rede de energia CA restabelecer a faixa de tolerância limite de tensão adequada, determinada pelo circuito de controle do equipamento.

A escolha pelo uso da topologia *Passive Standby* deve ser analisada de forma a avaliar a relação estabelecida entre o nível de proteção, que se deseja para a carga, e o custo do UPS em relação às outras topologias. Assim, as vantagens da utilização dessa topologia são:

- Projeto simplificado dos circuitos retificador, inversor e controle;
- Baixo custo de fabricação se comparado com outras topologias;
- Dimensão reduzida do equipamento; e
- Alto rendimento na transferência de energia à carga quando o UPS estiver operando no modo normal.

Contudo, verifica-se na figura 2.8 que a carga está diretamente conectada à rede CA. Com isso, a carga fica exposta aos distúrbios indesejáveis como: variações de tensão e frequência, distorções harmônicas, entre outros. Conseqüentemente, as desvantagens na utilização dessa topologia estão associadas a:

- Não-regulação da tensão de saída;
- Não-regulação da frequência de saída;
- Não-isolação da carga;

- Forma de onda da tensão de saída, entregue a carga, é normalmente quase-quadrada;
- Baixa eficiência quando supre cargas não-lineares; e
- Tempo de transferência do modo normal para o modo bateria.

Essa topologia é bastante utilizada em equipamentos eletrônicos que possuem fontes chaveadas como computadores e impressoras, cuja potência não ultrapasse 2,0 kVA. Essas fontes, tanto são responsáveis por suprir a energia necessária aos circuitos (placas eletrônicas) no momento em que ocorre a transferência do modo normal para o modo bateria, quanto conseguem suportar pequenas variações de tensão e frequência. A figura 2.10 apresenta um UPS *Passive Standby*. Observa-se que as dimensões reduzidas do equipamento constituem uma das vantagens para que esse produto atinja o objetivo ao qual se destina, ou seja, o mercado doméstico.



Figura 2.10– Modelo de UPS *Passive Standby*.

Fonte: APC

2.4.2 – Topologia Linha Interativa

Na topologia Linha Interativa, o inversor (conversor estático) é bidirecional, ou seja, atua como um retificador CA/CC, no modo normal, e como inversor CC/CA, no modo bateria. O emprego de um conversor estático reduz as perdas de energia e aumenta a eficiência dos UPS, tendo em vista que existe um único estágio de conversão da energia.

A norma IEC 62040-3 define três modos de operação: modo normal, modo bateria e modo *by-pass*. No modo normal, figura 2.11, a carga é alimentada pela rede de energia CA por meio de um condicionador de energia (indutor de acoplamento, regulador de tensão ou transformador), conectado ao ramo principal, entre a rede CA e a carga. Verifica-se que o inversor bidirecional alimentará a bateria enquanto o UPS estiver operando no modo normal.

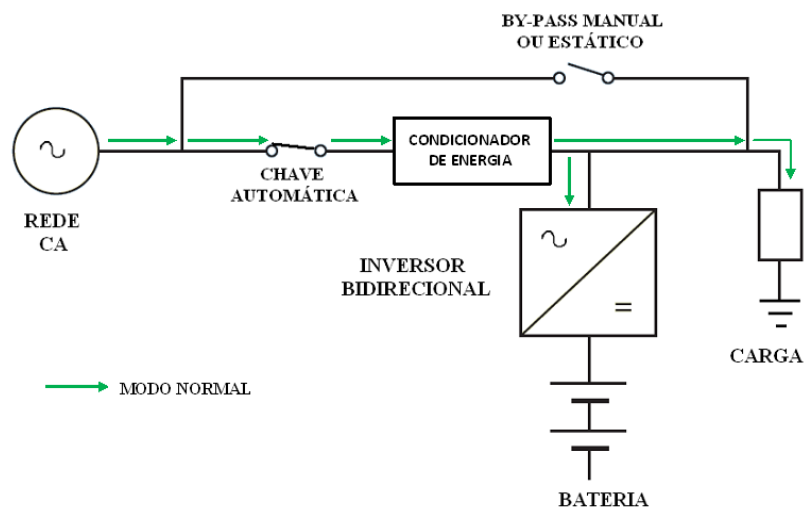


Figura 2.11– Diagrama de blocos dos UPS Linha Interativa, funcionando no modo normal.

Quando a tensão de entrada ultrapassa uma determinada faixa de tolerância ou ocorre uma interrupção, o sistema de controle do equipamento transfere, através da chave de transferência, a carga para o modo bateria, figura 2.12. Nesse modo, a bateria fornece energia à carga por meio do inversor bidirecional. Com intuito de evitar o fluxo de energia no sentido da rede, o sistema de controle também desconecta a rede de energia CA.

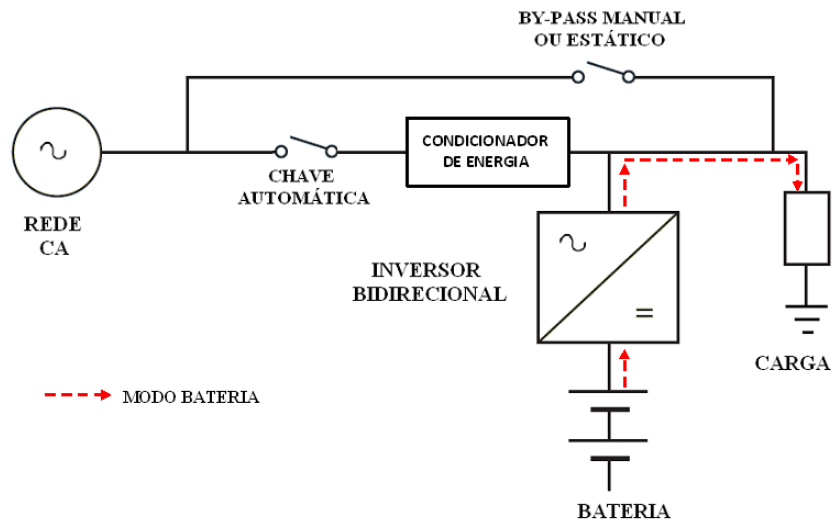


Figura 2.12– Diagrama de blocos dos UPS Linha Interativa, funcionando no modo bateria.

O modo *by-pass* é o terceiro modo definido pela norma IEC 62040-3. Este modo de operação é utilizado para fins de manutenção dos UPS ou para fins de proteção, por exemplo, quando há algum dispositivo interno com defeito que prejudique o funcionamento do equipamento.

A transferência da carga para o modo *by-pass* pode ser manual, quando se deseja realizar manutenção nos UPS ou automático, quando o sistema de controle detecta algum tipo de defeito interno ao UPS ou sobrecarga no ramo principal, como mostra a figura 2.13, em que a carga é suprida pela rede CA por um ramo secundário (ramo *by-pass*).

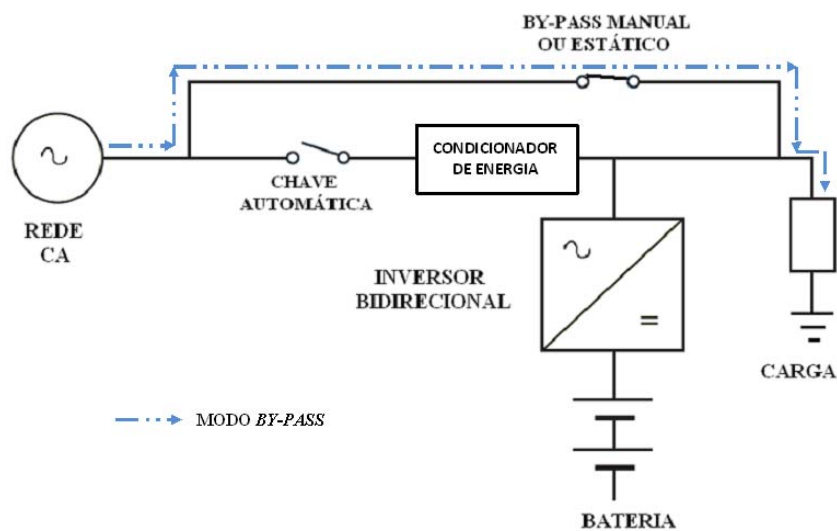


Figura 2.13– Diagrama de blocos dos UPS Linha Interativa, funcionando no modo *by-pass*.

A escolha pelo uso da topologia *Linha Interativa* deve ser analisada de forma a avaliar a relação estabelecida entre o nível de proteção, que se deseja para a carga, e o custo do UPS em relação às outras topologias. Assim, as vantagens da utilização dessa topologia são:

- Melhor desempenho se comparado com a topologia *Passive Standby*;
- Melhor isolamento se comparado com a topologia *Passive Standby*;
- Melhor regulação da tensão de saída se comparado com a topologia *Passive Standby*;
- Baixo custo de fabricação se comparado com UPS Dupla Conversão de mesma potência;
- Dimensão reduzida do equipamento se comparado com UPS Dupla Conversão de mesma potência; e
- Alto rendimento na transferência de energia à carga quando o UPS estiver operando no modo normal.

Contudo, verifica-se na figura 2.11 que a carga está conectada com a rede através de condicionadores de energia. Por isso, a carga ainda não está totalmente imune aos distúrbios indesejáveis como: variação de frequência, transitórios impulsivos, distorções harmônicas, entre outros. Conseqüentemente, as desvantagens na utilização dessa topologia estão associadas a:

- Regulação da tensão de saída limitada pelo condicionador de energia;
- Não-regulação da frequência de saída;
- Isolamento limitada fornecida à carga;

- Baixa eficiência quando supre cargas não-lineares; e
- Tempo de transferência do modo normal para o modo bateria.

Os UPS Linha Interativa são usados, principalmente, para alimentar cargas de baixa e média potência, como redes de computadores e pequenas centrais telefônicas. No Brasil, essa topologia é amplamente utilizada em instalações residenciais e comerciais, visto que a fabricação da topologia concorrente (*Passive Standby*) é praticamente inexistente no país ou pelo menos os fabricantes não declaram que esses equipamentos pertençam a esta topologia. A figura 2.14 mostra um UPS Linha Interativa.



Figura 2.14– Modelo de UPS Linha Interativa. Fonte: APC

Diante do que foi dito, conclui-se que os UPS Linha Interativa não são recomendados para alimentar cargas sensíveis de baixa e média potência, tendo em vista que apresentam falhas de proteção e regulação na frequência de saída. Normalmente, os UPS dessa topologia são fabricados para potências de até 10 kVA.

2.4.3 – Topologia Dupla Conversão

A terceira topologia de UPS apresentada pela norma IEC 62040-3 é a chamada Dupla Conversão, que comumente é conhecida e comercializada pelo termo “on-line”. Entretanto, como a carga não está conectada diretamente à rede de energia CA, e sim ao inversor, esse termo não é recomendado pela norma IEC 62040-3, embora a norma NBR 15014 o utilize de maneira inadequada.

Do mesmo modo que na topologia Linha Interativa, a norma IEC 62040-3 define três modos de operação para a topologia Dupla Conversão: modo normal, modo bateria e modo *by-pass*. No modo normal, a energia elétrica é duas vezes convertida, visto que quando atravessa o retificador é convertida de CA para CC (1ª conversão) e quando atravessa o inversor é convertida de CC para CA (2ª conversão), fato este que explica a nomenclatura utilizada pela norma. Verifica-se na figura 2.15 que o inversor é conectado em série entre a rede de energia CA e a carga, logo esta é uma característica importante para diferenciar essa topologia das demais.

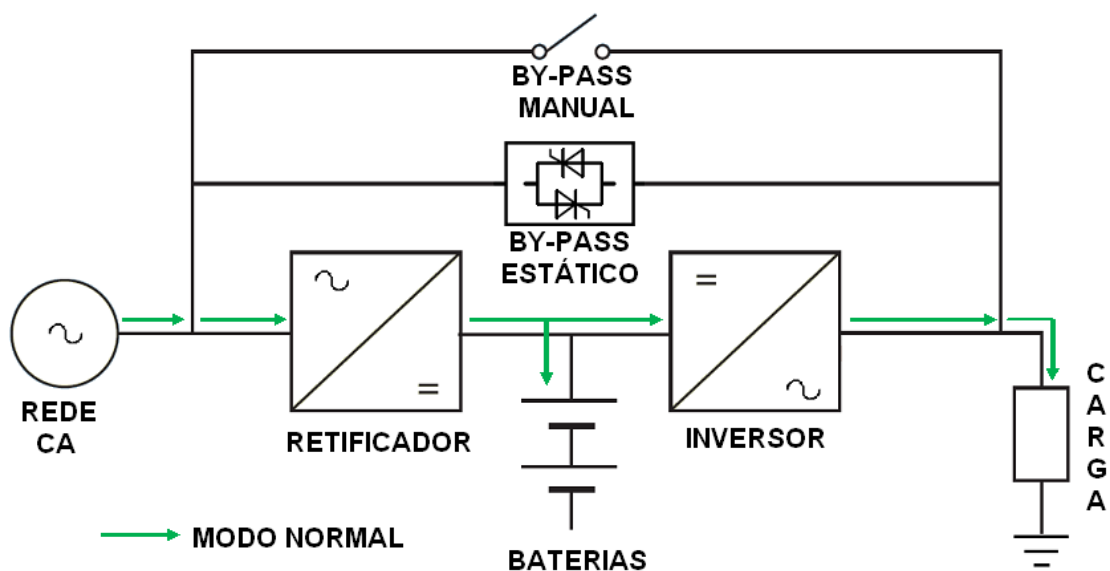


Figura 2.15– Diagrama de blocos dos UPS Dupla Conversão, funcionando no modo normal.

Quando a rede de energia CA sofre alguma interrupção ou quando a tensão de entrada ultrapassa uma determinada faixa de tolerância, estabelecida pelo sistema de controle do UPS, o sistema de controle transfere a carga para o modo bateria (figura 2.16). Devido ao

fato de a bateria estar conectada em paralelo com o barramento CC, a transferência do modo normal para o modo bateria e vice-versa não é sentida pela carga.

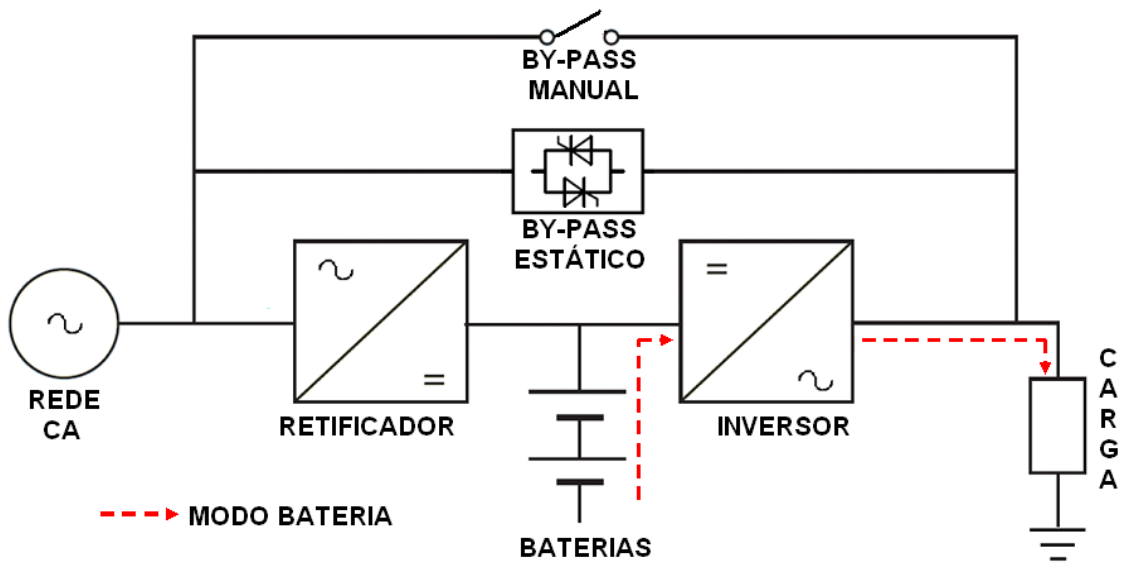


Figura 2.16– Diagrama de blocos dos UPS Dupla Conversão, funcionando no modo bateria.

Segundo Karve (2000), essa topologia é equipada por uma chave estática *by-pass* (*by-pass static*), a qual permite a transferência automática da carga para a rede de energia CA (figura 2.17). Esse tipo de dispositivo é importante nas seguintes hipóteses: mau funcionamento de dispositivos internos; distúrbios transitórios (corrente de *in-rush* ou curto-circuito); subtensões; e falta de carga na bateria, já que a chave estática atua para proteger o UPS, mantendo o funcionamento da carga. Em casos de manutenção, a transferência é realizada manualmente (figura 2.18).

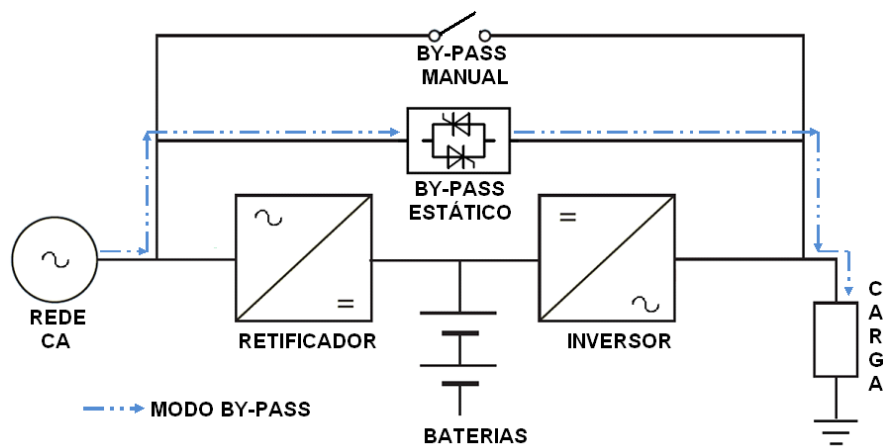


Figura 2.17– Diagrama de blocos dos UPS Dupla Conversão, funcionando no modo *by-pass* automático.

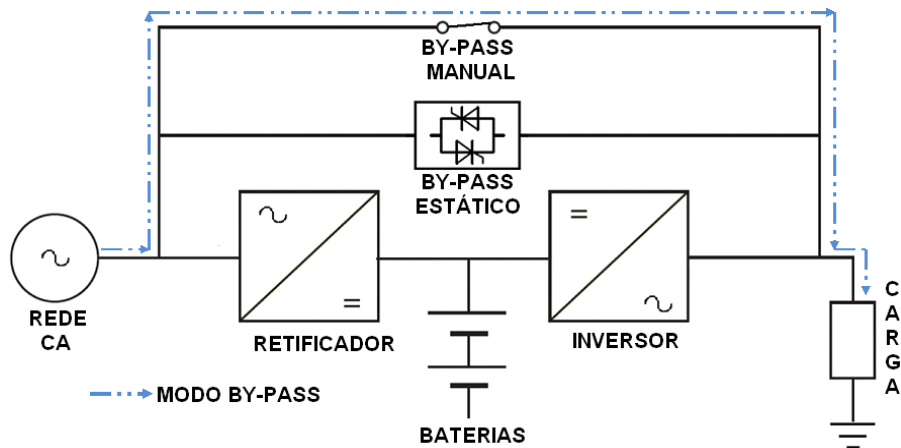


Figura 2.18– Diagrama de blocos dos UPS Dupla Conversão, funcionando no modo *by-pass* manual.

Em virtude de a carga ser alimentada diretamente pelo inversor, tanto no modo normal quanto no modo bateria, os distúrbios presentes na entrada do equipamento não são transmitidos para carga. Assim, as vantagens da utilização dessa topologia são:

- Isolação da carga frente aos fenômenos de QEE presentes, na rede CA;
- Limites de tensão de entrada maiores;
- Ótima regulação da tensão na saída do equipamento;
- Excelente regulação na frequência de saída do UPS, e segundo Karve (2000), se desabilitarmos a chave estática o equipamento pode trabalhar como um conversor de frequência;
- Em caso de interrupção da tensão da rede de energia CA, a transferência para o modo bateria é instantâneo, não perceptível pela carga; e
- Em caso de defeito interno no equipamento a transferência para o modo *by-pass* não é sentida pela carga.

As desvantagens na utilização dessa topologia são:

- Alto custo devido à complexidade do projeto, construção e também pela utilização de dois conversores em série;
- Devido à dupla conversão da energia, o rendimento do UPS é menor se comparado com as outras topologias; e
- Na falta da chave de transferência estática, a confiabilidade do equipamento é comprometida.

Os UPS que utilizam a tecnologia da Dupla Conversão são considerados pela norma IEC 62040-3 como sendo os mais completos dentre todas as topologias, pois suprem todas as necessidades que as chamadas cargas sensíveis precisam, tais como: proteção, regulação da tensão e da frequência. Normalmente, são empregados para alimentar cargas de média e grande potência como, centrais de processamento de dados (CPD), tendo em vista que, geralmente, são fabricados para potências acima de 10 kVA. A figura 2.19 mostra um UPS Dupla Conversão.



Figura 2.19– Modelo de UPS Dupla Conversão. Fonte: APC

Embora o uso dos UPS Dupla Conversão seja, usualmente, projetado para suprir grandes potências, é possível observar (figura 2.20) que a faixa de potência desta topologia, atualmente, possa atingir potências menores. Já que, o uso de equipamentos eletroeletrônicos abrange, como mostra a figura 2.21, uma variedade de cargas sensíveis em que essa topologia é utilizada.

	0.5 kVA	1.5kVA	3kVA	10kVA	100 kVA	>1000kVA
Passive Standby						
Linha Interativa						
Dupla Conversão						

Figura 2.20– Faixa de potência típicas de uso das topologias dos UPS

	Passive Standby	Linha Interativa	Dupla Conversão
Computadores Pessoais			
Equipamentos de Redes de computadores			
Centrais de Processamento de Dados			
Indústria			
Centrais de Telecomunicações			

Figura 2.21– Aplicações típicas de uso das topologias dos UPS

2.5 – CONCEITOS DE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA APLICADOS AOS SISTEMAS ININTERRUPTOS DE ENERGIA

O objetivo desse item é abordar os conceitos relacionados à Qualidade da Energia Elétrica aplicados aos UPS estáticos. Com isso, são apresentadas: a importância da QEE atualmente; as definições da QEE segundo o ponto de vista dos agentes envolvidos; a classificação dos fenômenos de QEE segundo a norma IEEE 1159-1/1995; a classificação do UPS frente aos fenômenos de QEE segundo a norma IEC 62040-3; parâmetros e limites recomendados em normas de QEE; e conceitos de resiliência.

2.5.1 – Qualidade da Energia Elétrica

As preocupações com os distúrbios existentes nos Sistemas Elétricos fizeram com que surgisse a necessidade de estudos relacionados à Qualidade da Energia Elétrica (QEE) entregue aos consumidores. A partir dos estudos realizados criou-se o termo QEE, tanto para aludir os distúrbios (causas e conseqüências) que prejudicavam o funcionamento dos equipamentos conectados às redes elétricas, quanto para classificá-los. Atualmente, os pesquisadores apontam a necessidade de que os fenômenos relacionados à QEE sejam analisados segundo o ponto de vista dos agentes envolvidos - concessionárias, consumidores, reguladores e fabricantes.

No âmbito da Engenharia Elétrica, nas diversas áreas de pesquisa, os estudos relacionados à QEE encontram-se em grande ascensão, no Brasil e no exterior, haja vista a quantidade de grupos de pesquisa existentes no mundo, os inúmeros congressos nacionais e internacionais que englobam este tema (CBQEE, EPQU, ICHQP, ICREPQ entre outros) bem como seções que abordam o tema em conjunto com outras áreas (COBEP, SNPTEE, SEPOPE, SENDI, SBSE, CIRED, CBA, PES, APEC, IAS entre outros).

A Qualidade da Energia Elétrica ou, em inglês *Power Quality*, difundiu-se rapidamente em diversas áreas da Engenharia Elétrica como: geração, transmissão, distribuição, automação, eletrônica de potência, processamento de sinais, entre outras. A figura 2.22 mostra a inter-relação dos estudos relacionados à QEE com as áreas que a cerca.

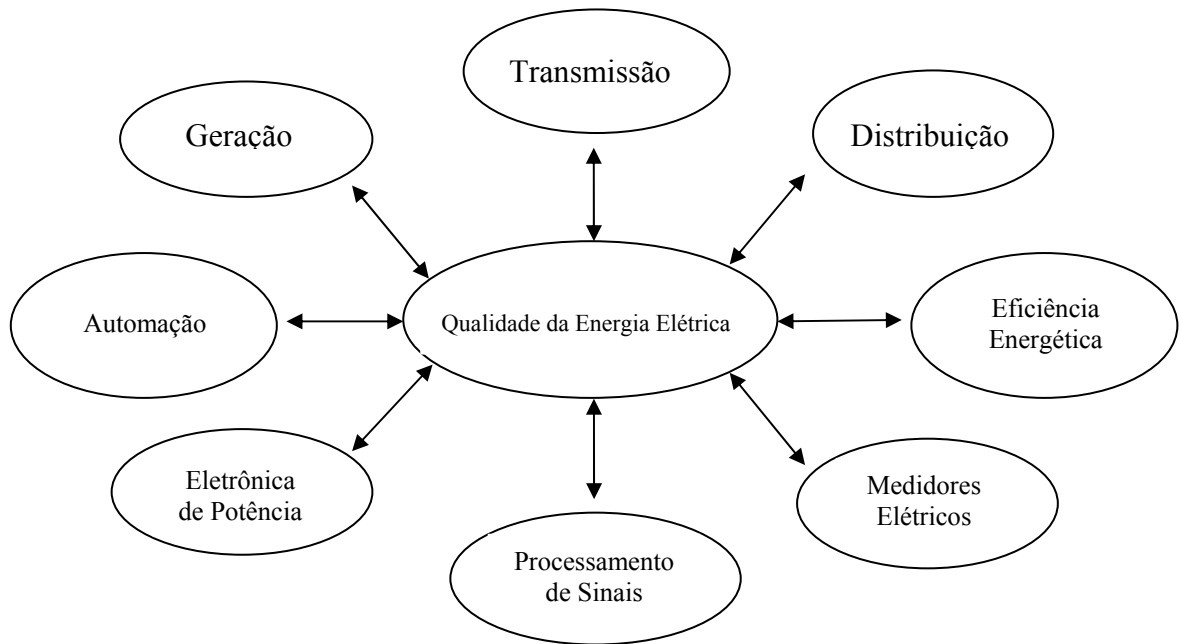


Figura 2.22 - Relação entre as áreas da Engenharia Elétrica com a Qualidade da Energia Elétrica.

Os estudos das causas e conseqüências dos eventos relacionados à QEE fazem-se necessários em todas as áreas da engenharia elétrica, visto que um fenômeno de QEE pode causar desde um simples “chuveiro” na tela de um televisor, no instante em que se liga uma lâmpada com reator eletrônico, à queima de equipamentos quando um raio induz impulso de tensão nas redes de distribuição. Podem-se citar alguns fatores que contribuem para o crescimento dessa área tão interessante da engenharia elétrica:

- Utilização de técnicas de conversão de energia, baseadas na eletrônica de potência, aplicadas às chamadas fontes renováveis, tais como: energia eólica e energia solar;
- Desenvolvimento de linhas de transmissão em CC, utilizadas no transporte de energia em longas distâncias, superior a 800 km, porque uma distância inferior a esta torna inviável economicamente a construção dessas linhas [Camargo, C. C., 2006];
- Realização de estudos e levantamentos de dados, feitos pelas empresas de distribuição de energia elétrica, relacionados ao ressarcimento de danos causados em equipamentos conectados à rede de baixa tensão;

- Utilização de equipamentos elétricos, controlados por microcontroladores, os quais necessitam de que os níveis de tensão estejam dentro de limites aceitáveis ao funcionamento do dispositivo, uma vez que estes são sensíveis aos distúrbios presentes na rede de energia elétrica [Dugan, 2003];
- A ênfase crescente na eficiência global dos sistemas de potência resultou na aplicação de acionamentos de motores, com alto rendimento, e na aplicação de bancos de capacitores para reduzir as perdas nos sistemas elétricos [Dugan, 2003];
- Preocupação com o desperdício de energia causado por equipamentos, que distorcem a forma de onda da corrente e prejudicam o fator de potência, na entrada do equipamento;
- Conscientização dos consumidores em relação à qualidade do produto fornecido pelas empresas de transmissão e distribuição de energia, e também a inserção de indicadores de qualidade do serviço nas contas de energia elétrica (DIC, FIC, DMIC);
- Fabricação de medidores elétricos capazes de mostrar as formas de onda da tensão e da corrente em tempo real e registrar os fenômenos de QEE, utilizando técnicas de processamento digital de sinal; e
- Fabricação de condicionadores de energia como, por exemplo, os UPS que apresentam níveis de distorção menores, devido ao uso de dispositivos semicondutores ultra-rápidos aliados às técnicas modernas de modulação e controle.

2.5.1.1 – Definições da Qualidade de Energia segundo os diversos pontos de vista

De acordo com Oliveira (2005), o tema “Qualidade de Energia Elétrica” tornou-se uma preocupação comum a todos os agentes do setor elétrico, entre eles: concessionárias, consumidores e órgãos reguladores. Todos os aspectos relacionados aos problemas na qualidade da energia são importantes, desde a sua verificação, o seu diagnóstico e, por

último, a sua solução, levando em consideração o impacto econômico relacionado. As anomalias surgem tanto na tensão e corrente, quanto na frequência, podendo causar falhas em equipamentos industriais, comerciais e residenciais.

Segundo Meister (2006), não existe consenso em relação à definição de QEE. Inicialmente, o conceito de qualidade da energia elétrica era restrito à análise da tensão, uma vez que as características dessa grandeza são determinadas pelo fornecedor de energia e, portanto, podem ser controladas. Por outro lado, a natureza da corrente elétrica é tal que ela é função, essencialmente, da carga a ser suprida. Dessa maneira, o primeiro entendimento consistia na vinculação entre qualidade da energia e qualidade da tensão. Essa associação é um conceito limitado, pois está relacionada somente com a qualidade da energia entregue aos consumidores pelo supridor de energia do sistema.

Algumas definições, abordadas por diversos autores, segundo o ponto de vista dos agentes envolvidos estão elencadas abaixo:

- Ponto de vista das concessionárias:

Qualidade de Energia é o grau de proximidade que a tensão fornecida pela concessionária, tem com o caso ideal, em termos de forma de onda, amplitude, frequência, distorção zero, confiabilidade, estabilidade e fontes livres de distúrbios [Camargo, R. F., 2002].

- Ponto de vista dos consumidores:

Qualquer problema de energia manifestada em desvio de tensão, corrente ou frequência e que resulte em falha ou mau funcionamento de equipamento é considerado um problema de qualidade de energia [Dugan, 2003].

- Ponto de vista dos órgãos reguladores:

As concessionárias de energia devem fornecer continuamente energia elétrica, dentro dos limites estabelecidos por normas, sob pena de multa e ressarcimento dos danos causados pelo fornecimento do produto de má qualidade.

Conjunto de parâmetros que definem as propriedades do fornecimento de energia tal como entregue ao consumidor, em condições normais de operação, em termos de continuidade no fornecimento e características da tensão: simetria, frequência, amplitude, forma de onda (tradução, Oliveira) [Martzloff, 1997 apud Bollen, 2000].

- Ponto de vista dos fabricantes de aparelhos eletroeletrônicos

Os fabricantes de equipamentos procuram apenas atender às especificações técnicas do consumidor final, que são voltadas apenas para os aspectos do processo. Os fornecedores ainda não têm interesse em tornar seus equipamentos menos sensíveis, visto que isto implica em gastos adicionais e, possivelmente, na perda de competitividade de seus equipamentos no mercado. Esforços no sentido de tornar os equipamentos mais robustos só ocorrerão se houver disposição dos consumidores em pagar mais por tais produtos, ou que sejam editadas normas estabelecendo requisitos rígidos de sensibilidade para os equipamentos [FUPAI, 2001].

Para alguns fabricantes de equipamentos eletroeletrônicos, é cômodo que não existam normas que determinem: i) o grau de sensibilidade dos equipamentos frente aos fenômenos de QEE, presentes na rede de energia e; ii) os limites do nível de perturbação que esses equipamentos podem injetar na rede, sem prejudicar os parâmetros estipulados pelos órgãos reguladores. Já que, após a instalação do equipamento a responsabilidade da má QEE é transferida a concessionária e compartilhada com o consumidor. Verifica-se então que, a culpa, pela má QEE, normalmente atribuída às concessionárias pode ser consequência da influência que os equipamentos eletroeletrônicos causam na forma de onda da tensão e corrente.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), através dos Procedimentos de Distribuição de Energia no Sistema Elétrico Nacional (Prodist), está desenvolvendo um módulo específico sobre QEE, o qual classifica a QEE segundo a Qualidade do Serviço e a Qualidade do Produto.

A Qualidade do Serviço, basicamente entendida como a continuidade de fornecimento, é fruto de interrupções no sistema elétrico, provocadas por falhas no sistema (manutenção corretiva) e por atividades de manutenção programada (manutenção preventiva), em função de serviços necessários a serem realizados no sistema [Kagan, 2005]. Existem diversos indicadores para quantificar e qualificar os serviços prestados pelas concessionárias, no entanto, a Qualidade do Serviço não é objeto de estudo desse texto.

Segundo o Módulo 8 do Prodist (2007), a seção referente à qualidade do produto define: as terminologias utilizadas para caracterizar os distúrbios presentes no sistema de potência; estabelece os parâmetros e valores de referência relativos à conformidade de tensão em regime permanente; e as perturbações na forma de onda da tensão. As características e classificações dos distúrbios de QEE serão apresentadas na próxima seção.

2.5.1.2- Classificação dos Fenômenos de QEE

Atualmente, são grandes os esforços dos pesquisadores a fim de estabelecer os limites de desempenho frente aos fenômenos de QEE dos mais variados equipamentos, tais como: motores, CLPs, fontes chaveadas, eletrodomésticos, equipamentos eletromédicos, estabilizadores, UPS, dentre outros. Contudo, os pesquisadores nem sempre obtêm resultados satisfatórios, devido à complexidade do equipamento e da sua finalidade, já que diversas variáveis estão envolvidas na análise de desempenho do equipamento frente a um fenômeno de QEE.

Entretanto, o avanço da eletrônica digital possibilita atualmente a aquisição e posteriormente a conversão dos sinais analógicos em sinais digitais (A/D). Isso permite um monitoramento mais preciso e rápido de todos os fenômenos de QEE em diversos pontos de uma rede elétrica, ou até mesmo, em pontos internos de um equipamento que sofra um distúrbio proveniente da rede de energia CA. Nesse trabalho, o uso de técnicas de conversão A/D aliadas às ferramentas computacionais será utilizado para a análise de desempenho dos UPS estáticos frente aos fenômenos de QEE.

Assim, a classificação dos distúrbios existentes nos Sistemas Elétricos de Potência é importante para distinguir e caracterizar os fenômenos de QEE. A tabela 2.3 mostra as diferentes categorias dos fenômenos de QEE classificados segundo a norma IEEE 1159-1 (1995), já a tabela 2.4 mostra as causas e efeitos típicos decorrentes destes fenômenos.

Tabela 2.3- Categorias e características dos Fenômenos de QEE presentes no Sistema Elétrico de Potência

Fonte: Norma IEEE 1159-1/1995.

Categoria	Conteúdo Espectral Típico	Duração Típica	Magnitude de Tensão Típica
1.0 Transitório 1.1 Impulsivo 1.1.1 Nanosegundos 1.1.2 Microsegundos 1.1.3 Milisegundos 1.2 Oscilatório 1.2.1 Baixa frequência 1.2.2 Média frequência 1.2.3 Alta frequência	Acima de 5ns Acima de 1µs Acima de 0,1 ms < 5 kHz 5 - 500 kHz 0.5 - 5 Mhz	<50ns 50 ns - 1ms >1ms 0,3 - 50 ms 20 µs 5 µs	 0 - 4 pu 0 - 8 pu 0 - 4 pu
2 Variação de Tensão Curta Duração (VTCD) 2.1 Instantânea 2.1.1 Interrupção 2.1.2 Afundamento de Tensão (<i>Sag</i>) 2.1.3 Elevação de Tensão (<i>Swell</i>) 2.2 Momentânea 2.2.1 Interrupção 2.2.2 Afundamento de Tensão (<i>Sag</i>) 2.2.3 Elevação de Tensão (<i>Swell</i>) 2.3 Temporária 2.3.1 Interrupção 2.3.2 Afundamento de Tensão (<i>Sag</i>) 2.3.3 Elevação de Tensão (<i>Swell</i>)		 0,5 - 30 ciclos 0,5 - 30 ciclos 0,5 - 30 ciclos 30 ciclos - 3s 30 ciclos - 3s 30 ciclos - 3s 3s - 1mim 3s - 1min 3s - 1min	 <0,1 pu 0,1 - 0,9 pu 1,1 - 1,8 pu <0,1 pu 0,1 - 0,9 pu 1,1 - 1,4 pu <0,1 pu 0,1 - 0,9 pu 1,1 - 1,2 pu
3.0 Variação de Tensão Longa Duração (VTLD) 3.1 Interrupção Sustentada 3.2 Subtensão 3.3 Sobretensão		 > 1 min > 1 min > 1 min	 0 pu 0,8 - 0,9 pu 1,1 - 1,8 pu
4.0 Desequilíbrio de Tensão		Regime Permanente	0,5 - 2%
5.0 Distorção da Forma de Onda 5.1 Desvio do Nível CC 5.2 Distorção Harmônica 5.3 Inter-harmônica 5.4 <i>Notches</i> 5.5 Ruído Elétrico 6.0 Flutuação de Tensão (<i>Flicker</i>) 7.0 Variação de Frequência	0 - 100° harmônico 0 - 6 kHz <i>Broadband</i> < 25 kHz	Regime Permanente Regime Permanente Regime Permanente Regime Permanente Regime Permanente Intermitente < 10 s	0 - 0,1% 0 - 20 % 0 - 2% 0 - 1% 0,1 - 7% 0,2 - 2 Pst

Tabela 2.4– Causas e efeitos decorrentes dos Fenômenos de QEE classificados na tabela 2.3.

Categoria		Causas	Efeitos
Transitórios	Impulsivos	descargas atmosféricas, energização de transformadores, chaveamento de banco de capacitores, chaveamento de cargas de grande potência	Degradação ou falha do isolamento de dispositivos e equipamentos, queima de dispositivos e equipamentos
	Oscilatórios	Energização de bancos de capacitores, manobras em linhas de transmissão, ferroressonância, energização de transformadores	Queima ou danos de equipamentos, variação de potência, variação de frequência
VTCD	Interrupção de Tensão	Faltas no Sistema de Potência, falhas de equipamentos, mau funcionamento do sistema de controle	Desligamento ou mau funcionamento de equipamentos eletrônicos, parada de processos industriais, perdas de dados, defeitos em <i>soft-startes</i>
	Afundamento de Tensão	Entrada de grandes cargas, faltas no Sistema Potência	Mau funcionamento de equipamentos
	Elevação de Tensão	Desligamento de grandes cargas, curtos desequilibrados, energização de banco de capacitores, ferroressonância	degradação ou falha do isolamento de dispositivos e equipamentos, queima de dispositivos e equipamentos
VTLD	Interrupção Sustentada	Faltas permanentes, falhas nos dispositivos de proteção	Parada de procesos industriais, perdas financeiras
	Subtensão Sustentada	Sobrecargas em alimentadores, partida de motores, saída de banco de capacitores	Falhas nos sistemas de operação, sobrecorrente, desligamento de equipamentos e dispositivos de proteção
	Sobretensão Sustentada	Retirada de grandes cargas, energização de banco de capacitores	Estufamento nos invólucros das unidades capacitivas, queima e redução da vida útil dos equipamentos, elevação de perdas, falhas em isolamentos
Desequilíbrio de Tensão		Desbalanceamento de cargas trifásicas, falta de transposição em linhas de transmissão aérea	Vibração e aquecimento de motores
Distorção da Forma de Onda	Desvio do Nível CC	Distúrbios geomagnéticos, retificação de meia onda, conversores operando em condições inadequadas	Saturação, aquecimento e perda da vida útil de transformadores
	Distorção Harmônica	Operação de cargas não-lineares como: fornos a arco, fornos de indução, máquinas de soldas, conversores estáticos (UPS)	Sobreaquecimento em motores e transformadores, ressonância em banco de capacitores, mau funcionamento de equipamentos eletrônicos
	Inter-harmônica	Conversores estáticos de frequência, fornos a arco, motores de indução	Mau funcionamento em equipamentos eletrônicos, ressonância em banco de capacitores, sobreaquecimento de transformadores
	<i>Notches</i>	Comutação da corrente em retificadores trifásicos	degradação em dielétricos, ruídos, modulação harmônica
	Ruído Elétrico	Efeito antena dos fios condutores, dispositivos eletrônicos, aterramento falhos, conversores de potência (UPS)	Mau funcionamento em equipamentos eletrônicos, processos de controle, CLP
Flutuação de Tensão (<i>Flicker</i>)		Fornos a arco, máquina de solda, laminadores	Interrupções em processos de produção, oscilações de potência e torque
Variação de Frequência		Saída de grandes geradores, retirada de grandes conjuntos de cargas	Afeta a operação de máquinas rotativas

2.5.2 – Classificação dos UPS frente aos fenômenos de QEE

Além da classificação das terminologias que caracterizam cada topologia dos UPS, apresentadas no item 2.4, a norma IEC 62040-3 também os classifica segundo a susceptibilidade desses equipamentos frente aos fenômenos de QEE, relacionando-os à dependência de tensão e de frequência, na entrada e na saída. Assim, as características de construção e operação das topologias influenciam no desempenho do equipamento, quando esse sofre um distúrbio em sua entrada.

Segundo Sölter (2002), o método utilizado pela norma IEC 62040-3 para classificar os UPS frente aos fenômenos de QEE apresenta três passos. Para cada passo é estabelecido um código, conforme apresentado abaixo:

- **Primeiro Passo** - Dependência da tensão na saída (carga) do UPS em relação à tensão de entrada (rede de energia CA);
- **Segundo Passo** - forma de onda da tensão, na saída do UPS; e
- **Terceiro Passo** - curvas de tolerância da tensão, na saída do UPS.

2.5.2.1 – Definição do Primeiro Passo

De acordo com Sölter (2002), no primeiro passo, os códigos são definidos conforme a dependência da tensão e frequência na saída do UPS em relação à tensão e frequência na entrada. Por isso, a norma IEC 62040-3 classifica os UPS utilizando os seguintes códigos, adotados no primeiro passo:

- Quando a tensão na saída do UPS **Depende** das variações da **Tensão e Frequência** na entrada do equipamento, o código utilizado, em inglês, é **VFD** (do inglês, *Voltage and Frequency Dependent*) e pode ser traduzido para o português como **DTF** (palavras em negrito nesse parágrafo). Portanto, os UPS classificados por esse código possuem uma “saída” dependente das variações da tensão e da frequência,

oriundas da rede de energia CA. Porém, a utilização de condicionadores de energia (reguladores de tensão), no ramo principal, faz com que se tenha uma diminuição da influência exercida pelas variações da tensão na entrada do equipamento. Esse código está associado à topologia *Passive Standby* [Sölter, 2002].

- Quando a saída do UPS **Independente** das variações da **Tensão** na entrada do equipamento, tendo em vista que possui um condicionador no ramo principal (figura 2.11) capaz de regular a tensão na saída do UPS, o código utilizado, em inglês, é **VI** (do inglês, *Voltage Independent*) e pode ser traduzido para o português como **IT** (palavras em negrito nesse parágrafo). Com isso, fica subentendido que a saída do equipamento depende das variações da frequência na entrada do equipamento. Portanto, os UPS classificados por esse código possuem uma “saída” dependente das variações de frequência e independente das variações de tensão (dentro das limitações do regulador de tensão), oriundas da rede de energia CA. Esse código se associa à topologia Linha Interativa [Sölter, 2002].
- Quando a saída do UPS **Independente** das variações da **Tensão** e da **Frequência** na entrada do equipamento, o código é **VFI** (do inglês, *Voltage Frequency Independent*) e pode ser traduzido para o português como **ITF** (palavras em negrito nesse parágrafo). Assim, os UPS classificados por esse código possuem uma “saída” independente das variações da tensão e frequência, oriundas da rede de energia CA. Esse código está associado à topologia Dupla Conversão, a qual, segunda a norma, já possui em sua construção dois condicionadores de energia (retificador e inversor) capazes de regular a tensão e frequência na saída do equipamento.

2.5.2.2 – Definição do Segundo Passo

Segundo Sölter (2002), no segundo passo, os códigos são definidos conforme a forma de onda da tensão, na saída do UPS, levando em conta o modo de operação - modo normal ou modo bateria - ou seja, para cada modo de operação é atribuído uma letra conforme a forma de onda da tensão na saída do equipamento, totalizando um código de dois caracteres. Portanto, a norma IEC 62040-3 classifica os UPS utilizando os seguintes códigos, adotados no segundo passo:

- Quando a forma de onda da tensão apresenta: componentes harmônicos abaixo dos valores de referência para cargas lineares e não-lineares (IEC-61000-2-2); e fator de distorção harmônica total da tensão (THD_v) menor que 8%, considera-se a forma de onda como sendo **Senoidal**. Com isso, o código utilizado é **S**. Desta maneira, um UPS que supre qualquer carga com uma tensão senoidal, nos dois modos de operação, adota-se o código **SS**.
- Quando a forma de onda da tensão apresenta: componentes harmônicos abaixo dos valores de referência para cargas não-lineares (IEC-61000-2-2); e fator de distorção harmônica total (THD_v) maior que 8%, considera-se a forma de onda como sendo não-senoidal. Com isso, o código utilizado é **X**. Assim, um UPS que supre qualquer carga com uma tensão não-senoidal, nos dois modos de operação, o seu código é **XX**.
- Quando a forma de onda da tensão apresenta componentes harmônicos, que excedem os limites estabelecidos pela norma IEC 61000-2-2, considera-se a forma de onda como sendo não-senoidal, o código utilizado é **Y**. Assim, um UPS que supre qualquer carga com uma tensão não-senoidal que exceda os limites de componentes harmônicos, da norma citada, nos dois modos de operação, o código adotado é **YY**.

Em suma, a utilização do código citado no segundo passo é fundamental para informar ao usuário sobre a forma de onda da tensão que supre a sua carga, nos dois modos de operação. Uma vez que ainda é comum algumas topologias apresentarem formas de onda da tensão com consideráveis distorções em relação à onda senoidal, por exemplo, onda quadrada e quase-quadrada, prejudiciais ao funcionamento de certos tipos de cargas.

2.5.2.3 – Definição do Terceiro Passo

As cargas sensíveis necessitam que a forma de onda da tensão permaneça o mais próximo de uma onda perfeitamente senoidal, mesmo que em condições de distúrbios ou transitórios. Em vista disso, a norma IEC 62040-3 define, no terceiro passo, os limites de desvio da forma de onda da tensão na saída dos UPS e classifica esses limites através de três curvas de tolerâncias dinâmicas.

Portanto, o desempenho de cada UPS durante um chaveamento (mudança) entre os modos de operação, devido a um evento externo, por exemplo, um afundamento de tensão; ou durante uma variação da carga que o UPS supre, por exemplo, um salto de 20% para 100% da carga, indica em qual das três curvas o UPS analisado será classificado.

As curvas de classificação, apresentadas nas figuras 2.23, 2.24 e 2.25, estabelecem os limites (máximos e mínimos) da tensão e o tempo do transitório na saída do UPS quando ocorre chaveamento (mudança) entre os modos de operação (normal, bateria e *by-pass*) em que o equipamento alimenta cargas lineares e não-lineares. Segundo a norma IEC 62040-3, para cada uma dessas curvas é atribuído um código, assim, para curva de classificação 1 é atribuído o código **1** e, para as demais curvas, o seu número correspondente.

Observa-se na figura 2.23 que, na hipótese de um evento externo provocar um chaveamento do modo normal para o modo bateria, as cargas alimentadas por UPS classificados por essa curva de desempenho não sofrem interrupções de tensão. Contudo, se essas cargas forem alimentadas por UPS classificados conforme as curvas de desempenho apresentadas nas figuras 2.24 e 2.25, a tensão a elas entregue é interrompida por um período de até 1,0 ms e 10 ms, respectivamente.

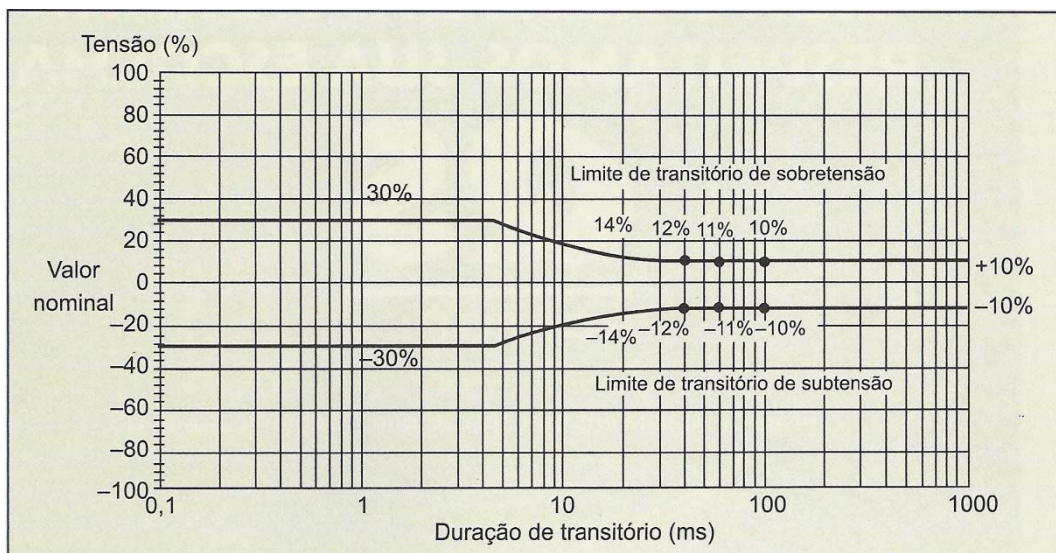


Figura 2.23– Curva de Classificação 1.

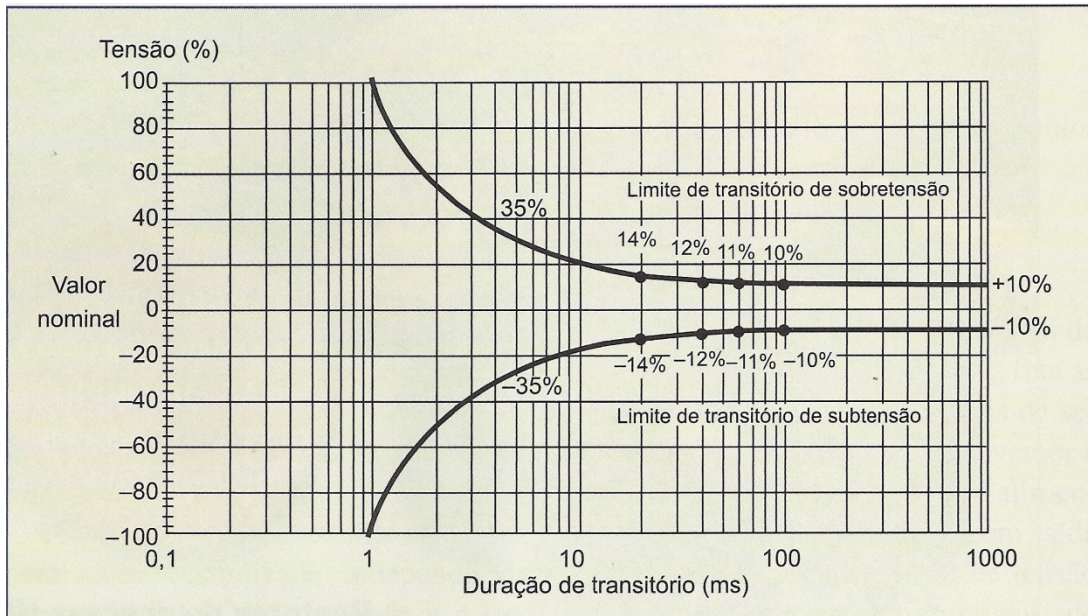


Figura 2.24– Curva de Classificação 2.

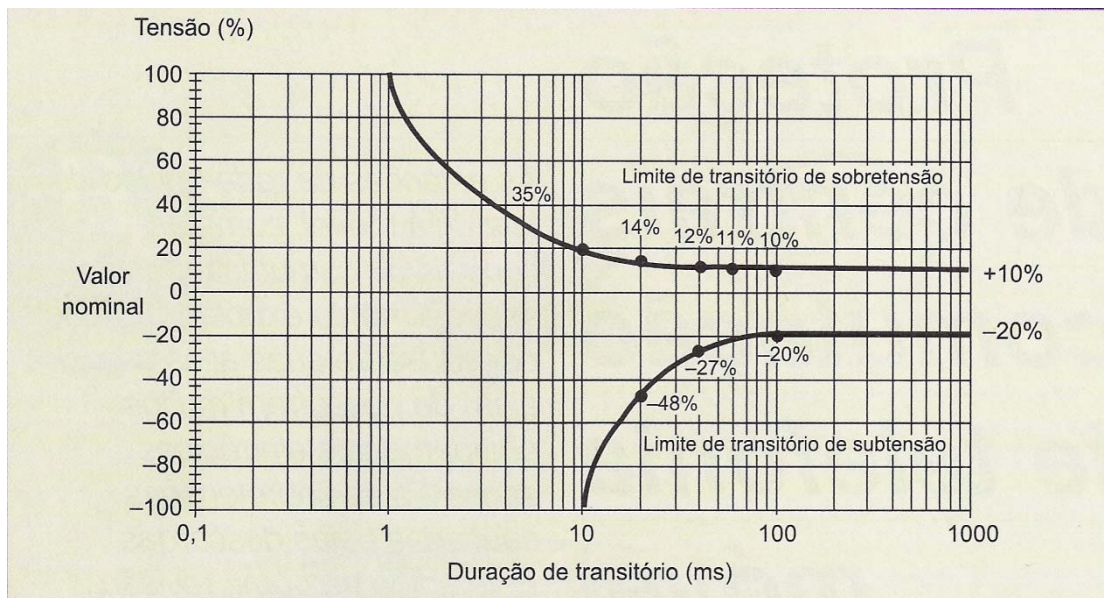


Figura 2.25– Curva de Classificação 3.

Com isso, o objetivo de utilização dos códigos, apresentados pela norma IEC 62040-3, é mostrar sucintamente as características e o desempenho de cada UPS, a fim de que o usuário possa escolher o equipamento mais adequado à sua necessidade. Desse modo, os fabricantes de UPS devem especificar no manual do equipamento qual é a classificação deste, seguindo os passos descritos anteriormente. A tabela 2.5 mostra sucintamente a

classificação e o desempenho típico de cada topologia de UPS, operando no modo normal, segundo os códigos descritos acima.

Tabela 2.5 – Classificação do desempenho das topologias de UPS no modo normal.

Desempenho	Dupla Conversão	Linha Interativa	Passive Standby
Regulação da Tensão	SIM	SIM ⁽¹⁾	NÃO
Regulação da frequência	SIM	NÃO	NÃO
Código passo 1	ITF	IT	DTF
Código passo 3	1	2	3

(1) - Depende do tipo de regulador de tensão utilizado



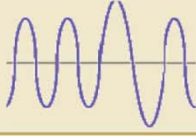
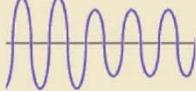
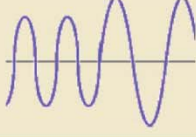
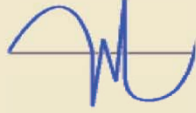
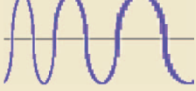
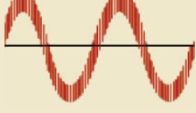

Já a tabela 2.6 mostra a classificação e o desempenho dos UPS estáticos frente aos fenômenos de QEE, segundo a classificação da norma IEC 62040-3. Observa-se que a topologia *Passive Standby* responde adequadamente aos três primeiros fenômenos de QEE. No entanto, para os distúrbios restantes, a forma de onda da tensão, na saída do UPS, ultrapassa os limites estabelecidos pela norma.

Para a topologia Linha Interativa, o desempenho frente aos fenômenos de QEE são melhores quando comparado com a topologia *Passive Standby*. Entretanto, como se pode constatar pela tabela 2.6, esta topologia é falha no momento em que a rede de energia sofre distúrbios, tais como: transitórios impulsivos, variações de frequência e distorções harmônicas.

E por fim, a topologia Dupla Conversão é considerada pela norma IEC 62040-3 imune aos fenômenos de QEE apresentados na tabela 2.6. Todavia, a norma não faz menção a um limite mínimo, por exemplo, da distorção harmônica da tensão permitida na entrada do UPS. Pois, caso isso ocorra o nível de ondulação (*ripple*) entregue a bateria (ou banco de baterias) será acentuado, provocando aquecimento e perda da vida útil da bateria.

Tabela 2.6– Classificação dos UPS frente aos Fenômenos de QEE.

Fonte: (Guerrero, 2007).

CLASSIFICATION OF THE POWER QUALITY PROBLEMS TO BE SOLVED BY THE UPS SYSTEMS.			
POWER LINE PROBLEMS	WAVEFORM	IEC62040-3	UPS SOLUTION
1) Line failure (outage, blackouts) Total loss of utility line (>10 ms)			
2) Sag or dip Short under-voltage (<16 ms)		Voltage + frequency dependent	Off-line UPS
3) Surge Quick burst of over-voltage (<16 ms)			
4) Under-voltage or brownout Low line voltages for an extended period of time			
5) Over-voltage or swell Increased voltages for an extended period of time		Voltage independent	Line-interactive UPS
6) Transient, impulse, or spike under-voltage or over-voltage for up to a few nanoseconds		Voltage + frequency independent	On-line UPS
7) Frequency variation of the line voltage waveform			
8) Noise Distortions superimposed on the voltage waveform			
9) Harmonic distortion Multiples of line frequency superimposed on the voltage waveform			

2.5.3 - Parâmetros e limites recomendados para análise de desempenho dos UPS frente aos fenômenos de QEE

A partir dos parâmetros e limites definidos pelas normas, para cada fenômeno de QEE, pode-se analisar o desempenho de cada topologia de UPS frente a esses fenômenos. Com isso, os próximos itens apresentam os principais parâmetros e limites segundo as normas existentes, atualmente. Cabe ressaltar que alguns parâmetros apresentados não foram utilizados nesse texto, já que não foi possível realizar ensaios em um UPS trifásico. Assim, fica como sugestão futura a aplicação desses parâmetros em desenvolvimento e ensaios aplicados aos UPS estáticos.

2.5.3.1- Variações de Tensão

Conforme mostra a tabela 2.3, nota-se que os fenômenos associados às variações de tensão são: transitórios (impulsivo e oscilatório), VTCDs e VTLDs. Esses fenômenos são caracterizados pela variação da magnitude da tensão em função do tempo. Pensando nisso, diversas curvas foram desenvolvidas com o intuito de descrever as tolerâncias dos equipamentos sensíveis. Portanto, a tensão que supre os equipamentos deve estar dentro dos limites definidos pelas curvas, a fim de evitar o mau funcionamento ou queima desses equipamentos. As curvas de tolerâncias mundialmente adotadas - CBEMA, ITIC e SEMI F47 - definem a susceptibilidade dos equipamentos eletrônicos mediante as variações de tensão.

A curva CBEMA - Associação dos Fabricantes de Equipamentos de Computação (do inglês, *Computer Business Equipment Manufacturer's Association*) - define os limites de tensão aceitáveis, aplicados aos equipamentos de tecnologia da informação. A figura 2.26 mostra os limites de tensão recomendados para que equipamentos eletrônicos como computadores funcionem adequadamente.

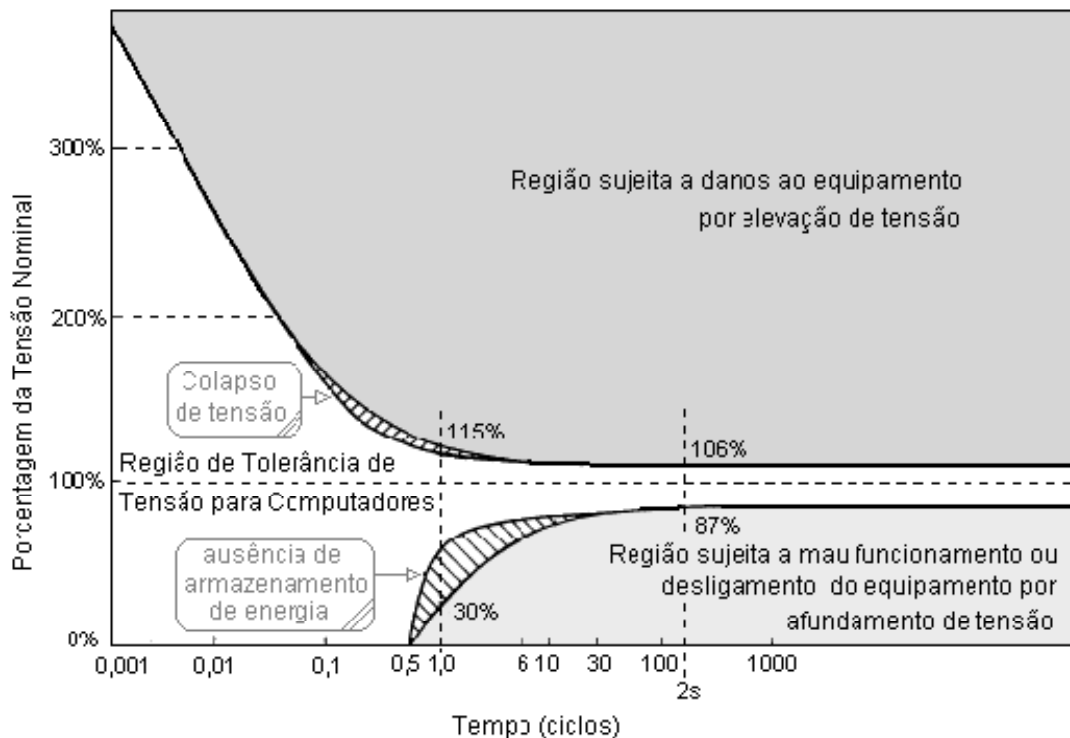


Figura 2.26 - Curva CBEMA. Fonte:(Pomilio, 2007).

Atualmente, a CBEMA tornou-se o Conselho de Indústria da Tecnologia da Informação (do inglês, *Information Technology Industry Council*) e reformulou a sua antiga curva de tolerância. Desta forma, a nova curva apresentada na figura 2.27 é amplamente utilizada em análise de desempenho frente às variações de tensões e será adotada nesse texto para tal finalidade.

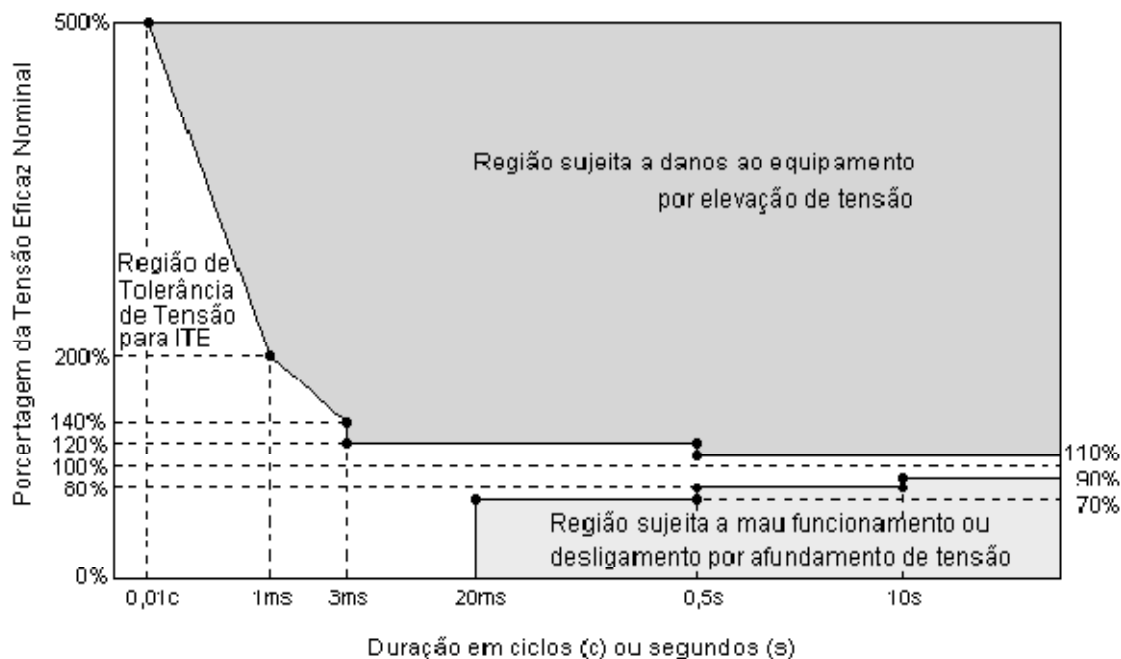


Figura 2.27 - Curva ITIC. Fonte: (Pomilio, 2007).

Já a curva SEMI F47 (figura 2.28), criada pelo Instituto de Equipamentos e Materiais Semicondutores (do inglês, *Semiconductor Equipment and Materials Institute*), é aplicada em equipamentos e processos usados na indústria de semicondutores. Segundo Luna (2005), os processos dos fabricantes devem atender os limites estabelecidos pela curva SEMI F47 sem a utilização de suprimento auxiliar de energia, por exemplo, UPS. Portanto, essa curva não será utilizada nesse texto.

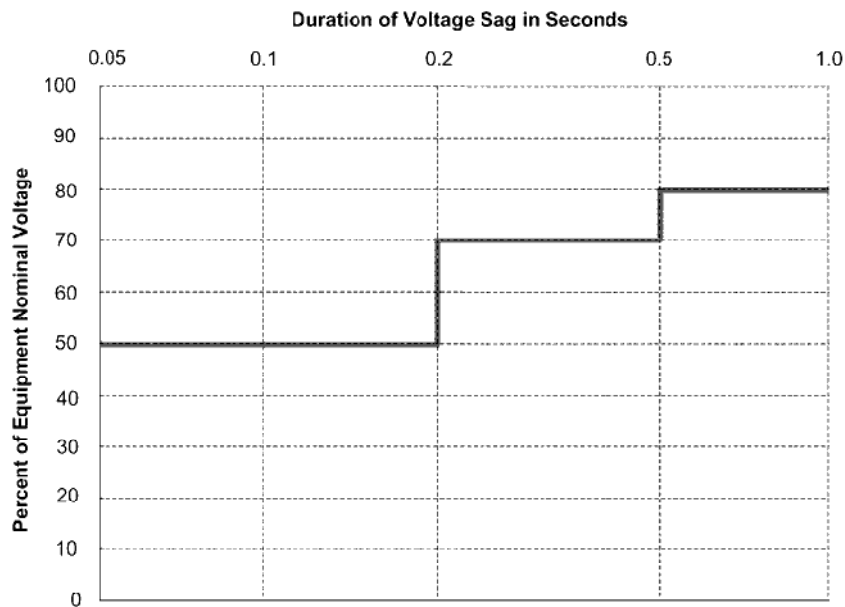


Figura 2.28 – Curva SEMI F47.

Fonte: (Luna, 2005).

2.5.3.2 – Desequilíbrio de Tensão

De acordo com Bollen (2006), o efeito do desequilíbrio de tensão, em fontes trifásicas de tensão CC (retificadores trifásicos) é a geração da chamada harmônicas não-características¹. Cujo efeito mais evidente é o aparecimento de harmônicas triplas. Os pulsos de corrente que atravessam os diodos do retificador trifásico podem ser explicados como três retificadores monofásicos com a mesma tensão CC. Com isso, para uma tensão equilibrada os pulsos são idênticos, resultando o cancelamento das correntes de terceira harmônica. Entretanto, para uma tensão desequilibrada os pulsos que atravessam os diodos

¹ Em circunstâncias de equilíbrio as componentes harmônicas de uma fonte de corrente são chamadas de harmônicas características. Neste caso, as componentes harmônicas são: 5, 7, 11, 13, 17, 19 e assim sucessivamente. Todas as outras harmônicas, quando presentes, são chamadas harmônicas não-características [Bollen, 2006].

não são idênticos, conseqüentemente as componentes de terceira harmônica das correntes de linha não são canceladas.

No Brasil, a definição das terminologias - tabela 2.7 - e os métodos de cálculo - equações de 2.1 até 2.3 - utilizados para definir o desequilíbrio de tensão em sistemas trifásicos são apresentados pela Aneel, por meio do Módulo 8 do Prodist (2007).

Tabela 2.7 – Terminologia utilizada na caracterização de desequilíbrios de tensão

Identificação da Grandeza	Símbolo
Fator de desequilíbrio	FD
Magnitude da tensão de seqüência negativa (rms)	V_-
Magnitude da tensão de seqüência positiva (rms)	V_+
Magnitude das tensões trifásicas de linha (rms)	V_{ab} , V_{bc} e V_{ca}

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} 100 \quad \text{Equação (2.1)}$$

$$FD\% = 100 \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \quad \text{Equação (2.2)}$$

$$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2} \quad \text{Equação (2.3)}$$

Com o propósito de definir métodos de avaliação do desempenho dos UPS trifásicos, frente aos desequilíbrios de tensão existentes em redes de baixa tensão, serão utilizados fatores de desequilíbrios até o limite estabelecido pela Aneel, que é $FD = 2\%$.

2.5.3.3 – Distorção Harmônica

De acordo com o Módulo 8 do Prodist (2007), a seção 4 faz referência aos limites das componentes harmônicas de tensão, segundo os níveis de tensão existentes em sistemas de potência. Logo, para o desenvolvimento de metodologias de ensaios aplicados aos UPS, serão utilizados os limites de harmônicas aplicados a níveis de tensão de até 1kV, apresentados na tabela 2.8.

Tabela 2.8 – Níveis de referência para distorções harmônicas individuais de tensão
(em porcentagem da tensão fundamental)

Ordem Harmônica	Distorção Harmônica Individual de Tensão (%)				
	$V_n \leq 1\text{kV}$		$1\text{ kV} < V_n \leq 13,8\text{ kV}$	$13,8\text{ kV} < V_n \leq 69\text{ kV}$	$69\text{ kV} < V_n \leq 230\text{ kV}$
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

O Módulo 8 do Prodist não apresenta os limites das componentes harmônicas de correntes presentes em redes de baixa tensão. No entanto, a norma IEEE 519/1992 retrata os limites mencionados (tabela 2.9), conforme a razão entre a corrente de curto-circuito (I_{sc}) e a corrente de demanda máxima (I_L) no ponto comum de conexão (PCC). Com isso, é possível delimitar as componentes harmônicas de corrente quando se conhece as características da rede analisada.

Ao suscitar esses conceitos no escopo dessa dissertação, pode-se avaliar os UPS sobre o ponto de vista da sua duplicidade de interação com a rede CA. Assim, por exemplo, quando se analisa um UPS Dupla Conversão de grande potência pode-se inferir que: i) quando o **equipamento** é analisado **como uma carga**, o PCC a ser analisado é o barramento geral do consumidor, e as componentes harmônicas de corrente neste são afetadas pela instalação do UPS; e ii) quando o **equipamento** é analisado **como uma fonte**, o PCC a ser analisado é o barramento de saída do equipamento. Sob esse último ponto de vista surge uma questão, os limites da norma IEEE podem ser aplicados para essa situação? Já que a razão entre a corrente de curto-circuito (I_{sc}) e a corrente de demanda máxima (I_L) no barramento do equipamento será menor que a razão no barramento geral do consumidor.

Tabela 2.9 – Limites de distorção de corrente de acordo com a norma IEEE 519-92.

$\frac{I_{sc}}{I_L}$	Ordem harmônica (Harmônicas ímpares)					
	< 11	11-16	17-22	23-34	34	TDD
< 20	4,0%	2,0%	1,5%	0,6%	0,3%	5,0%
20-49.99	7,0%	3,5%	2,5%	1,0%	0,5%	8,0%
50-99.9	10,0%	4,5%	4,0%	1,5%	0,7%	12,0%
100-999	12,0%	5,5%	5,0%	2,0%	1,0%	15,0%
>1000	15,0%	7,0%	6,0%	2,5%	1,4%	20,0%
As harmônicas pares são limitadas em 25% do limite das harmônicas ímpares.						

2.5.3.4 - Flutuação de Tensão

As flutuações de tensão (*flicker*) são conhecidas pelo incômodo provocado pelo efeito da cintilação luminosa no consumidor final. E conseqüentemente os limites estabelecidos, pelas normas relacionadas a esse fenômeno, fazem alusão aos níveis de percepção humana. Contudo, segundo Hanzelka (2006), o efeito usual da flutuação de tensão em retificadores controlados por fase por parâmetros de controle do lado CC, é a redução do fator de potência e a geração de harmônicas não-características e inter-harmônicas. A partir dessa informação e do que foi exposto no item 2.3.2 deduz-se que os efeitos da flutuação de tensão podem influenciar no perfeito funcionamento do equipamento.

2.5.3.5 – Variações de Frequência

Segundo o módulo 8 do Prodist, os limites referentes as variações de frequência aceitáveis são elencados a seguir:

- Em sistema de distribuição e as instalações de geração conectadas ao mesmo devem, em condições normais de operação e em regime permanente, operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz.
- As instalações de geração conectadas ao sistema de distribuição devem garantir que a frequência retorne para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, no prazo de 30 (trinta) segundos após sair desta faixa, quando de distúrbios no sistema de distribuição, para permitir a recuperação do equilíbrio carga-oferta.
- Havendo necessidade de corte de geração ou de carga para permitir a recuperação do equilíbrio carga-oferta, durante os distúrbios no sistema de distribuição, a frequência:
 - a) não pode exceder 66 Hz ou ser inferior a 56,5 Hz em condições extremas;
 - b) pode permanecer acima de 62 Hz por no máximo 30 (trinta) segundos e acima de 63,5 Hz por no máximo 10 (dez) segundos;
 - c) pode permanecer abaixo de 58,5 Hz por no máximo 10 (dez) segundos e abaixo de 57,5 Hz por no máximo 05 (cinco) segundos.

2.5.4 – Conceitos de Resiliência aplicados aos UPS estáticos

Resiliência é um termo originário da física de materiais, o qual se refere à capacidade de um material retornar a sua forma original após ter sofrido uma deformação. Pode-se entender melhor esse conceito ao comparar a resiliência de duas lâminas de materiais bastante conhecidos: o chumbo e o aço. A lâmina de chumbo apresenta pouca resiliência, pois ao aplicar um pequeno esforço a mesma não possui a capacidade de retornar ao estado

original. Já a lâmina de aço, com as mesmas dimensões da lâmina de chumbo, é considerada resiliente, pois necessita de um grande esforço para deformá-la, e se esse esforço não for suficiente para vergá-la, após cessar esse esforço, ela retorna ao estado original sem apresentar nenhuma imperfeição. Com isso, entende-se que a lâmina de aço possui um limite de resiliência elevado e que qualquer esforço abaixo desse limite não é capaz de vergá-la definitivamente, conseqüentemente, a lâmina de aço voltará ao estado original após a cessar o “distúrbio mecânico”².

O termo resiliência também é bastante utilizado na área da psicologia, em que se denomina uma pessoa resiliente aquela que consegue, mesmo diante de adversidades, adequar-se a nova situação, recuperar-se e prosseguir sem abatimentos.

Trazendo o conceito de resiliência para o ramo da Engenharia Elétrica, pode-se dizer que um sistema elétrico (ou instalação elétrica) resiliente é aquele que, diante de um distúrbio elétrico ou um fenômeno de QEE, continua operando normalmente e, conseqüentemente, supre as cargas a ele conectadas. Normalmente a resiliência de uma instalação elétrica qualquer é alcançada com a inserção de fontes secundárias (geradores e UPS) em arranjos redundantes.

No escopo desse trabalho, em que se avalia a qualidade da energia entregue a uma carga resistiva conectada a cada topologia de UPS. Infere-se que, o UPS ensaiado pode ser considerado resiliente, para cada fenômeno de QEE, se e somente se os limites apresentados no item 2.5.3 (principalmente a curva ITIC) forem satisfeitos. Por exemplo, ao aplicar uma elevação de tensão instantânea em um UPS de topologia *Passive Standby* e, conseqüentemente, as formas de onda da tensão e corrente, na entrada e saída, capturadas pelo sistema de aquisição de dados, estiverem dentro dos limites da curva ITIC, o UPS avaliado é considerado resiliente frente a esse fenômeno de QEE.

² Nesse contexto, um distúrbio mecânico pode ser considerado como uma força externa aplicada em qualquer material.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo são apresentados: o Laboratório de Qualidade da Energia Elétrica, os equipamentos e os instrumentos de medição; e materiais utilizados nos ensaios, presentes no referido laboratório, destacando a fonte de alimentação da *California Instruments*, responsável pela geração dos fenômenos de QEE citados no capítulo anterior.

São descritos os procedimentos adotados na escolha dos Sistemas Ininterruptos de Energia, bem como os tipos de ensaios realizados para cada topologia de UPS, enfatizando os ensaios realizados nas topologias *Passive Standby* e Linha Interativa. Já que, na topologia Dupla Conversão monofásica, os ensaios não estão completos, visto que o equipamento ensaiado não estava em condições para realização de todos os ensaios. Cabe ressaltar que foram realizados contatos com fabricantes de UPS, com intuito de viabilizar os ensaios em UPS de topologia Dupla Conversão monofásico e trifásico, contudo não foi possível o envio desses equipamentos em tempo hábil.

São descritos a instrumentação utilizada para aquisição das formas de ondas da tensão e corrente assim como o programa computacional usado no processamento dos dados obtidos.

As metodologias utilizadas durante a geração e aplicação dos fenômenos de QEE nos UPS, e a forma de aquisição dos dados (sinais de tensão e corrente) na entrada e saída dos UPS são descritas. A partir de então os dados obtidos pela placa de aquisição de dados são transmitidos ao computador e processados por programas computacionais destinados à análise dos resultados.

Com isso, os sinais digitais coletados são processados e mostrados graficamente, através das formas de ondas da tensão e corrente, o que permite a comparação das topologias de UPS frente aos fenômenos de QEE.

3.1 - LABORATÓRIO DE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

3.1.1- Apresentação do laboratório

O Laboratório de Qualidade da Energia Elétrica (Figura 3.1) é uma unidade auxiliar de ensino e pesquisa do Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Possui uma equipe técnica formada por professores especializados na área de QEE, técnicos em eletroeletrônica, alunos de graduação, de iniciação científica e de pós-graduação.

Está localizado no Bloco SG 11 e nos seus 40 m² possui equipamentos de última geração e capazes de realizar análises de qualidade de energia e ensaios de desempenho em equipamentos elétricos. É um ambiente de fundamental importância, pois possibilita a realização de aulas práticas que complementam os ensinamentos teóricos em cursos de qualidade de energia e também fornece a estrutura necessária à realização de pesquisas pelos alunos dos cursos de graduação e pós-graduação [Xavier, 2005].



Figura 3. 1 - Laboratório de Qualidade da Energia Elétrica.

3.1.2 - Fonte de alimentação

As fontes de alimentação da série iX - *California Instruments* representam um novo tipo de fontes CA e CC, as quais podem ser utilizadas na realização de ensaios de desempenho em equipamentos elétricos. Essas fontes são fabricadas em módulos compactos de até 5kVA que, quando conectados em paralelo, podem chegar a uma potência de 30 kVA. A figura 3.2 mostra um módulo da fonte da série iX e a figura 3.3 mostra a fonte utilizada para realização dos testes, a qual possui uma potência de 30kVA.



Figura 3. 2- Módulo da fonte CA/CC



Figura 3. 3- Fonte de alimentação, com potência de 30 kVA, comandada remotamente.

Combinadas com a flexibilidade de serem fontes de energia CA, essas fontes representam uma ferramenta completa para estudos dos fenômenos de QEE, pois são capazes de gerar a maioria dos fenômenos de QEE. Possuem analisador de qualidade de energia e sistema de

interface com a plataforma Windows que ajuda o usuário a comandar todas as suas funções remotamente.

Com uma faixa de frequência de saída entre 16Hz e 500Hz, a Série iX é adequada em vários ramos de pesquisa. Possui uma baixa distorção de saída e uma impedância de saída programável. Utilizando a interface IEEE-488 ou a interface RS 232 C, permite a programação das seguintes funções:

- Definir uma forma de onda da tensão através das magnitudes, fases e frequências escolhidas pelo usuário;
- Capturar as formas de ondas da tensão ou corrente de saída;
- Realizar medições periódicas dos parâmetros elétricos onde possibilita a geração de gráficos, histograma do conteúdo harmônico, e os dados numéricos como: valores da tensão e corrente rms, corrente de pico, fator de potência, potência ativa e potência aparente; e
- Gerar fenômenos de QEE como: afundamento de tensão, elevação de tensão, flutuação de tensão, variações de frequência entre outros.

3.2 - UPS ESCOLHIDOS PARA OS ENSAIOS

Conforme exposto no capítulo 2, as topologias de UPS estáticos estabelecidas pela norma IEC 62040-3 são: *Passive Stand-By*, Linha Interativa e Dupla Conversão. Com isso, para realização da pesquisa acerca da resposta desses equipamentos, frente aos fenômenos de QEE, foram emprestados - por empresas de manutenção - ou comprados UPS referentes às três topologias.

Inicialmente, os ensaios são realizados em equipamentos monofásicos para caracterização, comparação e estudo das três topologias. Após os experimentos nos equipamentos monofásicos tinha-se a intenção de realizar os ensaios descritos nesse capítulo em um equipamento trifásico, entretanto não foi possível a realização desses ensaios devido à dificuldade em adquirir esse equipamento.

3.2.1- UPS *Passive Standby* (Monofásico)

Com base nos valores fornecidos pelo fabricante, no manual do equipamento (tabela 3.1), tornou-se possível estabelecer uma comparação entre estes valores e os medidos em laboratório.

Tabela 3. 1 - Principais parâmetros de um UPS *Passive Standby*, declarados pelo fabricante A.

Fonte: Manual do Usuário (Fabricante Internacional).

Item	Especificação
Potência de Saída	360 W/600 VA
Capacidade de surto de tensão (6 tomadas)	8 Amps (inclusive saída do No-Break)
Tensão (na bateria)	115 Vrms -10% +6% (ondas senoidais de gradação aproximada)
Frequência (na bateria)	60 Hz \pm 1Hz
Tempo de transferência	Típico 5 ms
Proteção e filtro CA contra surto de tensão (tempo integral)	450 Joules
Proteção contra surtos de tensão para telefones	1 linha (2 fios)
Filtro EMI/RFI	Tempo integral
No-Break de proteção de sobrecarga	O No-Break se desliga automaticamente caso a sobrecarga das tomadas do No-Break exceda 110% do nominal avaliado.
Interruptor de circuito reajustável de entrada CA	5 A (220V), 8 A (115V)
Tipo de bateria	Selada, ácido de chumbo sem manutenção
Vida média	2 a 4 anos dependendo do número de ciclos de descarga e da temperatura ambiente
Tempo de recarga	Normalmente 12 horas, no máximo 16 horas
Peso físico líquido	17,6 lb. (8,0 Kg)
Tamanho	4 x 9, 8 x 7,4 pol. (10,2 x 24,8 x 18,7 cm)
Temperatura de funcionamento	0 a 40° C (+32 a 104 °F)
Temperatura de armazenagem	De -15 a 45° C (de +5 a 113°F)
Umidade relativa de funcionamento	De 0 a 95% sem condensação
Valor aproximado do equipamento	R\$ 350,00
Ano de fabricação	2008

3.2.2- UPS Linha Interativa (Monofásico)

Com base nos valores fornecidos pelo fabricante, no manual do equipamento (tabela 3.2), tornou-se possível estabelecer uma comparação entre estes valores e os medidos em laboratório.

Tabela 3. 2- Principais parâmetros elétricos de um UPS Linha Interativa, declarados pelo fabricante B.

Fonte: Manual do usuário (Fabricante Nacional).

Item	Especificação
Potência Máxima de Saída Admitida	1200 VA 720 W
Tensão de Entrada - Saída	Entrada 120V - Saída 120V ou Entrada 220V - Saída 220V
Limites de tensão de operação com rede presente	Entrada 120V → 96 a 150V Entrada 220V → 185 a 255V
Regulação da Tensão de saída	± 10% para saída 120V -9% +7% para saída 220V
Proteção de Entrada	Fusível de 10A
Rendimento	95% com rede presente
Tempo de Transferência	Zero - sem tempo de transferência
Forma de Onda da Saída	Senoidal
Temperatura de operação	0°C a 40°C
Umidade relativa de operação e armazenamento	0 a 95% sem condensação
Baterias	2x7Ah/12Vcc – chumbo-ácido seladas, livres de manutenção, à prova de derrame
Tempo de recarga típico	3 a 5 horas (para uma descarga total)
Tamanho LxAxP (mm)	135x190x435
Peso	16 (kg)
Valor aproximado do equipamento	R\$ 700,00
Ano de fabricação	2004

3.2.3 - UPS Dupla Conversão (Monofásico)

Com base nos valores fornecidos pelos fabricantes, no manual do equipamento (tabela 3.3), tornou-se possível estabelecer uma comparação entre estes valores e os medidos em laboratório.

Tabela 3.3 – Principais parâmetros elétricos de um UPS Dupla Conversão, declarados pelo fabricante C.

Fonte: Manual do usuário (Fabricante Nacional)

Item		Especificação
Entrada	Potência	3.000 VA / 2.100 W
	Tensões	110 Vca ou 220 Vca (+ / - 25%)
	Frequência	50 Hz ou 60 Hz (+ / - 5%)
	Fator de Potência	0,98
	Configuração	Monofásico ou Bifásico
Saída	Tensões	110 Vac ou 220 Vac (+ / - 2%)
	Frequência	50 Hz ou 60 Hz (+ / - 0,5%)
	Forma de Onda	Senoidal - PWM (THD <3% a plena carga)
	Fator de Crista	3:1
	Configuração	Monofásico ou Bifásico
Bateria	Tipo	Chumbo - ácida Estacionária Tipo / Regulada por Válvulas
	Número de Elementos	48
	Tensão de Barramento	96Vcc
	Tempo de Recarga	90% da capacidade de 8 a 10 horas
Proteções	Sobrecarga	< 105% continuamente 105% ~ 120% após 15 minutos transfere para o by-pass 120% ~ 150% após 30 segundos transfere para o by-pass > 150% transfere imediatamente para o by-pass
	Curto-Circuito	Proteção Eletrônica no Inversor
	Sobretensão	Transfere a carga para o by-pass
	Bateria com carga baixa - sem rede	Desligamento do Inversor
	Supressor de Ruído	Filtro EMI/RFI
	Supressor Contra Surtos	Conforme IEEE 587.1
Dados gerais	Valor aproximado do equipamento	R\$ 4000,00

3.3 - SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Com objetivo de comparar a forma de onda da tensão e corrente, projetou-se um Sistema de Aquisição de Dados (SAD), capaz de fornecer valores numéricos dos dados amostrados na entrada e saída de um UPS. O processamento desses dados será realizado através do programa *Matlab*. O SAD é composto pelos seguintes componentes:

- Placa de aquisição de dados da *National Instruments*, modelo 6218. Possui um conversor A/D com resolução de 16 bits, canais de entrada analógica (16 diferenciais ou 32 *single - ended*) e 250 kS/s de taxa de amostragem;
- Módulo de condicionamento de sinais de tensão;
- Oito alicates de correntes;
- Caixa de proteção; e
- Cabos e conectores

Ao conectar a placa de aquisição de dados (figura 3.4) com o módulo de condicionamento de sinais de tensão e inseri-los na parte interna da caixa de proteção, bem como os conectores de tensão e corrente na parte externa da caixa de proteção montou-se o SAD (*hardware*). Em que cada lado da caixa de proteção possui 4 canais de medição de tensão e 4 canais de medição de corrente, como mostra a figura 3.5.



Figura 3. 4 – Placa de aquisição de dados. Fonte: National Instruments.



Figura 3. 5 - *Layout* de um dos lados do SAD projetado

A figura 3.6 apresenta as conexões para obtenção dos sinais de tensão e corrente na entrada e saída do equipamento a ser analisado. Assim, conectando os cabos de tensão e os cabos do alicate de corrente nos seus respectivos conectores, é possível realizar as medições desejadas. Por exemplo, para analisar um equipamento monofásico, que possua entrada e saída como um UPS ou um transformador.

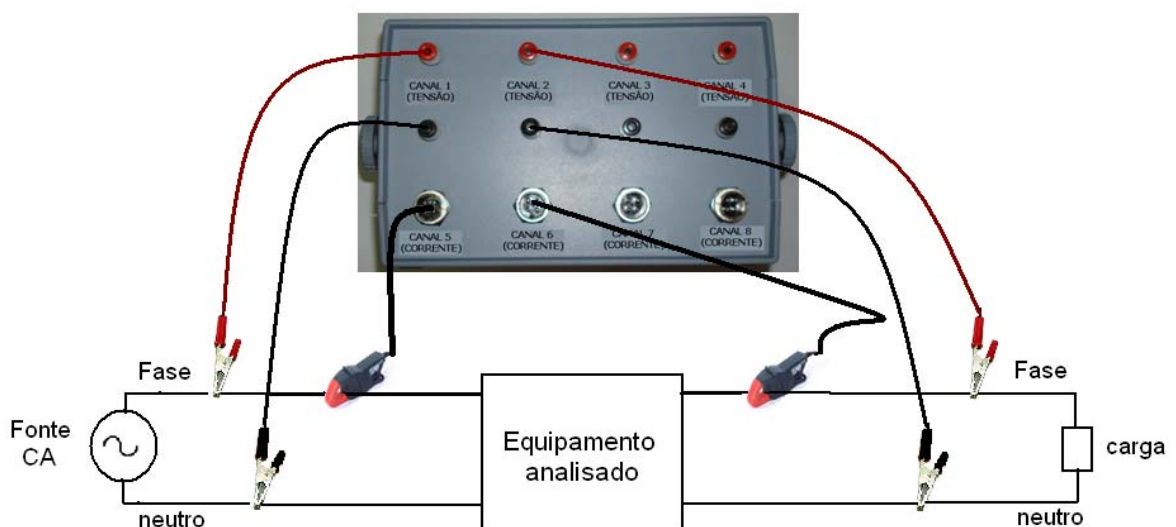


Figura 3. 6 - Conexões monofásicas para análise de equipamentos.

Os sinais analógicos de tensão e corrente são convertidos em sinais digitais e transmitidos, via cabo USB, para um computador que possua um programa de processamento de sinais, no caso descrito optou-se pelo uso do *Matlab*. A figura 3.7 mostra a montagem utilizada para análise de um UPS frente os fenômenos de QEE. Em que a seta amarela mostra a fonte geradora de distúrbios, a seta verde indica o SAD, a seta azul indica o UPS analisado,

a seta vermelha indica a carga utilizada (década resistiva) e a seta laranja apresenta a tela do computador utilizado, a qual mostra as formas de onda da tensão (em cima) e da corrente (em baixo) processadas pelo *Matlab*.



Figura 3. 7– Sistema de aquisição de dados monofásico.

Cabe ressaltar que a calibração do SAD foi ajustada conforme os sinais de tensão e corrente gerados pela fonte de alimentação, onde para cada sinal foi atribuído um fator multiplicativo associado aos transdutores.

3.4 - DISTÚRBIOS DE QUALIDADE DA ENERGIA APLICADOS NOS UPS

Como o objetivo desse trabalho é avaliar o desempenho dos UPS frente aos fenômenos de QEE (tabela 2.3). Cada forma de onda, que caracteriza um desses fenômenos é gerada³, através da fonte de alimentação e capturada pelo sistema de aquisição de dados.

Devido às particularidades de cada fenômeno, os resultados podem ser apresentados graficamente, ou através de parâmetros calculados por algoritmos associados aos fenômenos aplicados nos UPS.

Ressalta-se que em **todos os ensaios os UPS estão suprindo cargas resistivas**, conforme a potência nominal fornecida pelo manual do fabricante para cada topologia. Assim, fica como sugestão futura a aplicação dos métodos de ensaios desenvolvidos em cargas não-lineares.

3.4.1 - Transitórios

Aplica-se, na entrada de cada topologia de UPS, formas de ondas da tensão que caracterizam os fenômenos conhecidos como transitórios, conforme visto na tabela 2.3 do capítulo 2. Assim, as formas de onda da tensão e corrente, na entrada e saída do UPS, são capturadas pelo sistema de aquisição de dados, processadas através do programa *Matlab* e comparadas graficamente.

3.4.1.1 - Transitório Impulsivo

A figura 3.8 mostra a forma de onda da tensão de um transitório impulsivo gerado pela fonte descrita no item 3.1.2. Cabe ressaltar que o impulso gerado é associado aos transitórios impulsivos decorrentes de manobras em redes de média tensão (13,8 kV) refletido nas redes de baixa tensão. O transitório impulsivo gerado é caracterizado pelo tempo de duração (1,0 ms) e a magnitude da tensão de 2,45 pu (próximo a 400 V).

³ Devido à limitação da fonte de alimentação CA, o único fenômeno (tabela 2.4) não gerado é o classificado como inter-harmônico.

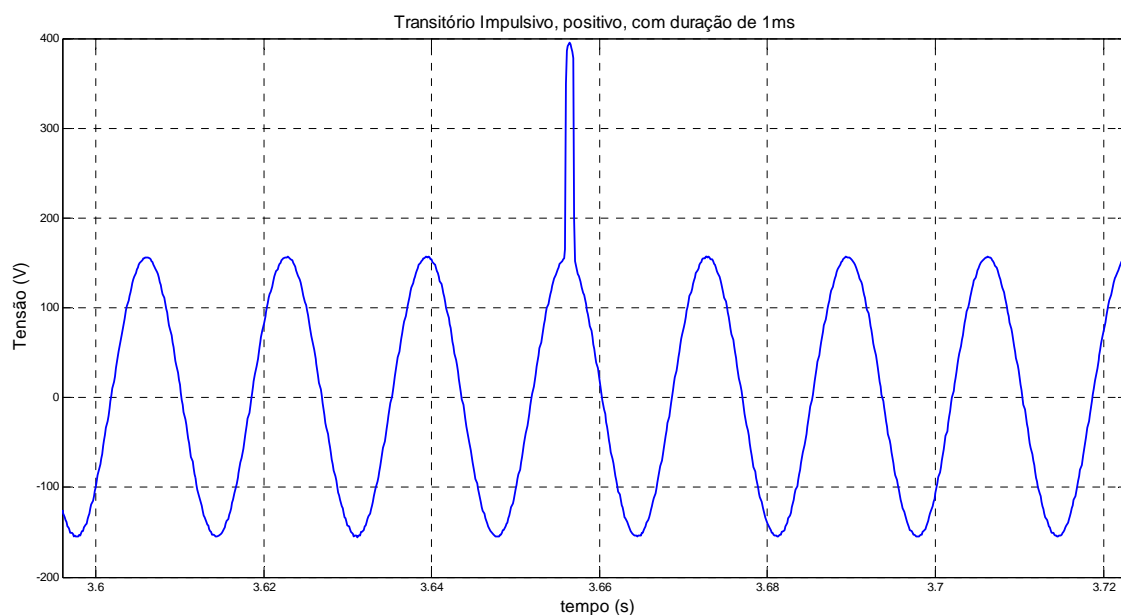


Figura 3. 8 – Forma de onda de um transitório impulsivo

Para cada UPS, são aplicadas formas de onda da tensão que caracterizam transitórios impulsivos conforme mostra a tabela 3.4. Os valores de tensão escolhidos servem como referência para verificar a compatibilidade desse evento com a curva ITIC. Logo, no capítulo 4, será mostrado a resiliência de cada topologia frente às formas de ondas da tabela citada.

Tabela 3. 4 – Parâmetros utilizados para gerar transitórios impulsivos.

Transitório impulsivo					
	Valor da Tensão em pu	Período do transitório (segundos)	Ângulo de início do transitório	Forma de Onda	Potência (%)
1ª forma de onda	2,4 pu	1 ms	90 °	senoidal	100
2ª forma de onda	2,4 pu	1 ms	90 °	senoidal	50
3ª forma de onda	2,4 pu	1 ms	90 °	senoidal	20
4ª forma de onda	2,4 pu	1 ms	90 °	senoidal	0
5ª forma de onda	2,0 pu	2 ms	70 °	senoidal	100
6ª forma de onda	2,0 pu	2 ms	70 °	senoidal	50
7ª forma de onda	2,0 pu	2 ms	70 °	senoidal	20
8ª forma de onda	2,0 pu	2 ms	70 °	senoidal	0

3.4.1.2 - Transitório Oscilatório

A figura 3.9 mostra a forma de onda da tensão de um transitório oscilatório, gerado pela fonte descrita no item 3.1.2. Cabe ressaltar que, o impulso gerado é associado aos transitórios oscilatórios decorrentes de manobras em redes de baixa tensão, como: chaveamento de um banco de capacitor, energização de transformadores, etc.

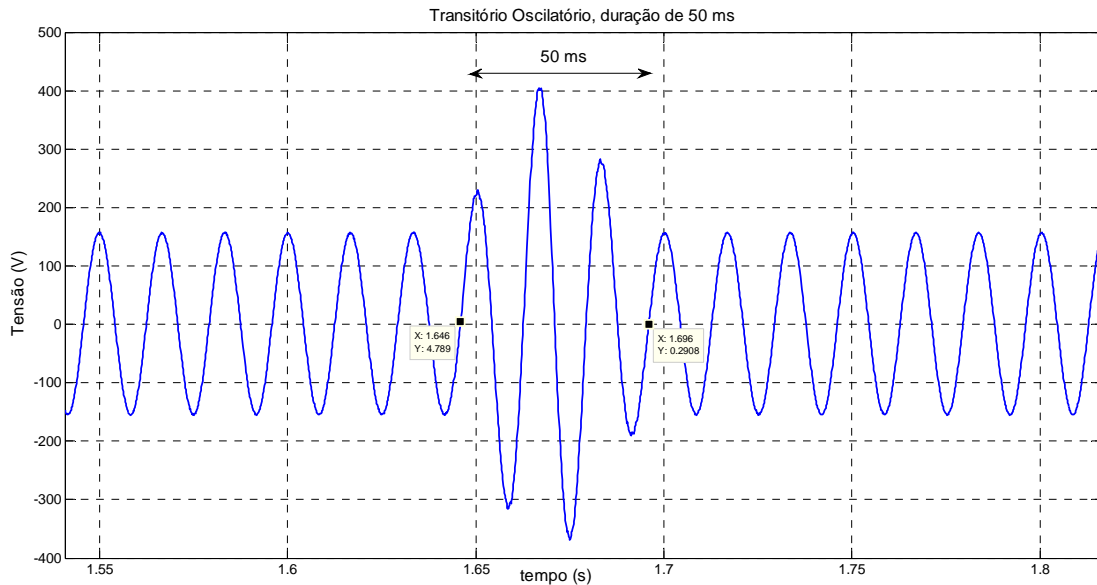


Figura 3. 9– Forma de onda de um transitório oscilatório

3.4.2 - Variações de Tensão de Curta Duração

Aplica-se, na entrada de cada topologia de UPS, formas de ondas que caracterizam os fenômenos conhecidos como variações de tensão de curta duração, conforme visto na tabela 2.3 do capítulo 2. Assim, as formas de onda da tensão e corrente, na entrada e saída do UPS, são captadas pelo sistema de aquisição de dados, processadas através do programa *Matlab* e comparadas graficamente.

Conforme a resposta de cada topologia de UPS, frente a essa classe de fenômeno, faz-se necessária a avaliação da compatibilidade entre a variação de tensão (gerada na saída do UPS durante o distúrbio) e a curva ITIC.

3.4.2.1 - Interrupções de curta duração

Para cada UPS serão aplicadas formas de onda da tensão que caracterizam interrupções instantâneas, momentâneas e temporárias, conforme mostram as tabelas 3.5, 3.6, e 3.7, respectivamente.

As interrupções de tensão podem ser geradas pela fonte por meio de ajustes dos parâmetros como: magnitude da tensão, frequência, forma de onda, intervalo do evento e o ângulo em que ocorre a interrupção. As figuras 3.10, 3.11 e 3.12 mostram respectivamente formas de onda da tensão, geradas pela fonte descrita no item 3.1.2, e captadas pelo sistema de aquisição de dados, distintas apenas no ajuste do ângulo de ocorrência da interrupção.

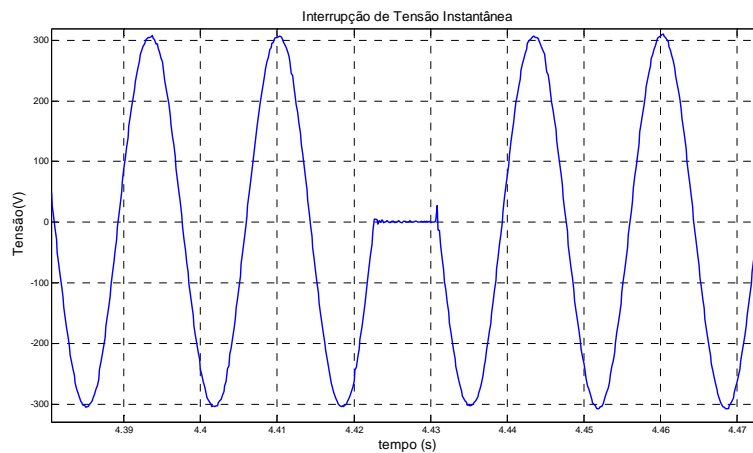


Figura 3. 10 - Interrupção de Tensão Instantânea, com duração de meio ciclo e iniciada em um ângulo de 0° grau.

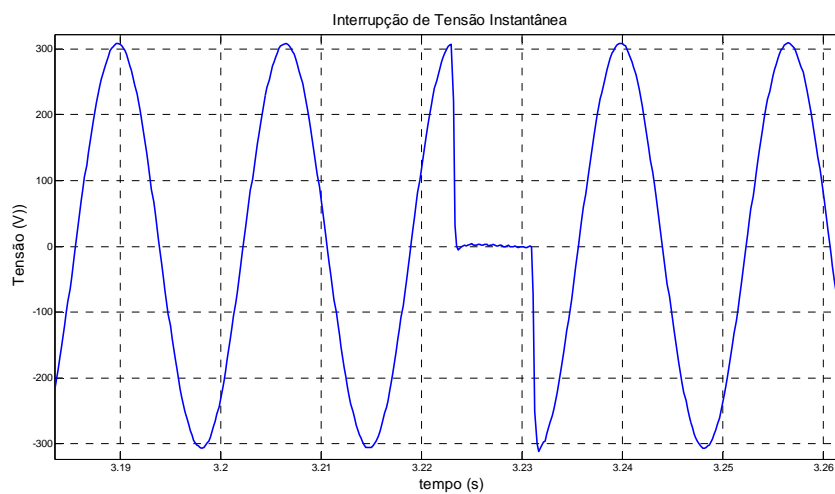


Figura 3. 11 - Interrupção de Tensão Instantânea, com duração de meio ciclo e iniciada em um ângulo de 90° grau.

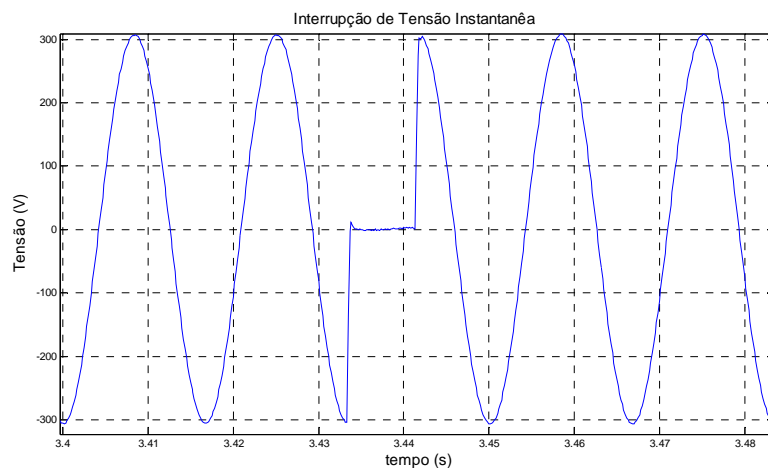


Figura 3. 12 - Interrupção de Tensão Instantânea, com duração de meio ciclo e iniciada em um ângulo de -90° grau.

Tabela 3. 5 - Parâmetros utilizados para gerar interrupções instantâneas.

Interrupção Instantânea					
	Valor da Tensão em pu	Período da Interrupção (ciclos)	Ângulo de Interrupção	Forma de Onda	Potência (%)
1ª forma de onda	0 pu	0,5 ciclo	0°	senoidal	100
2ª forma de onda	0 pu	0,5 ciclo	90°	senoidal	100
3ª forma de onda	0 pu	0,5 ciclo	-90°	senoidal	100
4ª forma de onda	0 pu	0,5 ciclo	0°	senoidal	50
5ª forma de onda	0 pu	0,5 ciclo	90°	senoidal	50
6ª forma de onda	0 pu	0,5 ciclo	-90°	senoidal	50
7ª forma de onda	0 pu	0,5 ciclo	0°	senoidal	20
8ª forma de onda	0 pu	0,5 ciclo	90°	senoidal	20
9ª forma de onda	0 pu	0,5 ciclo	-90°	senoidal	20
10ª forma de onda	0 pu	1 ciclo	0°	senoidal	100
11ª forma de onda	0 pu	1 ciclo	90°	senoidal	100
12ª forma de onda	0 pu	1 ciclo	-90°	senoidal	100
13ª forma de onda	0 pu	1 ciclo	0°	senoidal	50
14ª forma de onda	0 pu	1 ciclo	90°	senoidal	50
15ª forma de onda	0 pu	1 ciclo	-90°	senoidal	50
16ª forma de onda	0 pu	1 ciclo	0°	senoidal	20
17ª forma de onda	0 pu	1 ciclo	90°	senoidal	20
18ª forma de onda	0 pu	1 ciclo	-90°	senoidal	20
19ª forma de onda	0,09 pu	0,5 ciclo	-	senoidal	100
20ª forma de onda	0,09 pu	0,5 ciclo	-	senoidal	50

	Valor da Tensão em pu	Período da Interrupção (ciclos)	Ângulo de Interrupção	Forma de Onda	Potência (%)
21ª forma de onda	0,09 pu	0,5 ciclo	-	senoidal	20
22ª forma de onda	0,09 pu	1 ciclo	-	senoidal	100
23ª forma de onda	0,09 pu	1 ciclo	-	senoidal	50
24ª forma de onda	0,09 pu	1 ciclo	-	senoidal	20
25ª forma de onda	0,09 pu	2 ciclos	-	senoidal	100
26ª forma de onda	0,09 pu	2 ciclos	-	senoidal	50
27ª forma de onda	0,09 pu	2 ciclos	-	senoidal	20
28ª forma de onda	0,09 pu	5 ciclos	-	senoidal	100
29ª forma de onda	0,09 pu	5 ciclos	-	senoidal	50
30ª forma de onda	0,09 pu	5 ciclos	-	senoidal	20
31ª forma de onda	0,09 pu	10 ciclos	-	senoidal	100
32ª forma de onda	0,09 pu	10 ciclos	-	senoidal	50
33ª forma de onda	0,09 pu	10 ciclos	-	senoidal	20
34ª forma de onda	0,09 pu	30 ciclos	-	senoidal	100
35ª forma de onda	0,09 pu	30 ciclos	-	senoidal	50
36ª forma de onda	0,09 pu	30 ciclos	-	senoidal	20

Tabela 3.6 - Parâmetros utilizados para gerar interrupções momentâneas.

Interrupção Momentânea					
	Valor da Tensão em pu	Período da Interrupção (ciclos)	Ângulo de Interrupção	Forma de Onda	Potência (%)
1ª forma de onda	0 pu	35 ciclos	0°	senoidal	100
2ª forma de onda	0 pu	35 ciclos	90°	senoidal	100
3ª forma de onda	0 pu	35 ciclos	-90°	senoidal	100
4ª forma de onda	0 pu	35 ciclos	0°	senoidal	50
5ª forma de onda	0 pu	35 ciclos	90°	senoidal	50
6ª forma de onda	0 pu	35 ciclos	-90°	senoidal	50
7ª forma de onda	0 pu	35 ciclos	0°	senoidal	20
8ª forma de onda	0 pu	35 ciclos	90°	senoidal	20
9ª forma de onda	0 pu	35 ciclos	-90°	senoidal	20
10ª forma de onda	0 pu	70 ciclos	0°	senoidal	100
11ª forma de onda	0 pu	70 ciclos	90°	senoidal	100
12ª forma de onda	0 pu	70 ciclos	-90°	senoidal	100

	Valor da Tensão em pu	Período da Interrupção (ciclos)	Ângulo de Interrupção	Forma de Onda	Potência (%)
13ª forma de onda	0 pu	70 ciclos	0°	senoidal	50
14ª forma de onda	0 pu	70 ciclos	90°	senoidal	50
15ª forma de onda	0 pu	70 ciclos	-90°	senoidal	50
16ª forma de onda	0 pu	70 ciclos	0°	senoidal	20
17ª forma de onda	0 pu	70 ciclos	90°	senoidal	20
18ª forma de onda	0 pu	70 ciclos	-90°	senoidal	20
19ª forma de onda	0,09 pu	35 ciclos	-	senoidal	100
20ª forma de onda	0,09 pu	35 ciclos	-	senoidal	50
21ª forma de onda	0,09 pu	35 ciclos	-	senoidal	20
22ª forma de onda	0,09 pu	70 ciclos	-	senoidal	100
23ª forma de onda	0,09 pu	70 ciclos	-	senoidal	50
24ª forma de onda	0,09 pu	70 ciclos	-	senoidal	20
25ª forma de onda	0,09 pu	100 ciclos	-	senoidal	100
26ª forma de onda	0,09 pu	100 ciclos	-	senoidal	50
27ª forma de onda	0,09 pu	100 ciclos	-	senoidal	20
28ª forma de onda	0,09 pu	150 ciclos	-	senoidal	100
29ª forma de onda	0,09 pu	150 ciclos	-	senoidal	50
30ª forma de onda	0,09 pu	150 ciclos	-	senoidal	20
31ª forma de onda	0,09 pu	180 ciclos	-	senoidal	100
32ª forma de onda	0,09 pu	180 ciclos	-	senoidal	50
33ª forma de onda	0,09 pu	180 ciclos	-	senoidal	20

A figura 3.13 mostra a forma de onda de uma interrupção de tensão temporária gerada pela fonte e captada pelo sistema de aquisição de dados.

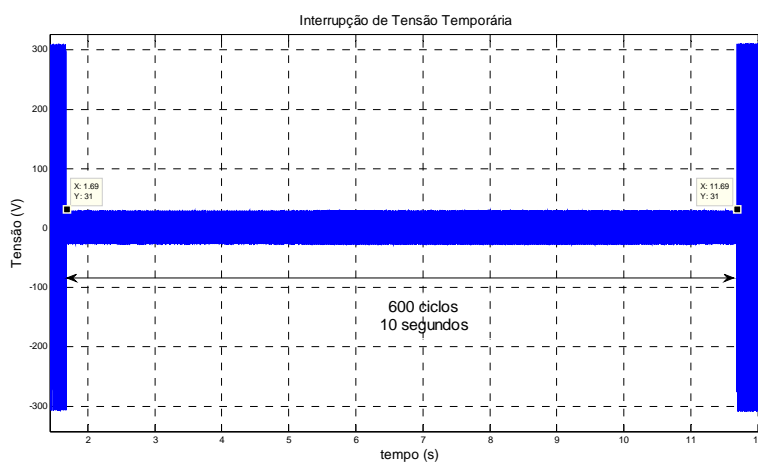


Figura 3.13 -Interrupção de Tensão Temporária, com duração de 600 ciclos e magnitude de 0,09 pu .

Tabela 3. 7 - Parâmetros utilizados para gerar interrupções temporárias.

Interrupção Temporária					
	Valor da Tensão em pu	Período da Interrupção (ciclos)	Ângulo de Interrupção	Forma de Onda	Potência (%)
1ª forma de onda	0,09 pu	200 ciclos	-	senoidal	100
2ª forma de onda	0,09 pu	200 ciclos	-	senoidal	50
3ª forma de onda	0,09 pu	200 ciclos	-	senoidal	20
4ª forma de onda	0,09 pu	600 ciclos	-	senoidal	100
5ª forma de onda	0,09 pu	600 ciclos	-	senoidal	50
6ª forma de onda	0,09 pu	600 ciclos	-	senoidal	20
7ª forma de onda	0,09 pu	3000 ciclos	-	senoidal	100
8ª forma de onda	0,09 pu	3000 ciclos	-	senoidal	50
9ª forma de onda	0,09 pu	3000 ciclos	-	senoidal	20

3.4.2.2 - Afundamento de Tensão (*Sag*)

Para cada UPS são aplicadas formas de onda da tensão que caracterizam afundamentos de tensão instantâneo, momentâneo e temporário, conforme mostram as tabelas 3.8, 3.9, e 3.10, respectivamente.

Tabela 3. 8 - Parâmetros utilizados para gerar afundamentos de tensões instantâneos.

Afundamento de Tensão Instantâneo					
	Valor da Tensão em pu	Período do Afundamento (ciclos)	Ângulo de Interrupção	Forma de Onda	Potência (%)
1ª forma de onda	0,3 pu	0,5 ciclo	-	senoidal	100
2ª forma de onda	0,3 pu	0,5 ciclo	-	senoidal	50
3ª forma de onda	0,3 pu	0,5 ciclo	-	senoidal	20
4ª forma de onda	0,8 pu	0,5 ciclo	-	senoidal	100
5ª forma de onda	0,8 pu	0,5 ciclo	-	senoidal	50
6ª forma de onda	0,8 pu	0,5 ciclo	-	senoidal	20
7ª forma de onda	0,3 pu	1 ciclo	-	senoidal	100
8ª forma de onda	0,3 pu	1 ciclo	-	senoidal	50

	Valor da Tensão em pu	Período do Afundamento (ciclos)	Ângulo de Interrupção	Forma de Onda	Potência (%)
9ª forma de onda	0,3 pu	1 ciclo	-	senoidal	20
10ª forma de onda	0,8 pu	1 ciclo	-	senoidal	100
11ª forma de onda	0,8 pu	1 ciclo	-	senoidal	50
12ª forma de onda	0,8 pu	1 ciclo	-	senoidal	20
13ª forma de onda	0,3 pu	2 ciclos	-	senoidal	100
14ª forma de onda	0,3 pu	2 ciclos	-	senoidal	50
15ª forma de onda	0,3 pu	2 ciclos	-	senoidal	20
16ª forma de onda	0,8 pu	2 ciclos	-	senoidal	100
17ª forma de onda	0,8 pu	2 ciclos	-	senoidal	50
18ª forma de onda	0,8 pu	2 ciclos	-	senoidal	20
19ª forma de onda	0,3 pu	5 ciclos	-	senoidal	100
20ª forma de onda	0,3 pu	5 ciclos	-	senoidal	50
21ª forma de onda	0,3 pu	5 ciclos	-	senoidal	20
22ª forma de onda	0,8 pu	5 ciclos	-	senoidal	100
23ª forma de onda	0,8 pu	5 ciclos	-	senoidal	50
24ª forma de onda	0,8 pu	5 ciclos	-	senoidal	20
25ª forma de onda	0,3 pu	10 ciclos	-	senoidal	100
26ª forma de onda	0,3 pu	10 ciclos	-	senoidal	50
27ª forma de onda	0,3 pu	10 ciclos	-	senoidal	20
28ª forma de onda	0,8 pu	10 ciclos	-	senoidal	100
29ª forma de onda	0,8 pu	10 ciclos	-	senoidal	50
30ª forma de onda	0,8 pu	10 ciclos	-	senoidal	20
31ª forma de onda	0,3 pu	30 ciclos	-	senoidal	100
32ª forma de onda	0,3 pu	30 ciclos	-	senoidal	50
33ª forma de onda	0,3 pu	30 ciclos	-	senoidal	20
34ª forma de onda	0,8 pu	30 ciclos	-	senoidal	100
35ª forma de onda	0,8 pu	30 ciclos	-	senoidal	50
36ª forma de onda	0,8 pu	30 ciclos	-	senoidal	20

A figura 3.14 mostra a forma de onda de um afundamento de tensão instantâneo gerado pela fonte e captado pelo sistema de aquisição de dados.

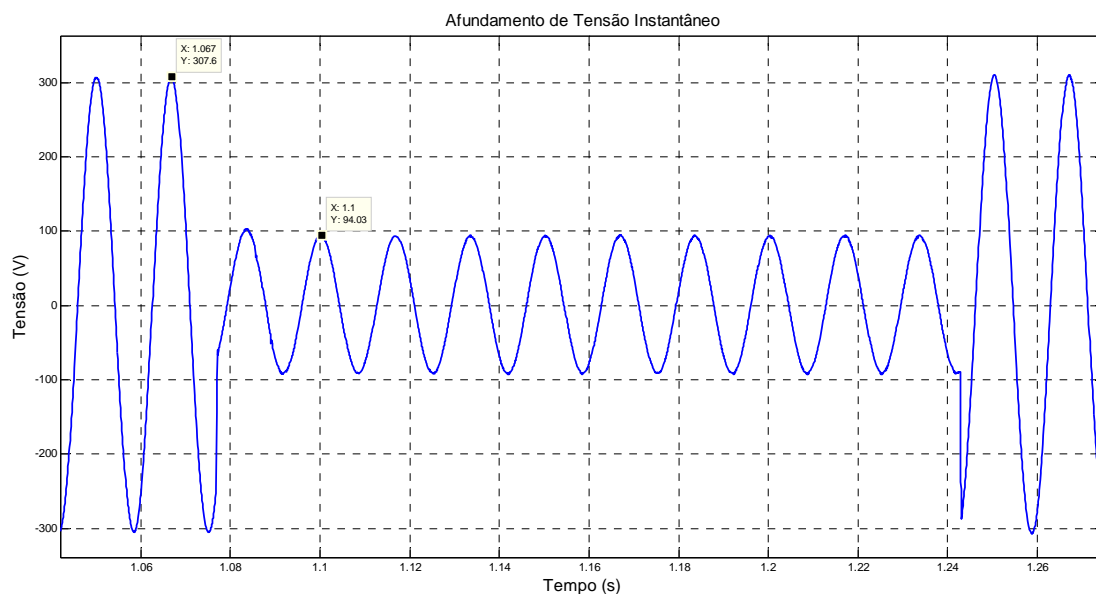


Figura 3. 14 - Afundamento de tensão instantâneo com magnitude de 0,3 pu e duração de 10 ciclos.

Tabela 3. 9 - Parâmetros utilizados para gerar afundamentos de tensões momentâneos.

Afundamento de Tensão Momentâneo					
	Valor da Tensão em pu	Período do Afundamento (ciclos)	Ângulo de Interrupção	Forma de Onda	Potência (%)
1ª forma de onda	0,3 pu	35 ciclos	-	senoidal	100
2ª forma de onda	0,3 pu	35 ciclos	-	senoidal	50
3ª forma de onda	0,3 pu	35 ciclos	-	senoidal	20
4ª forma de onda	0,8 pu	35 ciclos	-	senoidal	100
5ª forma de onda	0,8 pu	35 ciclos	-	senoidal	50
6ª forma de onda	0,8 pu	35 ciclos	-	senoidal	20
7ª forma de onda	0,3 pu	70 ciclos	-	senoidal	100
8ª forma de onda	0,3 pu	70 ciclos	-	senoidal	50
9ª forma de onda	0,3 pu	70 ciclos	-	senoidal	20
10ª forma de onda	0,8 pu	70 ciclos	-	senoidal	100
11ª forma de onda	0,8 pu	70 ciclos	-	senoidal	50
12ª forma de onda	0,8 pu	70 ciclos	-	senoidal	20
13ª forma de onda	0,3 pu	100 ciclos	-	senoidal	100
14ª forma de onda	0,3 pu	100 ciclos	-	senoidal	50
15ª forma de onda	0,3 pu	100 ciclos	-	senoidal	20
16ª forma de onda	0,8 pu	100 ciclos	-	senoidal	100
17ª forma de onda	0,8 pu	100 ciclos	-	senoidal	50

	Valor da Tensão em pu	Período do Afundamento (ciclos)	Ângulo de Interrupção	Forma de Onda	Potência (%)
18ª forma de onda	0,8 pu	100 ciclos	-	senoidal	20
19ª forma de onda	0,3 pu	180 ciclos	-	senoidal	100
20ª forma de onda	0,3 pu	180 ciclos	-	senoidal	50
21ª forma de onda	0,3 pu	180 ciclos	-	senoidal	20
22ª forma de onda	0,8 pu	180 ciclos	-	senoidal	100
23ª forma de onda	0,8 pu	180 ciclos	-	senoidal	50
24ª forma de onda	0,8 pu	180 ciclos	-	senoidal	20

Tabela 3. 10 - Parâmetros utilizados para gerar afundamentos de tensões temporários.

Afundamento de Tensão Temporário					
	Valor da Tensão em pu	Período do Afundamento (ciclos)	Ângulo de Interrupção	Forma de Onda	Potência (%)
1ª forma de onda	0,3 pu	200 ciclos	-	senoidal	100
2ª forma de onda	0,3 pu	200 ciclos	-	senoidal	50
3ª forma de onda	0,3 pu	200 ciclos	-	senoidal	20
4ª forma de onda	0,6 pu	200 ciclos	-	senoidal	100
5ª forma de onda	0,6 pu	200 ciclos	-	senoidal	50
6ª forma de onda	0,6 pu	200 ciclos	-	senoidal	20
7ª forma de onda	0,8 pu	200 ciclos	-	senoidal	100
8ª forma de onda	0,8 pu	200 ciclos	-	senoidal	50
9ª forma de onda	0,8 pu	200 ciclos	-	senoidal	20
10ª forma de onda	0,3 pu	400 ciclo	-	senoidal	100
11ª forma de onda	0,3 pu	400 ciclo	-	senoidal	50
12ª forma de onda	0,3 pu	400 ciclo	-	senoidal	20
13ª forma de onda	0,6 pu	400 ciclo	-	senoidal	100
14ª forma de onda	0,6 pu	400 ciclo	-	senoidal	50
15ª forma de onda	0,6 pu	400 ciclo	-	senoidal	20
16ª forma de onda	0,8 pu	400 ciclo	-	senoidal	100
17ª forma de onda	0,8 pu	400 ciclo	-	senoidal	50
18ª forma de onda	0,8 pu	400 ciclo	-	senoidal	20
19ª forma de onda	0,3 pu	1200 ciclos	-	senoidal	100
20ª forma de onda	0,3 pu	1200 ciclos	-	senoidal	50
21ª forma de onda	0,3 pu	1200 ciclos	-	senoidal	20
22ª forma de onda	0,6 pu	1200 ciclos	-	senoidal	100

	Valor da Tensão em pu	Período do Afundamento (ciclos)	Ângulo de Interrupção	Forma de Onda	Potência (%)
23ª forma de onda	0,6 pu	1200 ciclos	-	senoidal	50
24ª forma de onda	0,6 pu	1200 ciclos	-	senoidal	20
25ª forma de onda	0,8 pu	1200 ciclos	-	senoidal	100
26ª forma de onda	0,8 pu	1200 ciclos	-	senoidal	50
27ª forma de onda	0,8 pu	1200 ciclos	-	senoidal	20

3.4.2.3 - Elevação de Tensão (*Swell*)

Para cada UPS são aplicadas formas de onda da tensão que caracterizam elevação de tensão instantânea, momentânea e temporária, conforme mostram as tabelas 3.11, 3.12, e 3.13, respectivamente.

A figura 3.15 mostra a forma de onda de uma elevação de tensão instantânea de quatro ciclos gerada pela fonte e captada pelo sistema de aquisição de dados.

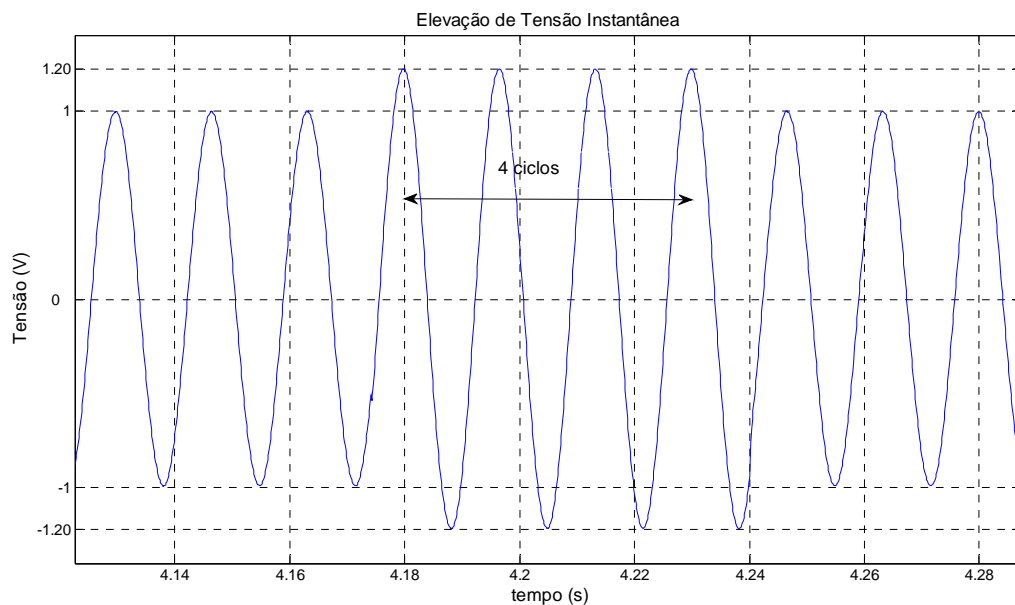


Figura 3. 15 - Elevação de tensão instantânea com magnitude de 1,2 pu e intervalo de 4 ciclos.

Tabela 3. 11 - Parâmetros utilizados para gerar elevações de tensões instantâneas.

Elevação de Tensão Instantânea					
	Valor da Tensão em pu	Período da Interrupção (ciclos)	Ângulo de Interrupção	Forma de Onda	Potência (%)
1ª forma de onda	1,35 pu	0,5 ciclo	-	senoidal	100
2ª forma de onda	1,35 pu	0,5 ciclo	-	senoidal	50
3ª forma de onda	1,35 pu	0,5 ciclo	-	senoidal	20
4ª forma de onda	1,65 pu	0,5 ciclo	-	senoidal	100
5ª forma de onda	1,65 pu	0,5 ciclo	-	senoidal	50
6ª forma de onda	1,65 pu	0,5 ciclo	-	senoidal	20
7ª forma de onda	1,35 pu	1 ciclo	-	senoidal	100
8ª forma de onda	1,35 pu	1 ciclo	-	senoidal	50
9ª forma de onda	1,35 pu	1 ciclo	-	senoidal	20
10ª forma de onda	1,65 pu	1 ciclo	-	senoidal	100
11ª forma de onda	1,65 pu	1 ciclo	-	senoidal	50
12ª forma de onda	1,65 pu	1 ciclo	-	senoidal	20
13ª forma de onda	1,35 pu	2 ciclos	-	senoidal	100
14ª forma de onda	1,35 pu	2 ciclos	-	senoidal	50
15ª forma de onda	1,35 pu	2 ciclos	-	senoidal	20
16ª forma de onda	1,65 pu	2 ciclos	-	senoidal	100
17ª forma de onda	1,65 pu	2 ciclos	-	senoidal	50
18ª forma de onda	1,65 pu	2 ciclos	-	senoidal	20
19ª forma de onda	1,35 pu	5 ciclos	-	senoidal	100
20ª forma de onda	1,35 pu	5 ciclos	-	senoidal	50
21ª forma de onda	1,35 pu	5 ciclos	-	senoidal	20
22ª forma de onda	1,65 pu	5 ciclos	-	senoidal	100
23ª forma de onda	1,65 pu	5 ciclos	-	senoidal	50
24ª forma de onda	1,65 pu	5 ciclos	-	senoidal	20
25ª forma de onda	1,35 pu	10 ciclos	-	senoidal	100
26ª forma de onda	1,35 pu	10 ciclos	-	senoidal	50
27ª forma de onda	1,35 pu	10 ciclos	-	senoidal	20
28ª forma de onda	1,65 pu	10 ciclos	-	senoidal	100
29ª forma de onda	1,65 pu	10 ciclos	-	senoidal	50
30ª forma de onda	1,65 pu	10 ciclos	-	senoidal	20
31ª forma de onda	1,35 pu	30 ciclos	-	senoidal	100
32ª forma de onda	1,35 pu	30 ciclos	-	senoidal	50
33ª forma de onda	1,35 pu	30 ciclos	-	senoidal	20

	Valor da Tensão em pu	Período de Elevação (ciclos)	Ângulo de Interrupção	Forma de Onda	Potência (%)
34ª forma de onda	1,65 pu	30 ciclos	-	senoidal	100
35ª forma de onda	1,65 pu	30 ciclos	-	senoidal	50
36ª forma de onda	1,65 pu	30 ciclos	-	senoidal	20

Tabela 3. 12 - Parâmetros utilizados para gerar elevações de tensões momentâneas.

Elevação de Tensão Momentânea					
	Valor da Tensão em pu	Período da Elevação (ciclos)	Ângulo de Interrupção	Forma de Onda	Potência (%)
1ª forma de onda	1,15 pu	35 ciclos	-	senoidal	100
2ª forma de onda	1,15 pu	35 ciclos	-	senoidal	50
3ª forma de onda	1,15 pu	35 ciclos	-	senoidal	20
4ª forma de onda	1,35 pu	35 ciclos	-	senoidal	100
5ª forma de onda	1,35 pu	35 ciclos	-	senoidal	50
6ª forma de onda	1,35 pu	35 ciclos	-	senoidal	20
7ª forma de onda	1,15 pu	70 ciclos	-	senoidal	100
8ª forma de onda	1,15 pu	70 ciclos	-	senoidal	50
9ª forma de onda	1,15 pu	70 ciclos	-	senoidal	20
10ª forma de onda	1,35 pu	70 ciclos	-	senoidal	100
11ª forma de onda	1,35 pu	70 ciclos	-	senoidal	50
12ª forma de onda	1,35 pu	70 ciclos	-	senoidal	20
13ª forma de onda	1,15 pu	100 ciclos	-	senoidal	100
14ª forma de onda	1,15 pu	100 ciclos	-	senoidal	50
15ª forma de onda	1,15 pu	100 ciclos	-	senoidal	20
16ª forma de onda	1,35 pu	100 ciclos	-	senoidal	100
17ª forma de onda	1,35 pu	100 ciclos	-	senoidal	50
18ª forma de onda	1,35 pu	100 ciclos	-	senoidal	20
19ª forma de onda	1,15 pu	180 ciclos	-	senoidal	100
20ª forma de onda	1,15 pu	180 ciclos	-	senoidal	50
21ª forma de onda	1,15 pu	180 ciclos	-	senoidal	20
22ª forma de onda	1,35 pu	180 ciclos	-	senoidal	100
23ª forma de onda	1,35 pu	180 ciclos	-	senoidal	50
24ª forma de onda	1,35 pu	180 ciclos	-	senoidal	20

Tabela 3. 13 - Parâmetros utilizados para gerar elevações de tensões temporárias.

Elevação de Tensão Temporária					
	Valor da Tensão em pu	Período da Interrupção (ciclos)	Ângulo de Interrupção	Forma de Onda	Potência (%)
1ª forma de onda	1,1 pu	200 ciclos	-	senoidal	100
2ª forma de onda	1,1 pu	200 ciclos	-	senoidal	50
3ª forma de onda	1,1 pu	200 ciclos	-	senoidal	20
4ª forma de onda	1,2 pu	200 ciclos	-	senoidal	100
5ª forma de onda	1,2 pu	200 ciclos	-	senoidal	50
6ª forma de onda	1,2 pu	200 ciclos	-	senoidal	20
7ª forma de onda	1,1 pu	400 ciclos	-	senoidal	100
8ª forma de onda	1,1 pu	400 ciclos	-	senoidal	50
9ª forma de onda	1,1 pu	400 ciclos	-	senoidal	20
10ª forma de onda	1,2 pu	400 ciclos	-	senoidal	100
11ª forma de onda	1,2 pu	400 ciclos	-	senoidal	50
12ª forma de onda	1,2 pu	400 ciclos	-	senoidal	20
13ª forma de onda	1,1 pu	1200 ciclos	-	senoidal	100
14ª forma de onda	1,1 pu	1200 ciclos	-	senoidal	50
15ª forma de onda	1,1 pu	1200 ciclos	-	senoidal	20
16ª forma de onda	1,2 pu	1200 ciclos	-	senoidal	100
17ª forma de onda	1,2 pu	1200 ciclos	-	senoidal	50
18ª forma de onda	1,2 pu	1200 ciclos	-	senoidal	20

3.4.3 – Variações de Tensão de Longa Duração

São aplicadas, na entrada de cada topologia de UPS, formas de ondas que caracterizam os fenômenos conhecidos como variações de tensão de longa duração. Assim, as formas de onda da tensão e corrente, na entrada e saída do UPS, são captadas pelo sistema de aquisição de dados, processadas através do programa *Matlab* e comparadas graficamente.

3.4.3.1 – Interrupção sustentada

Para cada UPS são aplicadas formas de onda da tensão que caracterizam interrupção sustentada, subtensão sustentada e sobretensão sustentada, conforme mostram as tabelas 3.14, 3.15, e 3.16, respectivamente.

Tabela 3. 14 - Parâmetros utilizados para gerar interrupções de tensão sustentada.

Interrupção sustentada					
	Valor da Tensão em pu	Período da Interrupção (segundos)	Ângulo de Interrupção	Forma de Onda	Potência (%)
1ª forma de onda	0 pu	70	90 °	senoidal	100
2ª forma de onda	0 pu	70	90 °	senoidal	50
3ª forma de onda	0 pu	70	90 °	senoidal	20

A figura 3.16 mostra a forma de onda de uma interrupção sustentada de 70 segundos gerada pela fonte e captada pelo sistema de aquisição de dados.

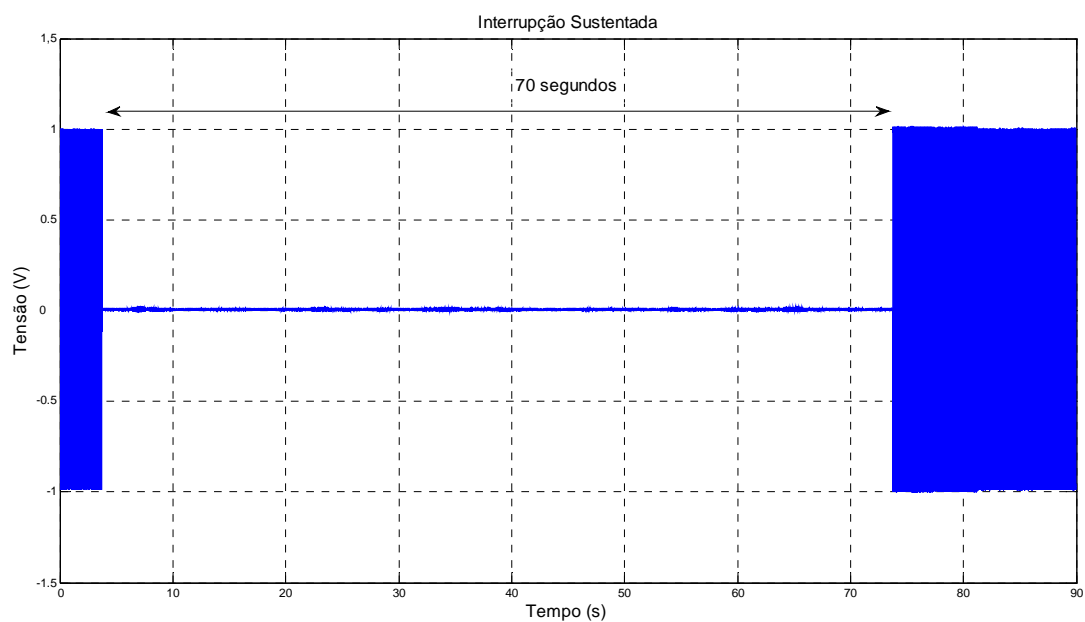


Figura 3. 16 - Interrupção sustentada com intervalo de 70 segundos

3.4.3.2 - Subtensão sustentada

Tabela 3. 15 - Parâmetros utilizados para gerar subtensão sustentada.

Subtensão sustentada				
	Valor da Tensão em pu	Período da subtensão (segundos)	Ângulo de início da subtensão	Forma de Onda
1ª forma de onda	0,80 pu	70	90 °	senoidal
2ª forma de onda	0,82 pu	70	90 °	senoidal
3ª forma de onda	0,86 pu	70	90 °	senoidal
4ª forma de onda	0,90 pu	70	90 °	senoidal

A figura 3.17 mostra a forma de onda de uma subtensão sustentada de 2 minutos gerada pela fonte e captada pelo sistema de aquisição de dados.

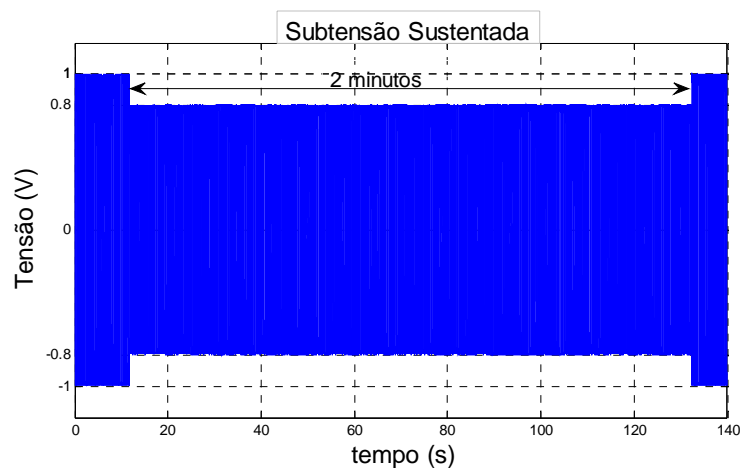


Figura 3. 17 - Subtensão sustentada com magnitude de 0,8 pu e intervalo de 2 minutos.

3.4.3.3 – Sobretensão sustentada

Tabela 3. 16 - Parâmetros utilizados para gerar sobretensão sustentada.

Sobretensão sustentada				
	Valor da Tensão em pu	Período da sobretensão (segundos)	Ângulo de início da sobretensão	Forma de Onda
1ª forma de onda	1,10 pu	70	90 °	senoidal
2ª forma de onda	1,14 pu	70	90 °	senoidal
3ª forma de onda	1,16 pu	70	90 °	senoidal
4ª forma de onda	1,20 pu	70	90 °	senoidal

A figura 3.18 mostra a forma de onda de uma sobretensão sustentada de 2 minutos gerada pela fonte e captada pelo sistema de aquisição de dados.

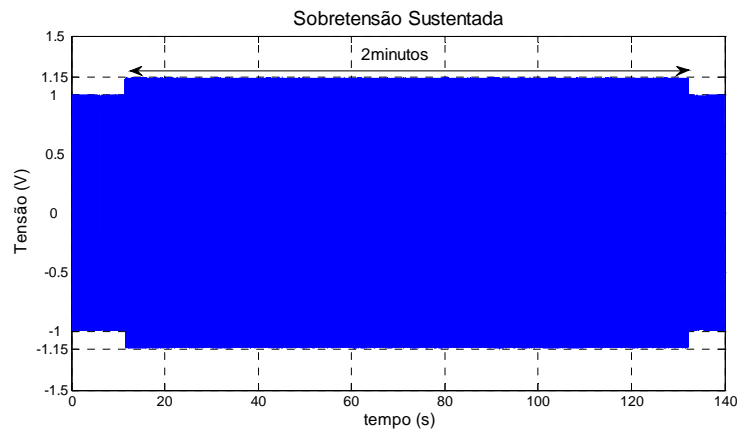


Figura 3.18 - Sobretensão sustentada com magnitude de 1,15 pu e intervalo de 2 minutos.

3.4.4 – Desequilíbrio de Tensão

São aplicadas, na topologia Dupla Conversão trifásica⁴, formas de ondas que caracterizam os fenômenos conhecidos como desequilíbrio de tensão. Assim, as formas de ondas da tensão e corrente, na entrada e saída do UPS, são captadas pelo sistema de aquisição de dados, processadas através do programa *Matlab* e comparadas graficamente. A figura 3.19 mostra a forma de onda (trifásica) de um desequilíbrio de tensão gerado pela fonte e captada pelo sistema de aquisição de dados.

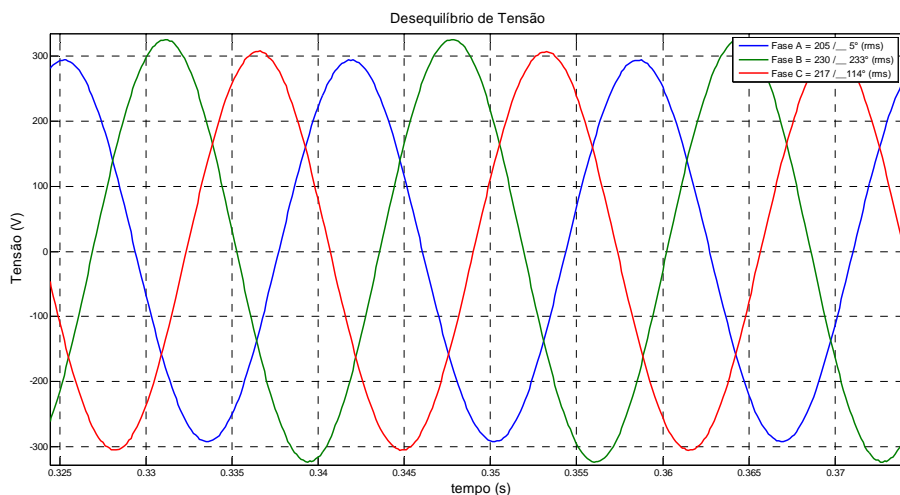


Figura 3.19 - Desequilíbrio de tensão

⁴ Devido à indisponibilidade de um UPS trifásico, o ensaio referente a esse fenômeno não foi realizado. Assim, fica como sugestão de trabalhos futuros a realização desse ensaio.

3.4.5 - Distorções na Forma de Onda

São aplicadas, na entrada de cada topologia de UPS, formas de ondas que caracterizam os fenômenos conhecidos como distorção na forma de onda. Assim, as formas de onda da tensão e corrente, na entrada e saída do UPS, são captadas pelo sistema de aquisição de dados, processadas através do programa *Matlab* e comparadas graficamente.

3.4.5.1 - Desvio do Nível CC

A figura 3.20 mostra a distorção na forma de onda da tensão, devido ao desvio do nível CC de +10 V, gerada pela fonte e captada pelo sistema de aquisição de dados. Para a topologia Dupla Conversão, aplica-se formas de onda da tensão que caracterizam o desvio do nível CC, conforme mostra a tabela 3.17. Já para as topologias *Passive Standby* e Linha Interativa, os desvios do nível CC de $\pm 5,0V$ não são aplicados.

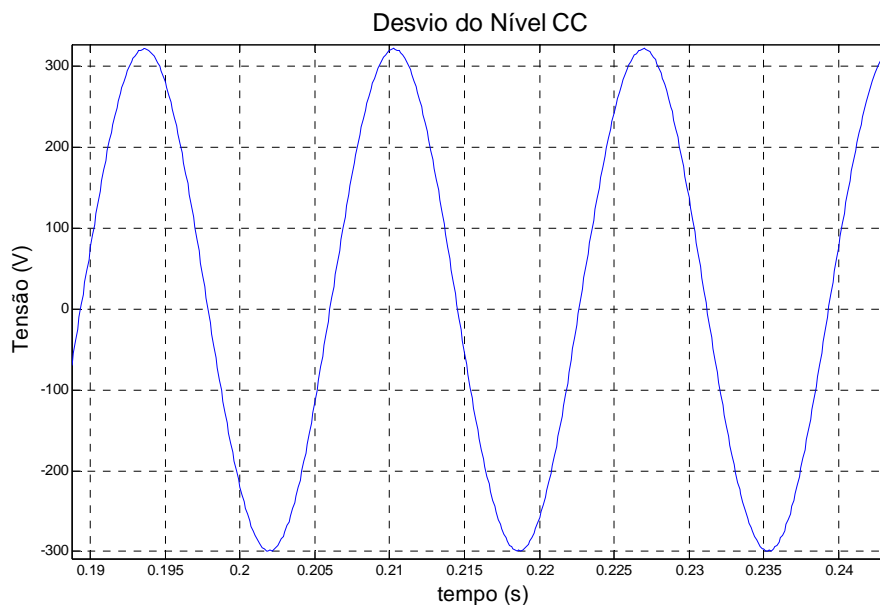


Figura 3. 20 - Forma de onda da tensão com desvio do nível CC no valor de +10V.

Tabela 3. 17 – Parâmetros utilizados para gerar desvio do nível CC

Desvio do nível CC			
	Valor da frequência nominal (Hz)	Valor do desvio do nível CC (Volts)	Forma de onda da tensão em regime permanente
1ª forma de onda	60	5,0	senoidal
2ª forma de onda	60	2,0	senoidal
3ª forma de onda	60	1,0	senoidal
4ª forma de onda	60	0,5	senoidal
5ª forma de onda	60	-0,5	senoidal
6ª forma de onda	60	-1,0	senoidal
7ª forma de onda	60	-2,0	senoidal
8ª forma de onda	60	-5,0	senoidal

3.4.5.2 - Distorção Harmônica

A figura 3.21 mostra a distorção na forma de onda da tensão, devido à presença de harmônicas (4ª forma de onda, tabela 3.18), gerada pela fonte e captada pelo sistema de aquisição de dados. Para cada UPS são aplicadas formas de onda da tensão que caracterizam uma distorção harmônica, conforme mostra a tabela 3.18.

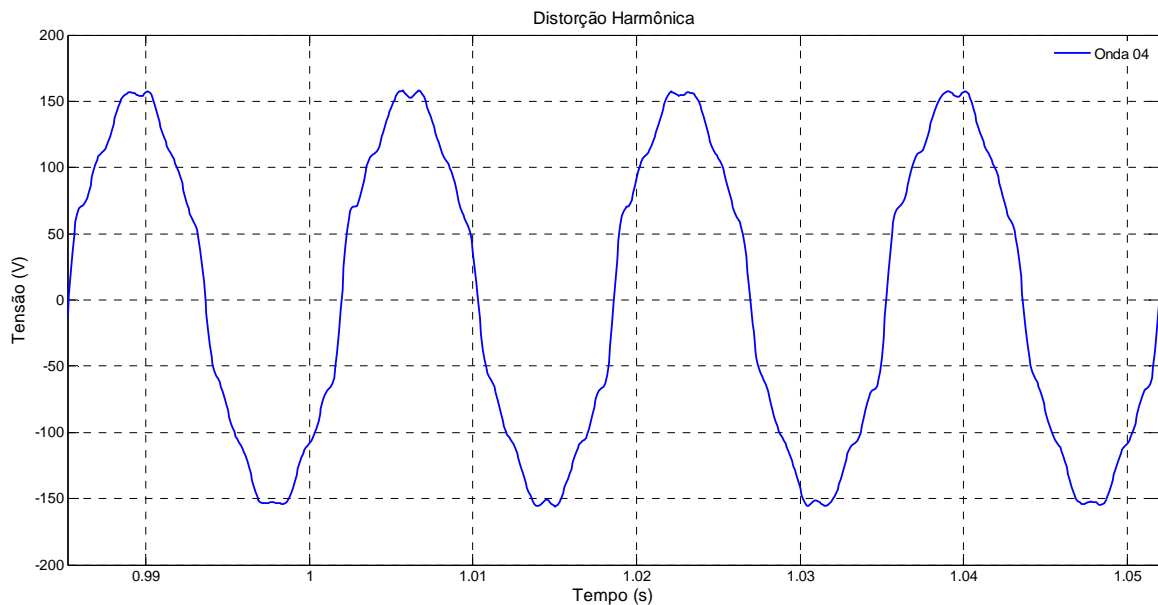


Figura 3. 21 - Forma de onda da tensão distorcida com a presença de harmônicas.

Tabela 3. 18 – Parâmetros utilizados para gerar distorção harmônica da tensão.

Distorção Harmônica da tensão				
Ordem Harmônica	1ª forma de onda ⁽ⁱ⁾	2ª forma de onda ⁽ⁱⁱ⁾	3ª forma de onda ⁽ⁱⁱⁱ⁾	4ª forma de onda ^(iv)
1	100%	100%	100%	100%
2	-	-	2,5%	1,5%
3	6,5%	5%	6,5%	5%
4	-	-	1,5%	1,2%
5	7,5%	6%	7,5%	6%
6	-	-	1,0%	0,8%
7	6,5%	4,0%	6,5%	4,0%
8	-	-	1,0%	0,6%
9	2,0%	1,5%	2,0%	1,0%
10	-	-	1,0%	0,5%
11	4,5%	4,0%	4,5%	3,5%
12	-	-	1,0%	0,5%
13	4,0%	2%	4,0%	2%
14	-	-	1,0%	0,5%
15	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
THD	12,9%	10%	13,98%	10%

- i) 1ª forma de onda da tensão, apenas com harmônicos ímpares, excede o limite de 10% do THD estabelecido pela Aneel.
- ii) 2ª forma de onda da tensão, apenas com harmônicos ímpares, compatível com o limite de THD estabelecido pela Aneel.
- iii) 3ª forma de onda da tensão, com harmônicos pares e ímpares, excede o limite de 10% do THD estabelecido pela Aneel.
- iv) 4ª forma de onda da tensão, com harmônicos pares e ímpares, compatível com o limite de THD estabelecido pela Aneel.

Ao conhecer a arquitetura básica dos UPS estáticos (item 2.3), sabe-se que o retificador entrega à bateria uma tensão CC com presença de pequenas ondulações (*ripple*). Entretanto, como visto no item 2.3.2, a norma IEEE 1184 (2006) estabelece um limite de 3,5% do valor nominal da tensão CC entregue a cada bateria. Desse modo, os ensaios referentes a esse fenômeno devem monitorar tanto a forma de onda da tensão de entrada e saída do equipamento quanto o valor do *ripple* entregue a cada bateria.

Assim, para monitorar a forma de onda da tensão de entrada e saída utiliza-se o sistema de aquisição de dados. E para monitorar as ondulações de tensão CC entregue à bateria usa-se um osciloscópio digital, o qual permite a captura da forma de onda do sinal analisado e o cálculo dos valores de *ripple* para cada caso ensaiado (tabela 3.18).

Outro parâmetro, a ser analisado nos ensaios relacionados a esse fenômeno, foi discutido no item 2.5.3.3. Parâmetro este em que aplicada uma forma de onda da tensão com a presença de componentes harmônicos - 2ª forma de onda da tabela 3.18 - permite avaliar a conformidade entre os limites de **componentes harmônicas individuais de tensão** (tabela 2.8) e os limites de **componentes harmônicas individuais de corrente** (tabela 2.9), através de espectros da forma de onda da tensão e corrente, na entrada do equipamento (UPS visto como uma carga).

Cabe ressaltar que a metodologia utilizada no parágrafo anterior é, preferencialmente, empregada na topologia Dupla Conversão. Já que esses equipamentos são considerados como uma carga não-linear, independentemente, da carga que estes supram (resistiva ou não-linear), uma vez que possuem um retificador conectado em série com a carga suprida, conforme apresentado na figura 2.15.

Em suma, a tabela 3.19 apresenta um resumo dos possíveis aspectos a serem analisados, a fim de avaliar o desempenho de cada topologia de UPS, frente às distorções harmônicas. Na primeira linha, utilizam-se as formas de ondas da tensão e corrente na entrada e saída do UPS para a análise de todas as topologias. Na segunda linha, analisam-se somente os espectros da tensão e corrente de entrada na topologia Dupla Conversão. Os aspectos da terceira linha não foram analisados. A quarta linha mostra que se pode analisar a conformidade, entre as formas de ondas (tabela 3.18) aplicadas em cada topologia e, o limite de *ripple* na bateria estabelecido pela norma IEEE 1184 (2006). Fica como sugestão para trabalhos futuros a análise dos aspectos restantes, indicados na tabela 3.19.

Tabela 3. 19 – Parâmetros analisados a fim de avaliar o desempenho de cada topologia de UPS frente às distorções harmônicas.

	<i>Passive Standby</i>	Linha Interativa	Dupla Conversão
Formas de onda da tensão e corrente na entrada e saída do equipamento	sim	sim	sim
Espectro da tensão e corrente na entrada do equipamento	não	não	sim
Espectro da tensão e corrente na saída do equipamento	não	não	não
Valor da ondulação na bateria	não	não	não

3.4.5.4 - Cortes de Tensão (*Notches*)

A figura 3.22 mostra a distorção na forma de onda da tensão, devido a cortes de tensão (*notches*), gerada pela fonte e captada pelo sistema de aquisição de dados. Esta forma de onda de tensão é aplicada na entrada de cada topologia de UPS e comparada com a forma de onda de saída, através de figuras capturadas pelo sistema de aquisição de dados.

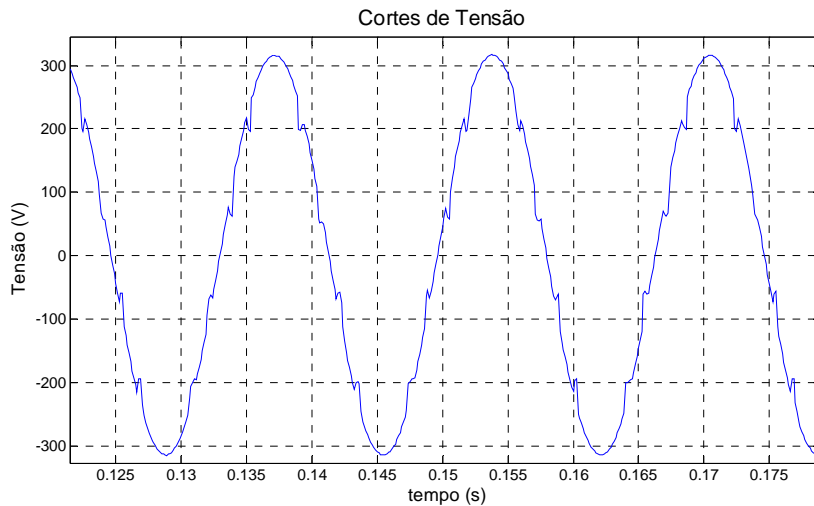


Figura 3. 22 - Forma de onda da tensão distorcida com presença de cortes de tensão.

3.4.5.5 – Ruído Elétrico

A figura 3.23 mostra a distorção na forma de onda da tensão, devido à presença de ruídos elétricos, gerada pela fonte e captada pelo sistema de aquisição de dados. Esta forma de onda de tensão é aplicada na entrada de cada topologia de UPS e comparada com a forma de onda de saída, através de figuras capturadas pelo sistema de aquisição de dados.

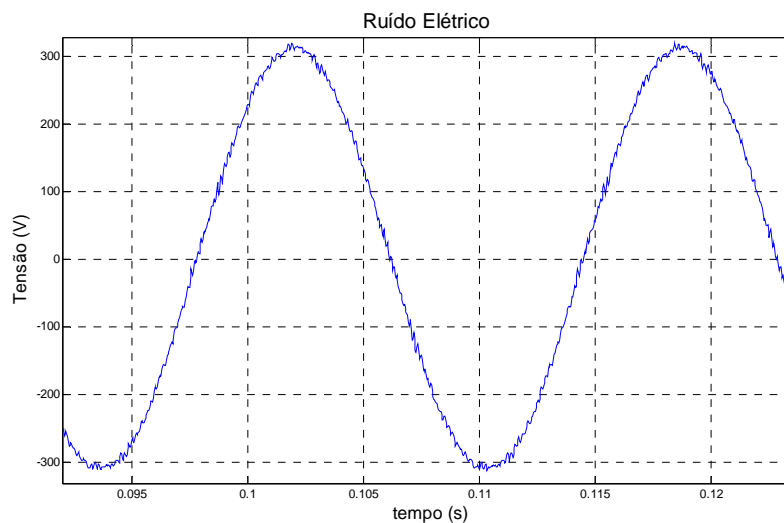


Figura 3. 23 - Forma de onda da tensão distorcida com presença de ruído elétrico.

3.4.6 – Flutuações de Tensão

Aplica-se, na entrada de cada topologia, a forma de onda que caracteriza o fenômeno conhecido como flutuação de tensão (fig. 3.24). Assim, as formas de onda da tensão e corrente, na entrada e saída do UPS, são captadas pelo sistema de aquisição de dados, processadas através do programa *Matlab* e comparadas graficamente.

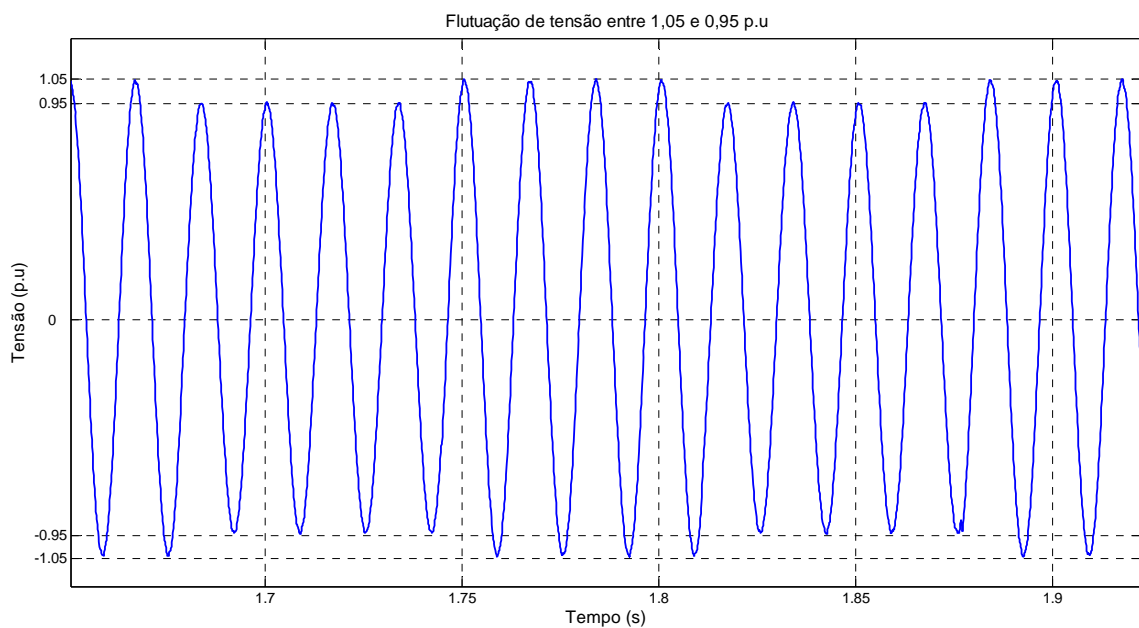


Figura 3. 24 - Flutuação de tensão variando entre 0,95 e 1,05 pu.

3.4.7 – Variações de Freqüência

São aplicadas, na entrada de cada topologia, formas de ondas que caracterizam o fenômeno conhecido como variação de freqüência. Assim, as formas de onda da tensão e corrente, na entrada e saída do UPS, serão captadas pelo sistema de aquisição de dados, processadas através do programa *Matlab* e comparadas graficamente.

A figura 3.25 mostra uma variação de freqüência entre 60 e 180 Hz, gerada pela fonte e captada pelo sistema de aquisição de dados. Para cada topologia de UPS serão aplicadas formas de onda da tensão que caracterizam variações, conforme mostra a tabela 3.20.

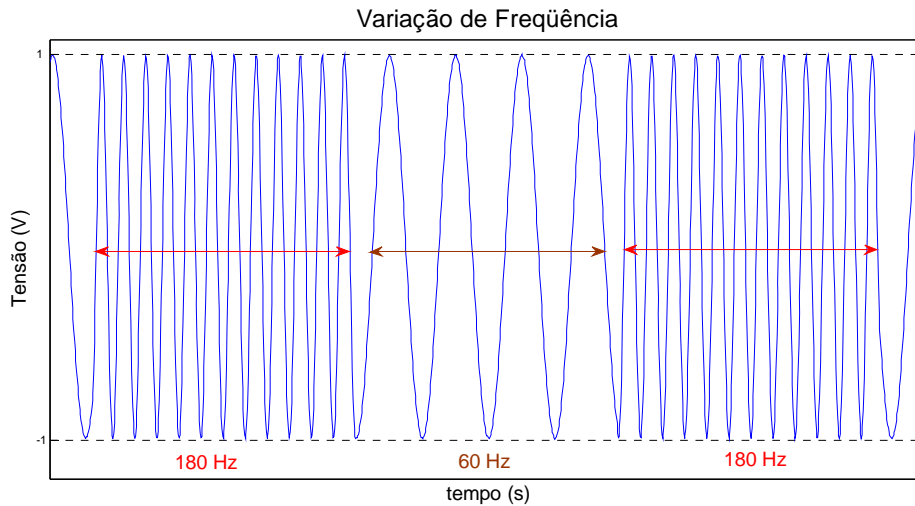


Figura 3. 25 - Variação de frequência entre 60 e 180 Hz

Tabela 3. 20 – Parâmetros utilizados para gerar variações de frequência.

Variação de frequência				
	Valor da frequência nominal (Hz)	Período da variação de frequência (segundos)	Valor da frequência variada	Forma de Onda
1ª forma de onda	60	1	65	senoidal
2ª forma de onda	60	1	64	senoidal
3ª forma de onda	60	1	63	senoidal
4ª forma de onda	60	1	62	senoidal
5ª forma de onda	60	1	61	senoidal
6ª forma de onda	60	1	59	senoidal
7ª forma de onda	60	1	58	senoidal
8ª forma de onda	60	1	57	senoidal
9ª forma de onda	60	1	56	senoidal
10ª forma de onda (i)	60	1	55	senoidal
11ª forma de onda (ii)	60	1	180	senoidal

- i) 10ª forma de onda excede o limite estabelecido pela Aneel.
- ii) 11ª forma de onda excede o limite estabelecido pela Aneel. No entanto, foi inserida para facilitar a visualização do evento através das figuras capturadas. Esse método será entendido nos itens referentes aos resultados.

Em suma, as tabelas e figuras apresentadas nesse capítulo servem como padrões de formas de onda da tensão, que representam cada fenômeno de QEE. Com a aplicação desses padrões, na entrada de cada topologia de UPS, a resposta obtida indicará o comportamento de cada topologia frente a estes fenômenos de QEE.

4 – RESULTADOS E ANÁLISE

O intuito ao escrever este capítulo é apresentar, discutir e analisar os resultados obtidos a partir dos ensaios criados e executados no laboratório de QEE, apresentados no capítulo anterior. Com isso, divide-se este capítulo em três seções principais, as quais abordam a resposta de cada topologia de UPS frente aos fenômenos de QEE.

4.1 - TESTE UPS *PASSIVE STANDBY*

Nesse item são apresentados os resultados e análise referente aos ensaios realizados na topologia *Passive Standby*. Ressalta-se que o equipamento ensaiado queimou duas vezes durante os ensaios, razão pela qual não foi possível finalizar todos os ensaios propostos.

4.1.1- Transitórios

A seguir são expostas as análises referentes aos resultados obtidos nos ensaios ao aplicar transitórios, Impulsivos e Oscilatórios, na entrada do UPS *Passive Standby*.

4.1.1.1- Transitório Impulsivo

A figura 4.1 apresenta as formas de onda da tensão na entrada e na saída do UPS, *Passive Standby*, quando se aplica um **transitório impulsivo** (tabela 3.4) na entrada do equipamento. Após analisar as figuras capturadas pelo sistema de aquisição de dados é possível traçar a figura 4.2, que representa a curva ITIC para transitórios impulsivos aplicados no UPS analisado.

- i) Ao variar a potência da carga (0%, 20%, 50% e 100%), as formas de onda da tensão são semelhantes;
- ii) Não houve transferência do modo normal para o modo bateria;

- iii) O UPS *Passive Standby* analisado não é capaz de eliminar ou mitigar fenômenos impulsivos. Com isso, as cargas alimentadas, pelo equipamento, sofrem o evento em sua totalidade, conforme mostra a curva ITIC (fig.4.2);
- iv) Apesar de o fabricante informar que o aparelho possui protetor contra surtos, a carga ligada ao equipamento está sujeita a surtos de tensão de 2,1 pu (figura 4.1); e
- v) O UPS *Passive Standby* analisado não é resiliente frente aos transitórios impulsivos.

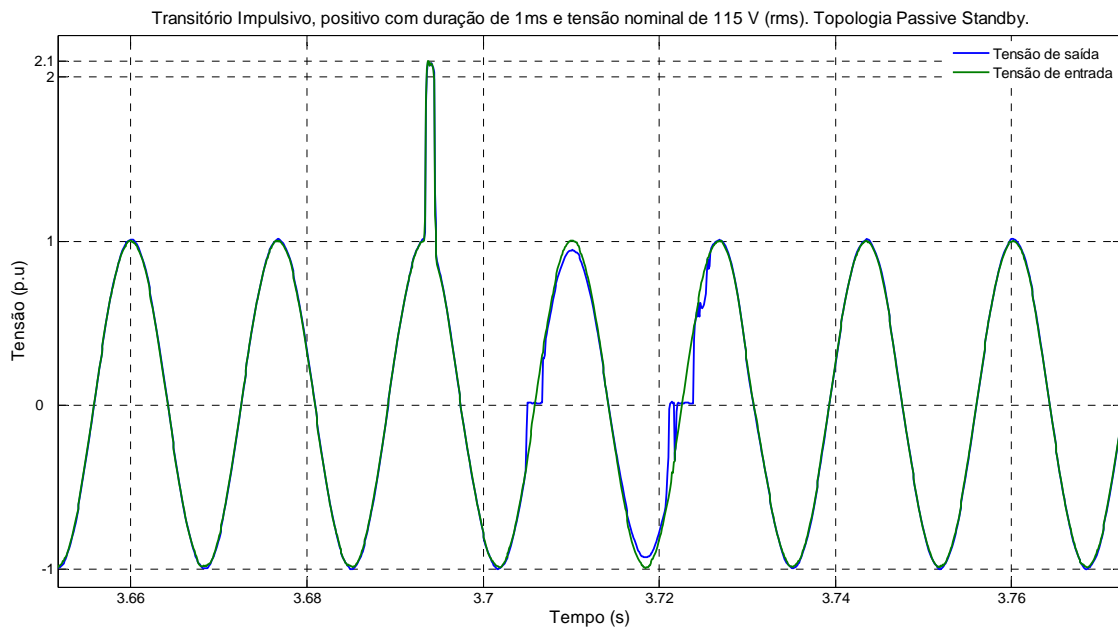


Figura 4. 1 – Resposta do UPS, *Passive Standby*, frente a um transitório impulsivo com duração de 1ms.

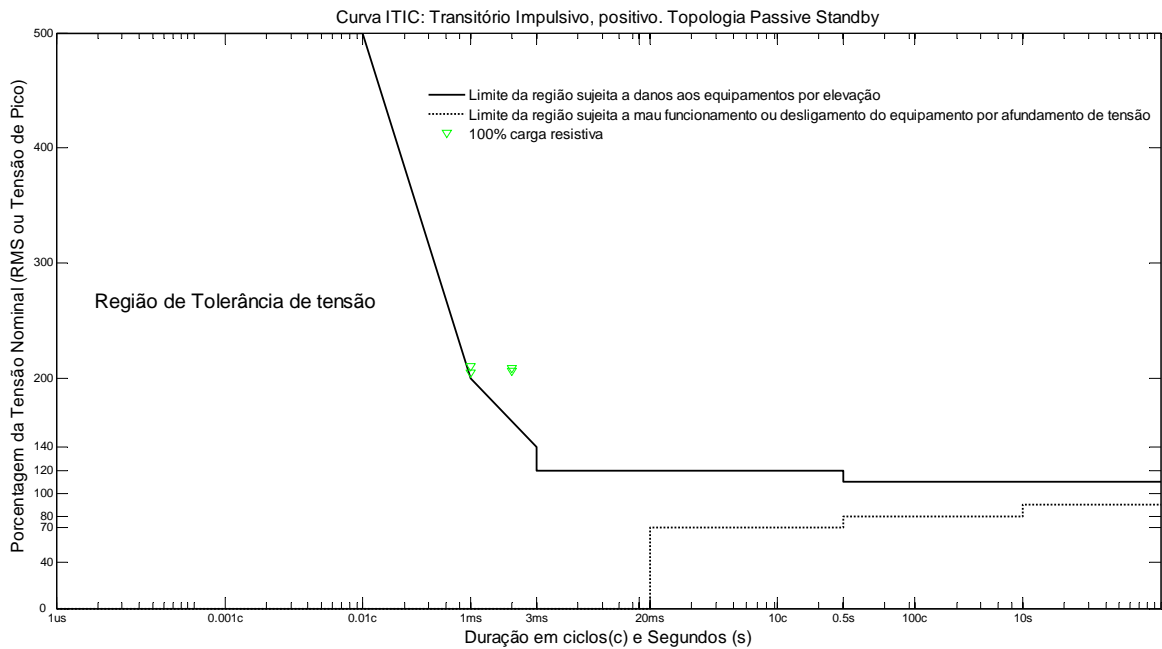


Figura 4. 2 – Topologia *Passive Standby*: Curva ITIC para transiente impulsivo.

4.1.1.2- Transitório Oscilatório

Ao se aplicar, na entrada do UPS, um transiente oscilatório com magnitude de 2,6 pu (tensão nominal igual a 115 V), o equipamento ensaiado não suportou e queimou.

4.1.2 - Variações de Tensão de Curta Duração

A seguir são expostas as análises referentes aos resultados obtidos nos ensaios ao aplicar VTCD, Interrupção, Afundamento e Elevação de Tensão, na entrada do UPS *Passive Standby*.

4.1.2.1 - Interrupções de curta duração

A figura 4.3 apresenta as formas de onda da tensão e corrente na entrada e saída do UPS, *Passive Standby*, capturadas durante 5 segundos. Nesse intervalo, na entrada do equipamento, aplicou-se uma **interrupção de tensão instantânea**, que fez a tensão variar de 1,0 pu para 0,09 pu, com meio ciclo de duração (tabela 3.5). Constata-se ainda, nessa figura, dois instantes que devem ser analisados separadamente e, por isso, estão

devidamente destacados. Das figuras 4.4 e 4.5, tem-se a aproximação dos instantes selecionados.

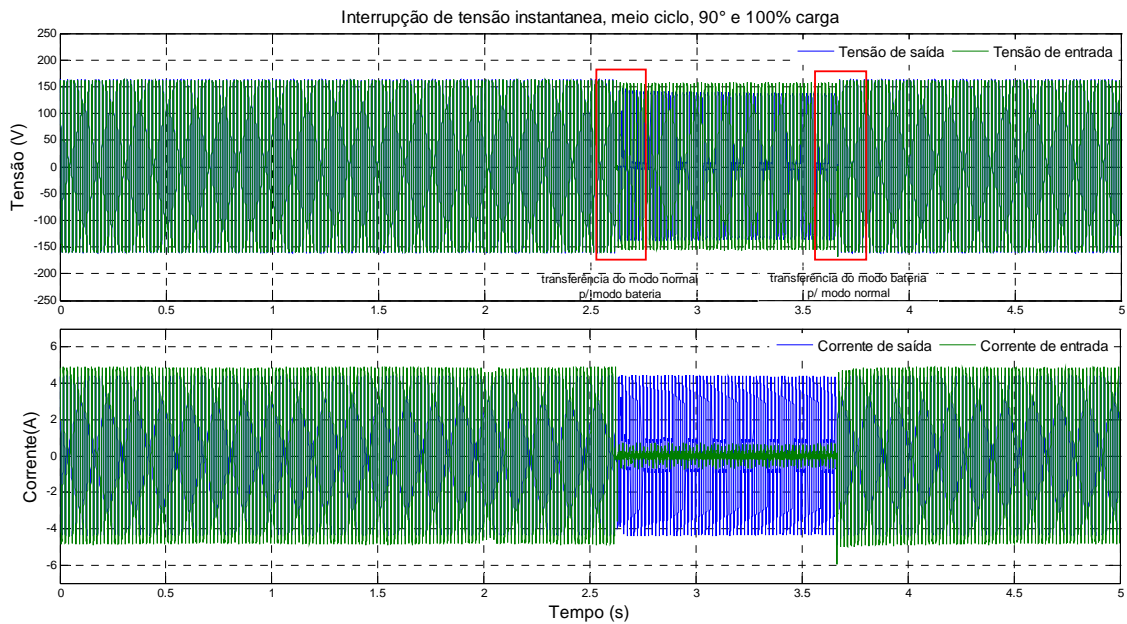


Figura 4.3 - Interrupção Instantânea de meio ciclo, 90° e 100% de carga resistiva.

No primeiro instante (figura 4.4), ocorre a transferência do modo normal para o modo bateria devido à interrupção de tensão. No segundo instante (figura 4.5), ocorre a transferência do modo bateria para o modo normal, pois o sistema de controle percebeu que a tensão da rede CA retornou a normalidade.

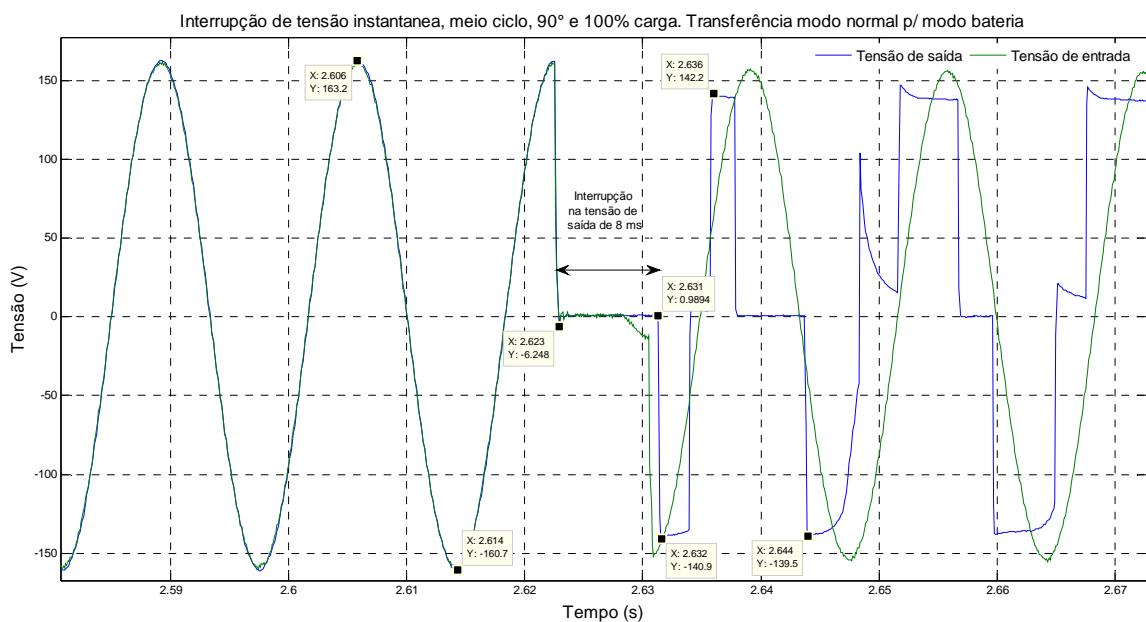


Figura 4.4 – Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo normal para o modo bateria.

Nota-se, na figura 4.4, que a tensão na saída do UPS acompanha a tensão de entrada, no momento do evento. Portanto, a carga irá sofrer uma interrupção de 8,0 ms, ao contrário do que informam as especificações fornecidas pelo fabricante na tabela 3.1.

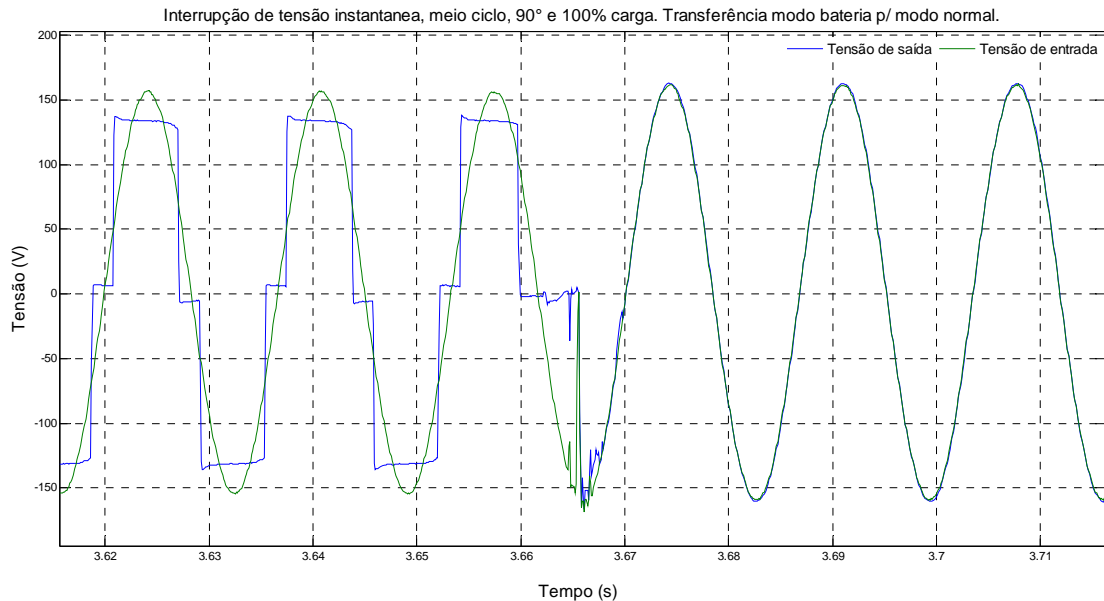


Figura 4. 5 - Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo bateria para o modo normal.

Já na figura 4.5 observa-se que no instante em que o UPS transfere a carga do modo bateria para o modo normal, ocorre um curto-circuito instantâneo, provocado pelo sistema de controle do equipamento, para sincronização das formas de onda da tensão na entrada e saída do UPS. Cabe ressaltar que o comportamento da forma de onda da tensão, na transferência do modo bateria para o modo normal, é sempre semelhante ao apresentado na figura 4.5.

Ao variar a potência da carga, figuras 4.4, 4.6 e 4.7, nota-se que na medida em que a potência suprida pelo UPS diminui, a resposta frente às interrupções de tensão é sentida pela carga através de elevações de tensões. Percebe-se também que a forma de onda da tensão de saída quando o UPS está no modo bateria é classificada como onda quase-quadrada. Analisando as figuras supracitadas no momento em que o UPS funciona no modo bateria, nota-se que o valor de pico da tensão de saída é inversamente proporcional ao valor da carga suprida pelo equipamento. No entanto, calculando o valor eficaz (rms) da

forma de onda (modo bateria) citada, obtêm-se valores próximos do valor eficaz nominal (115 V).

Apesar de a curva ITIC permitir a análise de variações de tensão utilizando tanto o valor de pico como o valor eficaz, adverte-se que o auxílio dessa curva, para análise de fenômenos de QEE associados às variações de tensão, pode levar a erros na conclusão referentes aos danos causados. Por exemplo, no caso analisado tem-se que os valores de pico da tensão (modo bateria, onda quase-quadrada) de saída ultrapassam o limite da curva ITIC quando o UPS supre uma carga de 20% do valor nominal. Em contrapartida, ao utilizar os valores eficazes para análise, os limites da curva ITIC não são ultrapassados.

Normalmente, os UPS de topologia *Passive Standby* alimentam cargas que possuem fontes chaveadas, assim, essas são capazes de entregar na sua saída uma tensão CC mesmo quando a forma de onda da tensão for do tipo quase-quadrada. Em que a retificação depende do valor de pico da tensão.

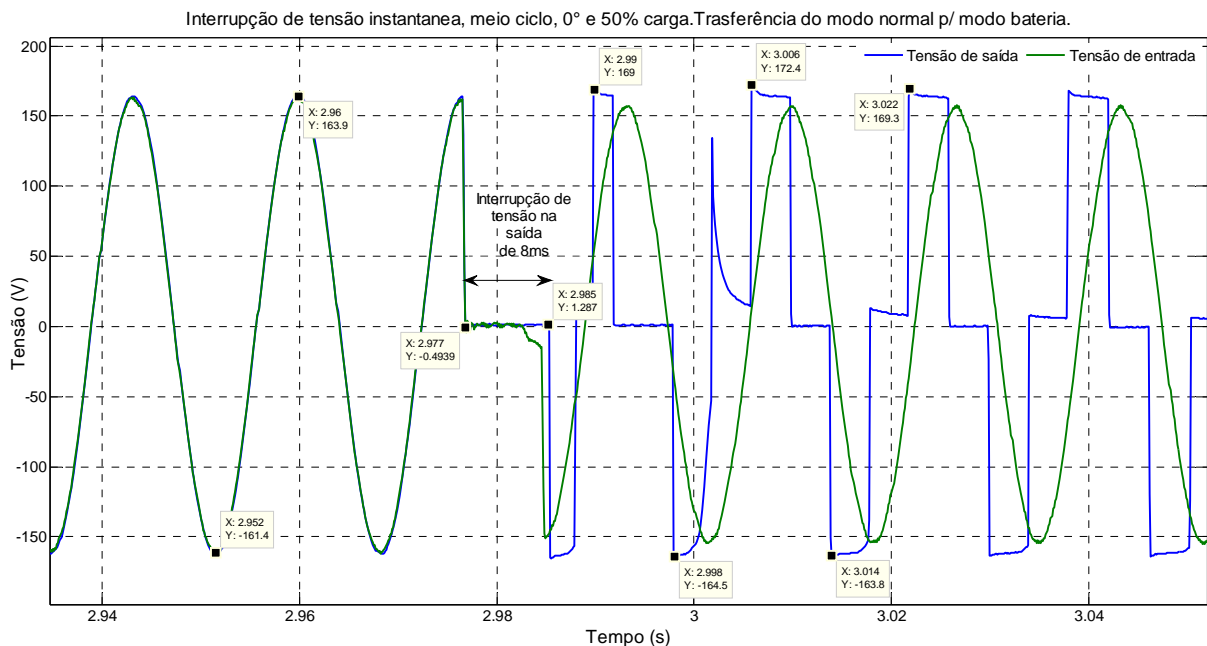


Figura 4. 6 – Interrupção de tensão instantânea de meio ciclo, 90° e 50% de carga.

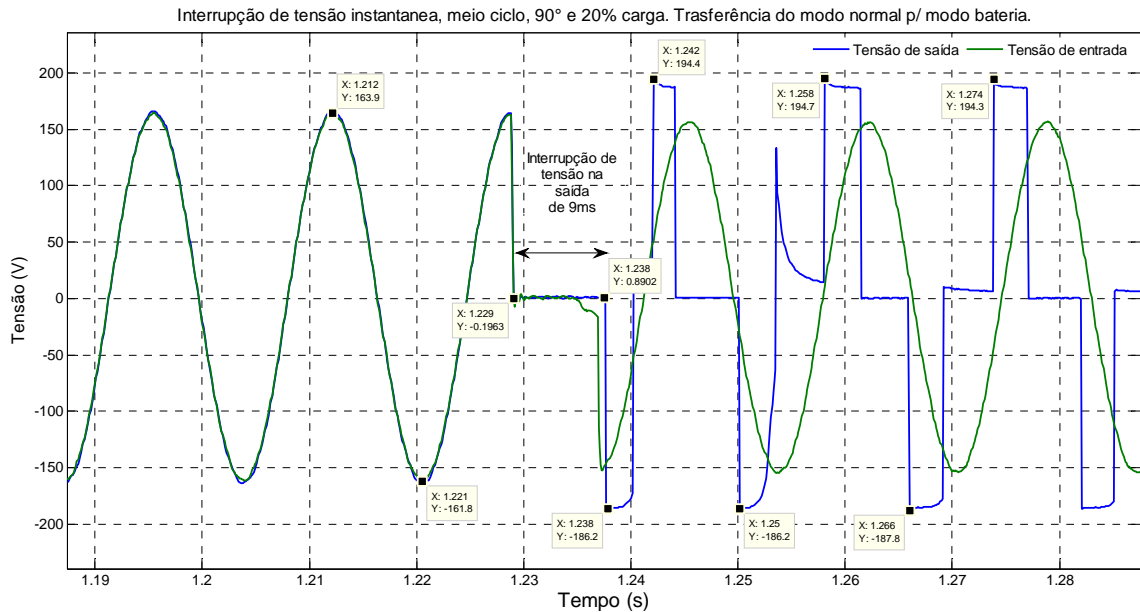


Figura 4. 7 - Interrupção de tensão instantânea de meio ciclo, 90° e 20% de carga.

Com o intuito de facilitar a análise da resposta do UPS, *Passive Standby*, frente às interrupções de tensão, traçou-se a curva ITIC correspondente às interrupções instantâneas, momentâneas e temporárias, para as diferentes potências de cargas, como mostram as figuras 4.8, 4.9 e 4.10, respectivamente. Ao analisar todas as figuras relacionadas a esse fenômeno pode-se concluir que:

- i) As elevações de tensão produzidas, no momento da transferência entre os modos de operação do UPS *Passive Standby*, dependem da potência da carga suprida pelo UPS (20%, 50% e 100%), sendo que para potências menores as elevações de tensão são maiores;
- ii) Ocorreram interrupções de tensão na transferência da carga para o modo bateria em intervalos de até 9 ms (fig. 4.7). Logo, esse fato pode influenciar ao mau funcionamento da carga se a mesma não suportar interrupções dessa magnitude;
- iii) As curvas ITICs mostram que, para cargas de 20% do valor nominal, todas as elevações de tensão ficam acima do limite da região sujeita a danos aos equipamentos por elevação de tensão;

- iv) A forma de onda da tensão (modo bateria) especificada pelo fabricante como onda senoidal de gradação aproximada está errada, pois os resultados mostram uma forma de onda quase-quadrada de dois níveis de gradação; e
- v) O UPS *Passive Standby* analisado não é resiliente frente às interrupções de curta duração, pois, o limite da região sujeita a danos aos equipamentos por elevação das curvas ITICs foram ultrapassados quando o equipamento supre 20% da carga nominal.

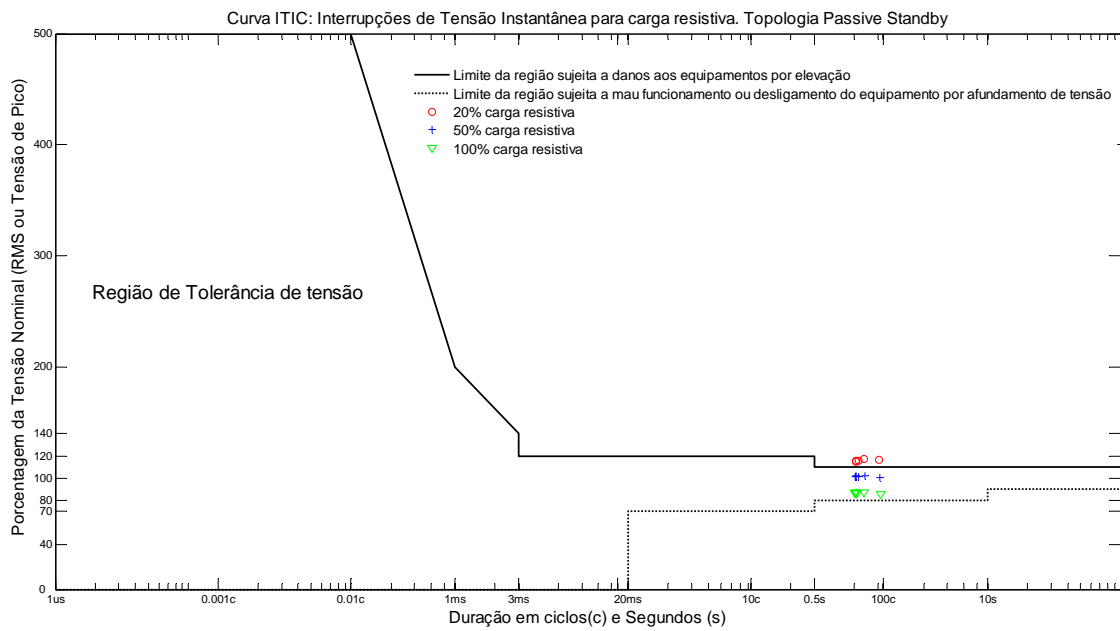


Figura 4. 8 - Topologia *Passive Standby*: Curva ITIC para interrupções Instantâneas.

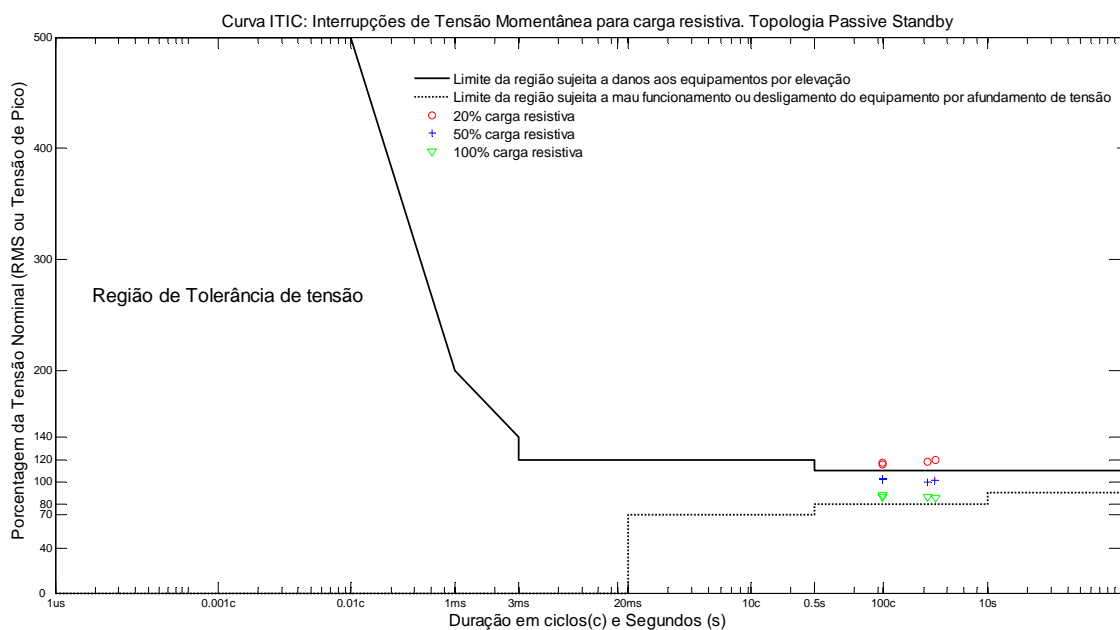


Figura 4. 9 - Topologia *Passive Standby*: Curva ITIC para interrupções Momentâneas.

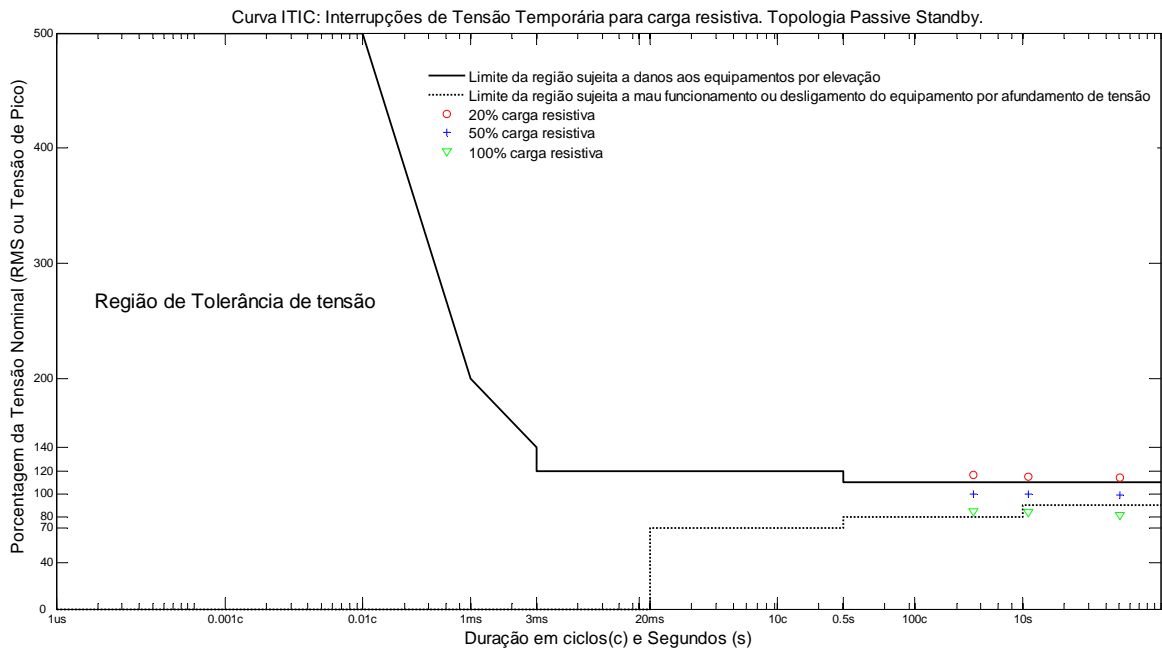


Figura 4. 10 - Topologia *Passive Standby*: Curva ITIC para interrupções Temporárias.

4.1.2.2 - Afundamento de Tensão

O conjunto de ensaios referentes ao fenômeno denominado afundamento de tensão não foi realizado completamente, uma vez que o equipamento queimou durante o conjunto de ensaios referente ao fenômeno elevação de tensão. Entretanto, o ensaio na condição apresentada na figura 4.11 foi realizado antes da queima do equipamento. Assim, a análise desse ensaio não apresenta as curvas ITIC para os afundamentos instantâneo, momentâneo e temporário.

A figura 4.11 apresenta as formas de onda da tensão e corrente na entrada e saída do UPS, *Passive Standby*, capturadas durante 30 segundos. Nesse intervalo, na entrada do equipamento, aplicou-se um **afundamento de tensão temporário** que levou a tensão nominal para 0,6 pu durante 1200 ciclos ou 20 segundos (tabela 3.10). Observa-se, nessa figura, dois instantes que devem ser analisados separadamente e, por isso, estão devidamente destacados. Das figuras 4.12 e 4.13 tem-se a aproximação dos instantes selecionados.

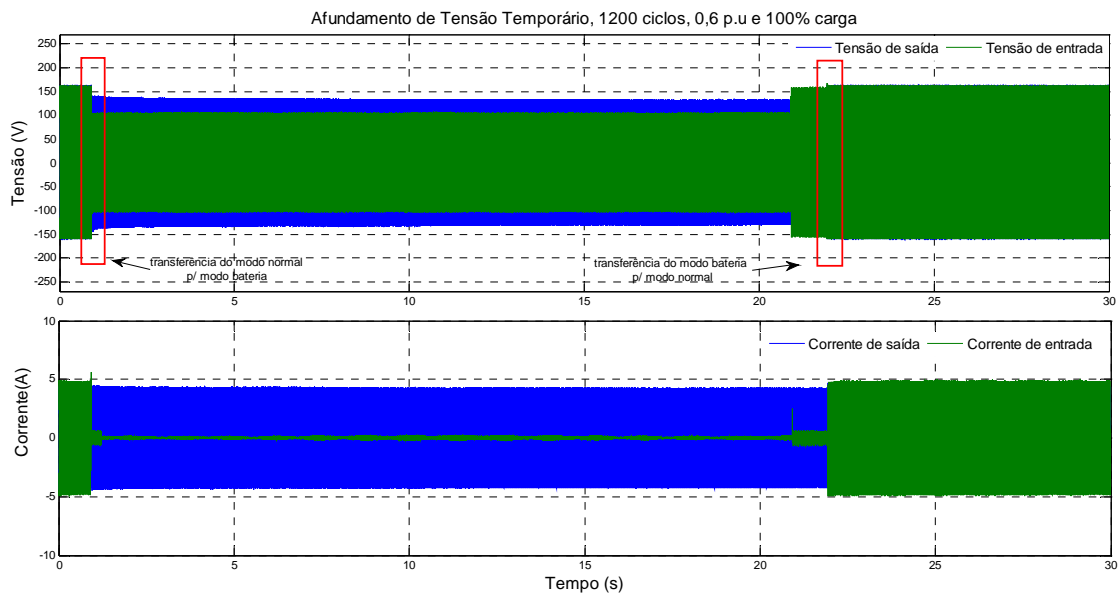


Figura 4. 11 – Afundamento de tensão temporário, 20 segundos, 0,6 pu e 100% de carga resistiva

No primeiro instante (figura 4.12), ocorre a transferência do modo normal para o modo bateria devido ao afundamento de tensão. No segundo instante (figura 4.13), ocorre a transferência do modo bateria para o modo normal, pois o sistema de controle percebe que a tensão da rede CA retornou a normalidade.

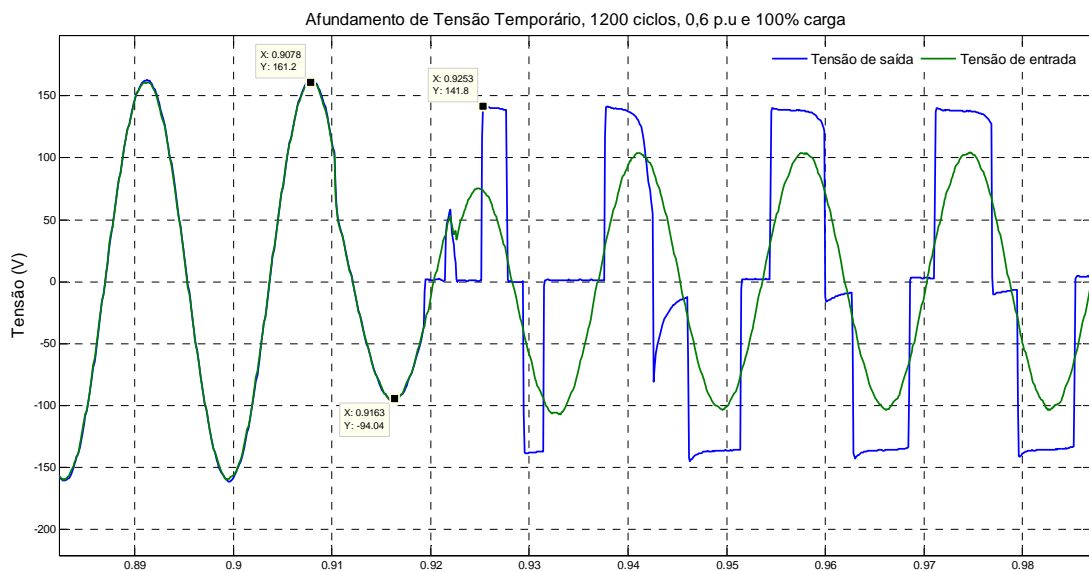


Figura 4. 12 – Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo normal para o modo bateria.

Nota-se, na figura 4.12, que a tensão na saída do UPS acompanha a tensão de entrada no momento do evento. Portanto, a carga sente um afundamento de tensão por aproximadamente meio ciclo (8,0 ms), o que para cargas alimentadas por fontes chaveadas não causaria o seu desligamento.

Já na figura 4.13 observa-se que no instante em que o UPS transfere a carga do modo bateria para o modo normal, ocorrem diversos cortes na tensão de entrada até o momento da sincronização entre a tensão de saída e a tensão de entrada.

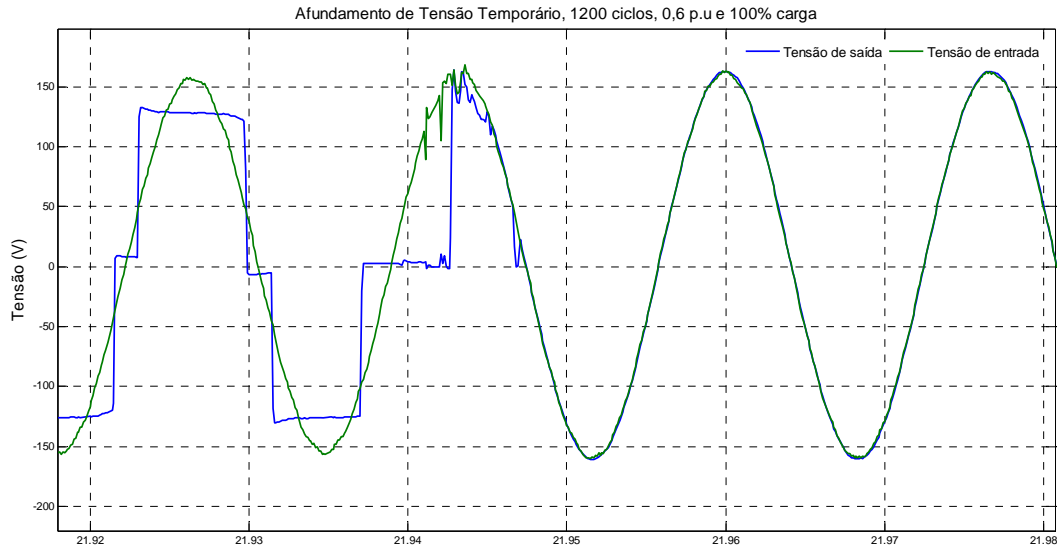


Figura 4. 13 – Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo bateria para o modo normal.

Como o conjunto de ensaios referente a esse fenômeno não está completo, utilizou-se a figura 4.14 para mostrar o comportamento do UPS *Passive Standby* durante a descarga da bateria, devido ao afundamento de tensão temporário. Percebe-se que a tensão entregue a carga permanece próxima a 85% da tensão nominal enquanto persiste o afundamento, essa situação não é compatível com a curva ITIC.

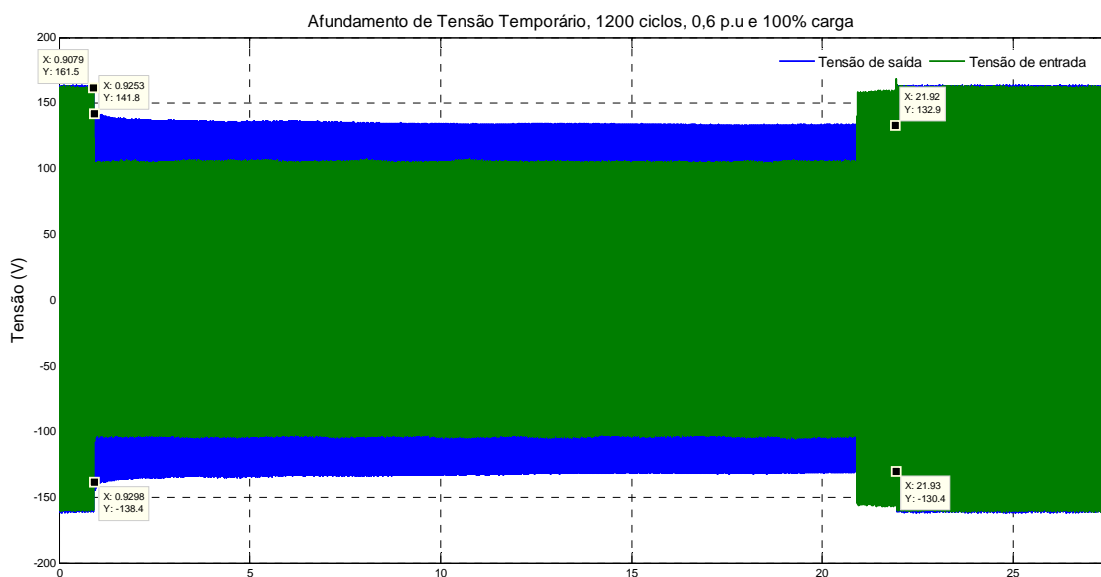


Figura 4. 14 – Forma de onda da tensão de entrada e saída durante o afundamento de tensão temporário.

Cabe lembrar que a finalidade de um UPS é fornecer à carga uma tensão adequada, mesmo quando o equipamento está operando no modo bateria. Com isso, ao analisar a figura 4.14 pode-se inferir que o “trabalho duro” fica para a fonte chaveada. Ou seja, o UPS fornece a carga uma tensão um pouco abaixo da curva ITIC, entretanto, como as fontes chaveadas atuais permitem uma faixa de tensão elevada (100 V até 250 V), o papel do UPS se resume à entregar a carga uma tensão dentro dos limites da fonte chaveada e não dentro dos limites da curva ITIC.

4.1.2.3 - Elevação de Tensão

A figura 4.15 apresenta as formas de onda da tensão e corrente na entrada e saída do UPS, *Passive Standby*, capturadas durante 5 segundos. Nesse intervalo, na entrada do equipamento, aplicou-se uma **elevação de tensão instantânea** que fez com que a tensão variasse de 1,0 pu para 1,65 pu em um ciclo de duração (tabela 3.11). Observa-se ainda, nessa figura, dois instantes que devem ser analisados separadamente e, por isso, estão devidamente destacados. Da figura 4.16 até 4.17, tem-se a aproximação dos instantes selecionados.

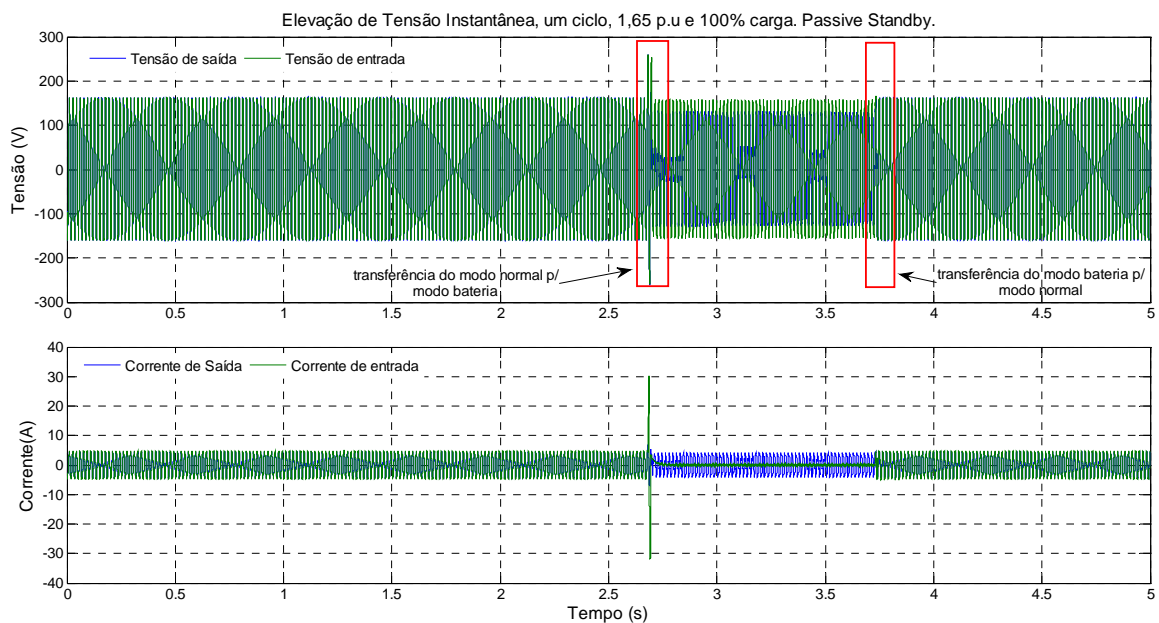


Figura 4. 15 – Elevação de Tensão Instantânea de um ciclo, 1,65 pu e 100% carga resistiva.

Observa-se, na figura 4.16, que a tensão na saída do UPS acompanha a tensão de entrada por aproximadamente 10 ms e, após esse período, ocorre a transferência do modo normal para o modo bateria. Com isso, a carga está sujeita a uma tensão de 1,65 pu durante o período mencionado. Já a figura 4.17 mostra a transferência do modo bateria para o modo normal, nesse caso nota-se que o chaveamento provoca oscilação na forma de onda da tensão.

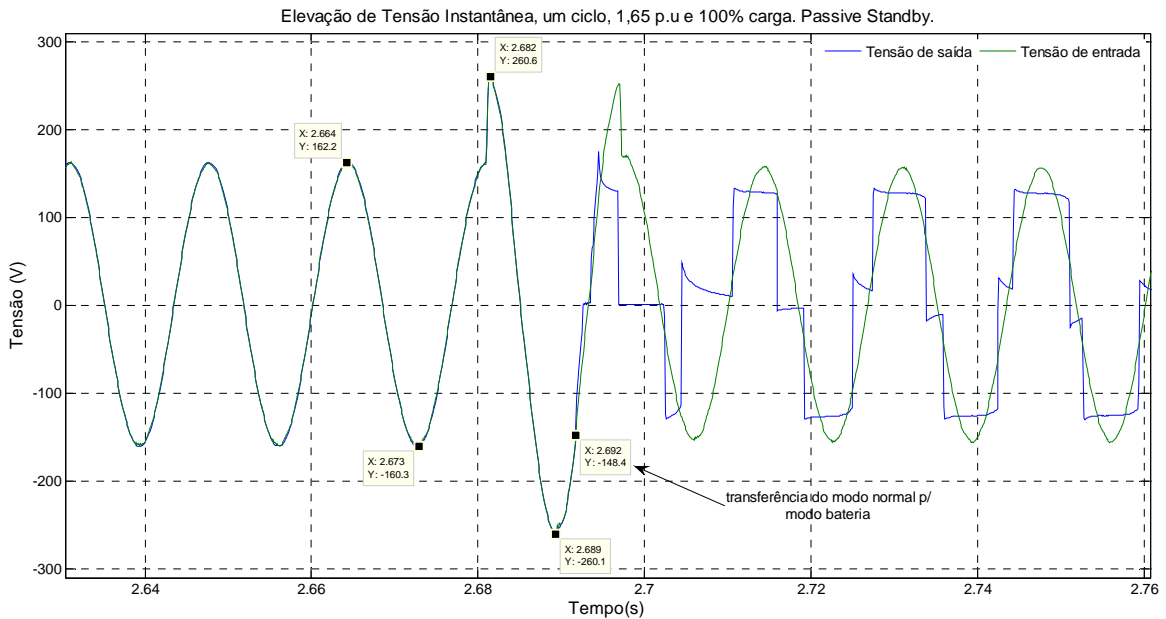


Figura 4. 16 - Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo normal para o modo bateria.

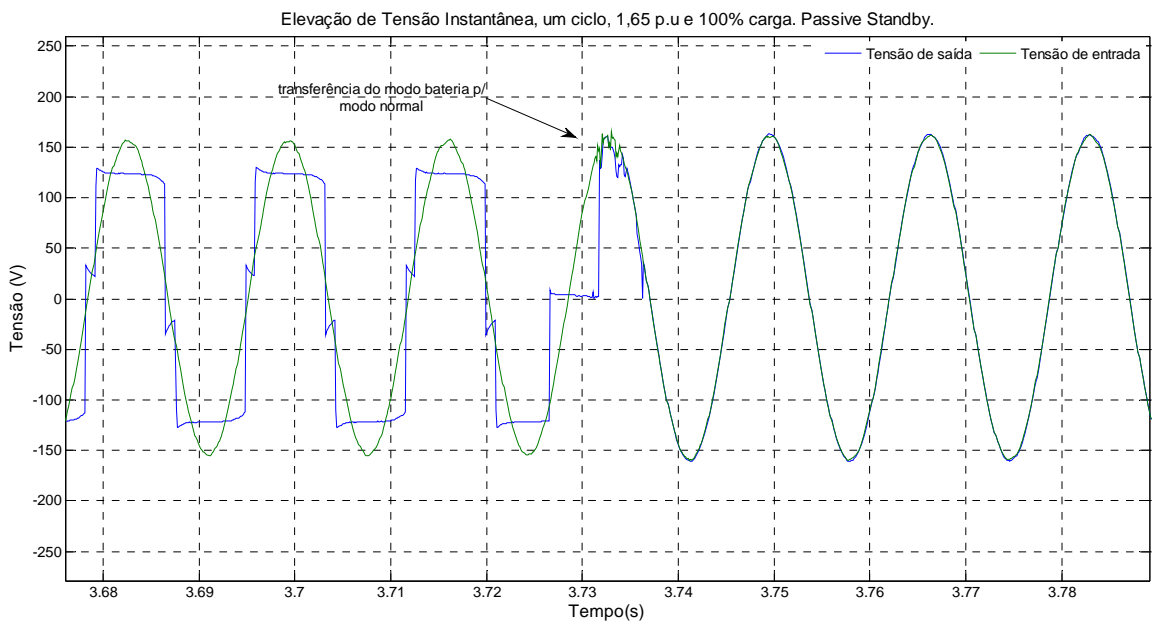


Figura 4. 17 - Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo bateria para o modo normal.

Durante o ensaio de elevação de tensão temporária de 400 ciclos e 1,1 pu o equipamento queimou. A figura 4.18 apresenta os principais instantes de operação de um UPS bem como o instante da queima de algum dispositivo interno. Ao aproximar o instante da queima (figura 4.19) nota-se que a forma de onda da corrente inicialmente é cortada no ciclo positivo e em seguida permanece cortada apenas no 1º quadrante. Esse fato provocou uma corrente elevada na entrada do equipamento, a qual danificou o mesmo e, provocou a interrupção da tensão de saída do UPS.

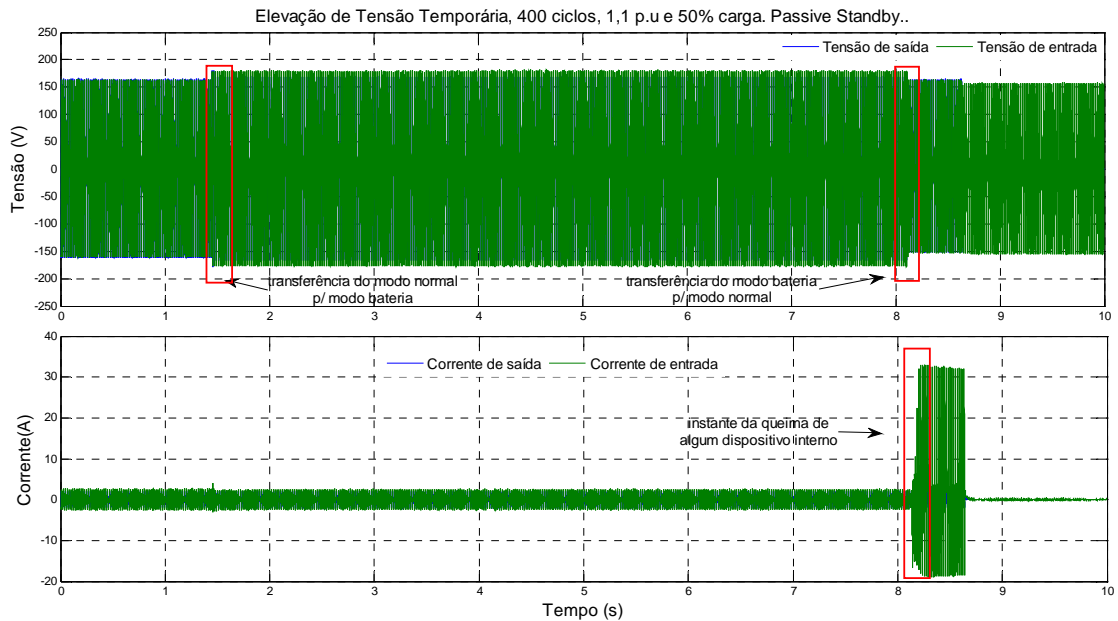


Figura 4. 18 – Elevação de tensão que provocou queima do equipamento.

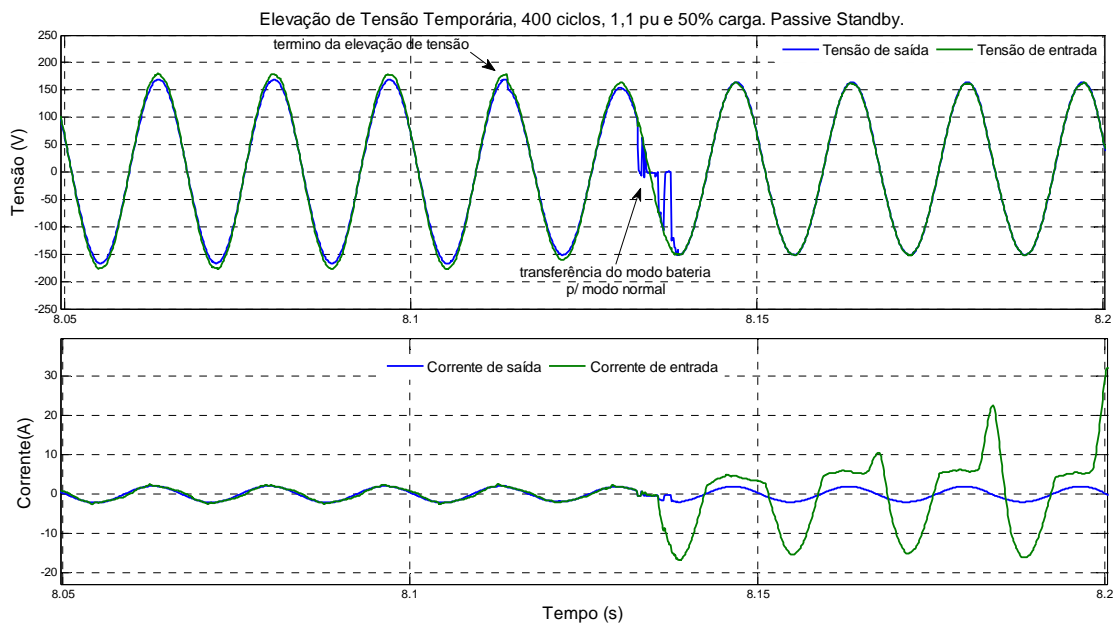


Figura 4. 19 – Aproximação do instante da queima do UPS Passivo Standby.

Para facilitar a análise da resposta do UPS, *Passive Standby*, frente às elevações de tensão, traçou-se a curva ITIC correspondente às elevações de tensão instantâneas e momentâneas para diferentes potências de cargas, como mostram as figuras 4.20 e 4.21, respectivamente. Ao analisar todas as figuras relacionadas a esse fenômeno pode-se concluir que:

- i) A forma de onda da tensão de saída acompanha a tensão de entrada por aproximadamente 10 ms. Após esse período, sucede a transferência do modo normal para o modo bateria;
- ii) O UPS *Passive Standby* analisado não é capaz de mitigar as elevações de tensão instantâneas, já que as curvas ITIC (fig. 4.20) mostram pontos dentro da região sujeita a danos aos equipamentos por elevação de tensão, mesmo para valores de 20%, 50% e 100% da carga nominal; e
- iii) O UPS *Passive Standby* analisado não é resiliente frente às elevações de tensão instantâneas, pois apresenta pontos incompatíveis com a curva ITIC para qualquer potência de carga.

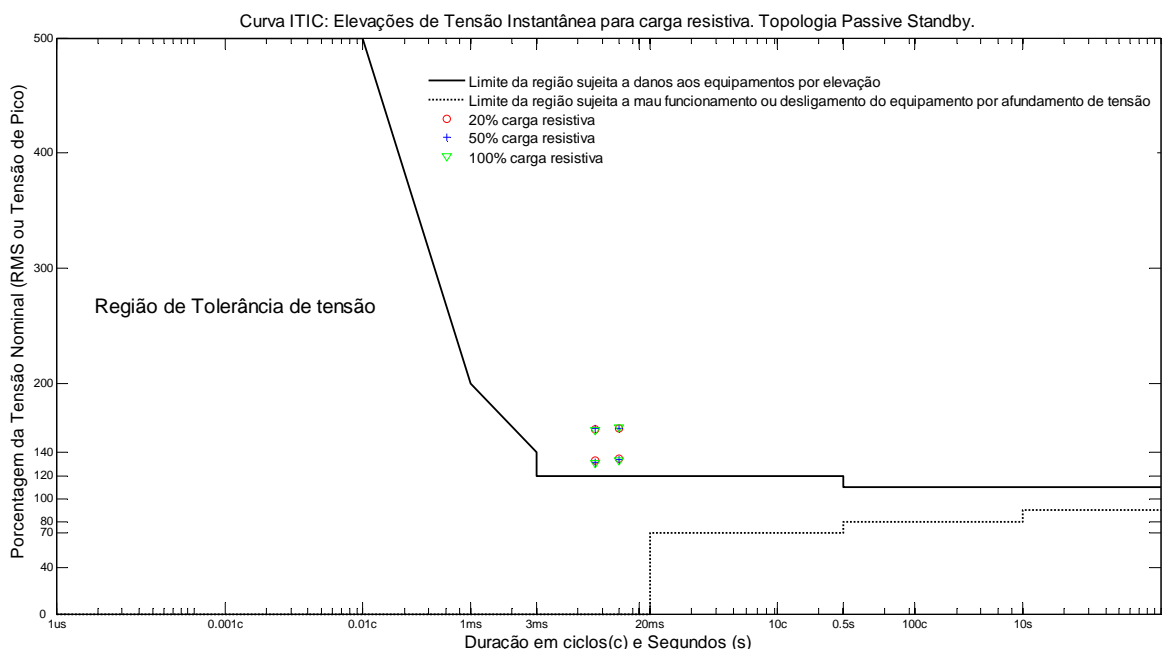


Figura 4. 20 - Topologia *Passive Standby*. Curva ITIC para elevação de tensão instantânea.

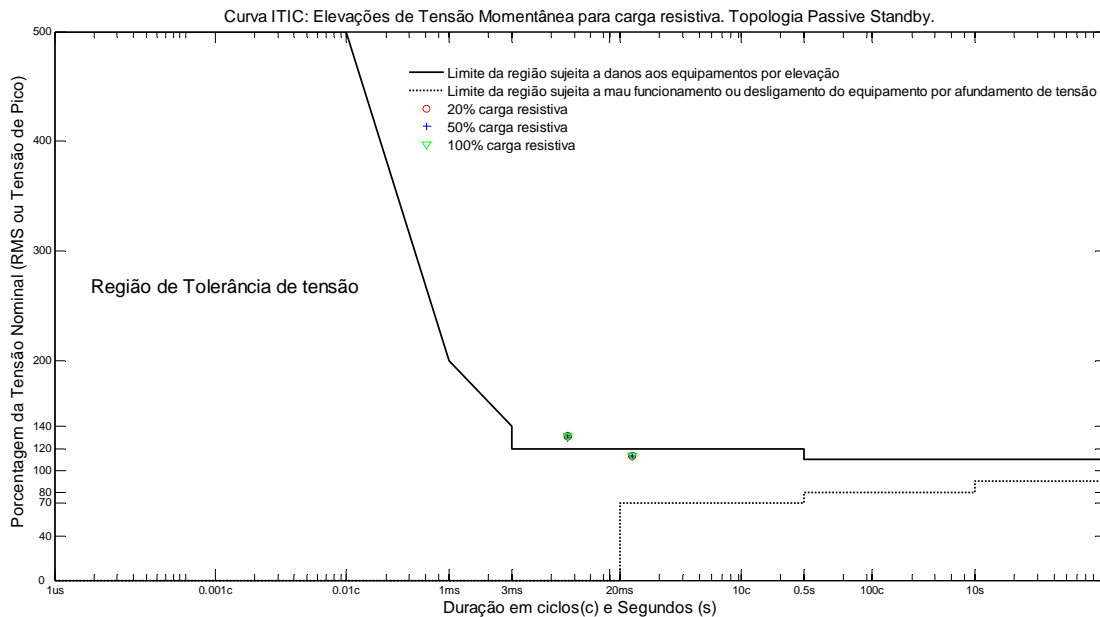


Figura 4. 21 - Curva ITIC para elevação de tensão momentânea. Topologia *Passive Standby*.

4.1.3 - Variação de Tensão de Longa Duração

Pelo fato do UPS *Passive Standby* testado ter queimado no evento supracitado não foi possível realizar o conjunto de ensaios referente às Variações de Tensão de Longa Duração. No entanto, pode-se inferir que os resultados desse conjunto de ensaios são semelhantes aos respectivos ensaios das variações de tensão de curta duração classificadas como temporárias.

4.1.4 - Distorção da Forma de Onda

Nesse item são apresentadas as respostas do UPS *Passive Standby* frente aos fenômenos classificados como distorção da forma de onda.

4.1.4.1 - Desvio do Nível CC

O conjunto de ensaios referente ao fenômeno denominado desvio do nível CC não foi possível ser realizado, pois o modo CC da fonte geradora de distúrbios não estava funcionando adequadamente quando se iniciou os ensaios desta topologia. Cabe ressaltar que esse ensaio não foi realizado conforme sugerido no item 3.4.5.1 e que as topologias

Linha Interativa e Dupla Conversão ensaiadas apresentam poucos resultados desse fenômeno. Entretanto, foi possível caracterizar conseqüências desses distúrbios, as quais são apresentadas nos ensaios das topologias supracitadas.

4.1.4.2 - Distorção Harmônica

A figura 4.22 apresenta as formas de onda da tensão na entrada e na saída do UPS, *Passive Standby*, quando se aplica uma **distorção harmônica** (4ª forma de onda, tabela 3.17) na entrada do equipamento. Ao examinar todas as figuras e o conjunto de ensaios relacionados a esse fenômeno deduz-se que:

- i) As cargas alimentadas pelo equipamento ensaiado estão sujeitas a este fenômeno em sua totalidade, pois o equipamento não é capaz de mitigar a distorção na forma de onda da tensão provocada pela presença de harmônicos;
- ii) Em nenhum momento ocorre a transferência do modo normal para o modo bateria quando se aplica esse fenômeno; e
- iii) A topologia *Passive Standby* não é resiliente ao fenômeno de QEE classificado como distorção harmônica.

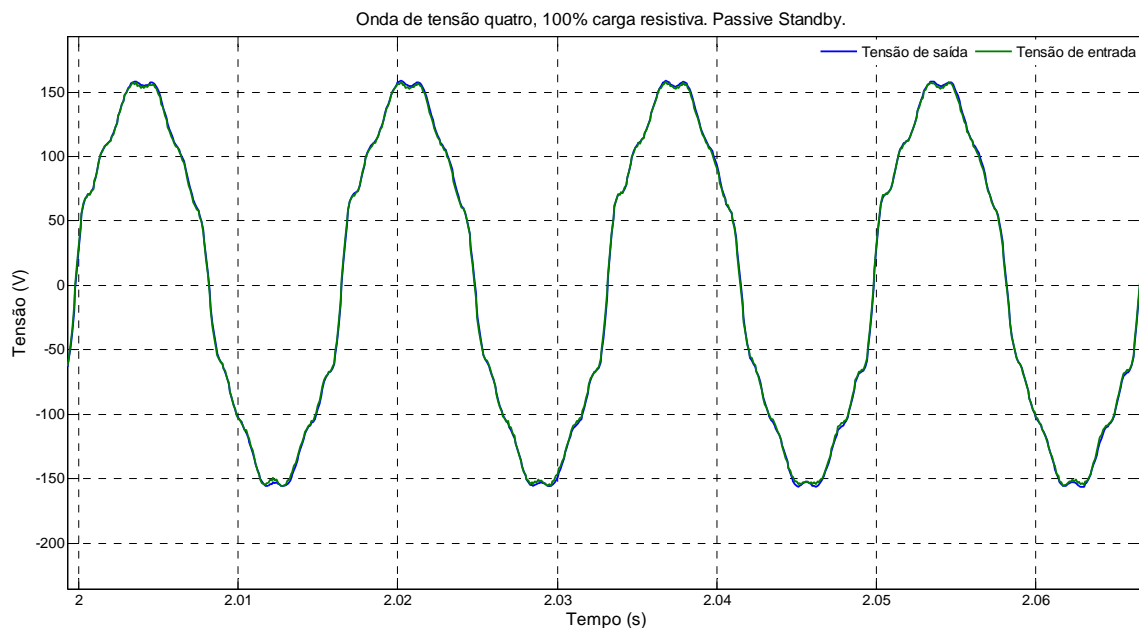


Figura 4. 22 – Distorção harmônica da tensão.

4.1.4.3 – Cortes de Tensão (*notches*)

A figura 4.23 apresenta as formas de onda da tensão na entrada e saída do UPS, *Passive Standby*, quando se aplica **cortes de tensão** (conforme classificação da tabela 2.3) na entrada do equipamento. Percebe-se que as formas de onda da tensão de entrada e saída são iguais, com isso pode-se concluir que:

- i) As cargas alimentadas pelo equipamento ensaiado sofrem este fenômeno em sua totalidade, já que o equipamento não é capaz de mitigar a distorção na forma de onda da tensão provocada pelos cortes de tensão;
- ii) Quando se aplica esse fenômeno, em nenhum momento ocorre transferência do modo normal para o modo bateria; e
- iii) A topologia *Passive Standby* não é resiliente ao fenômeno de QEE classificado como corte de tensão.

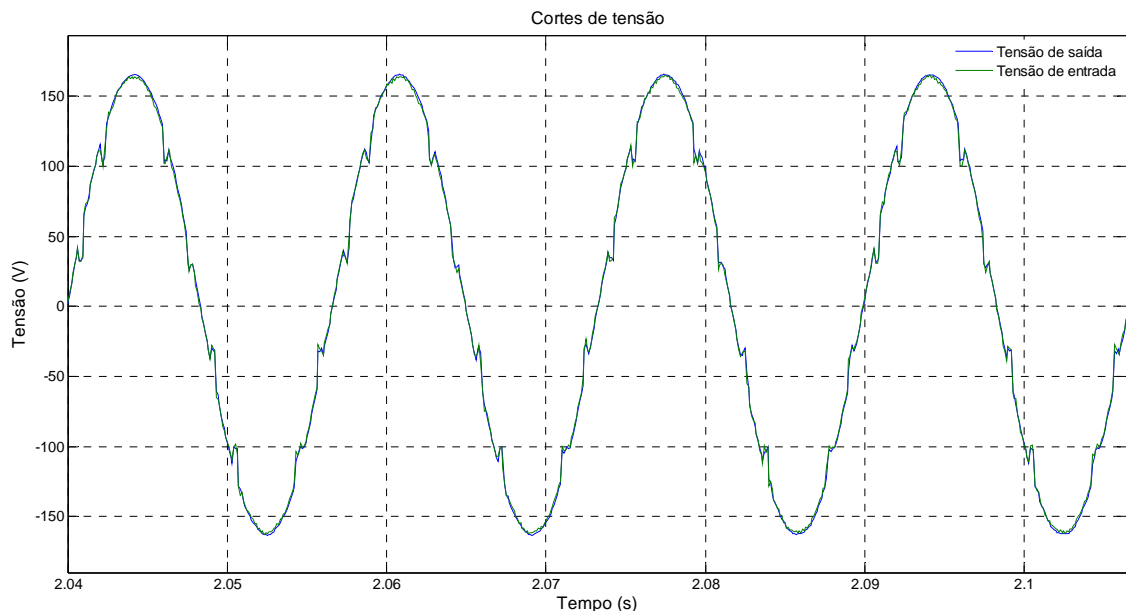


Figura 4. 23 – Forma de onda da tensão com a presença de cortes de tensão.

4.1.4.4 – Ruído Elétrico

A figura 4.24 apresenta as formas de onda da tensão na entrada e saída do UPS, *Passive Standby*, quando se aplica um **ruído elétrico** de 10% (conforme classificação da tabela 2.3) na entrada do equipamento. Percebe-se que as formas de onda da tensão de entrada e saída são iguais, com isso infere-se que:

- i) As cargas alimentadas pelo equipamento ensaiado estão susceptíveis a esse fenômeno em sua totalidade, um vez que o equipamento não é capaz de mitigar a distorção na forma de onda da tensão provocada por ruídos elétricos;
- ii) Em nenhum momento ocorre transferência do modo normal para o modo bateria quando se aplica esse fenômeno;
- iii) Quando se aplica, na entrada do equipamento, uma tensão com a presença do ruído elétrico supracitado, percebe-se um ruído sonoro incomum; e
- iv) A topologia *Passive Standby* não é resiliente ao fenômeno de QEE classificado como ruído elétrico.

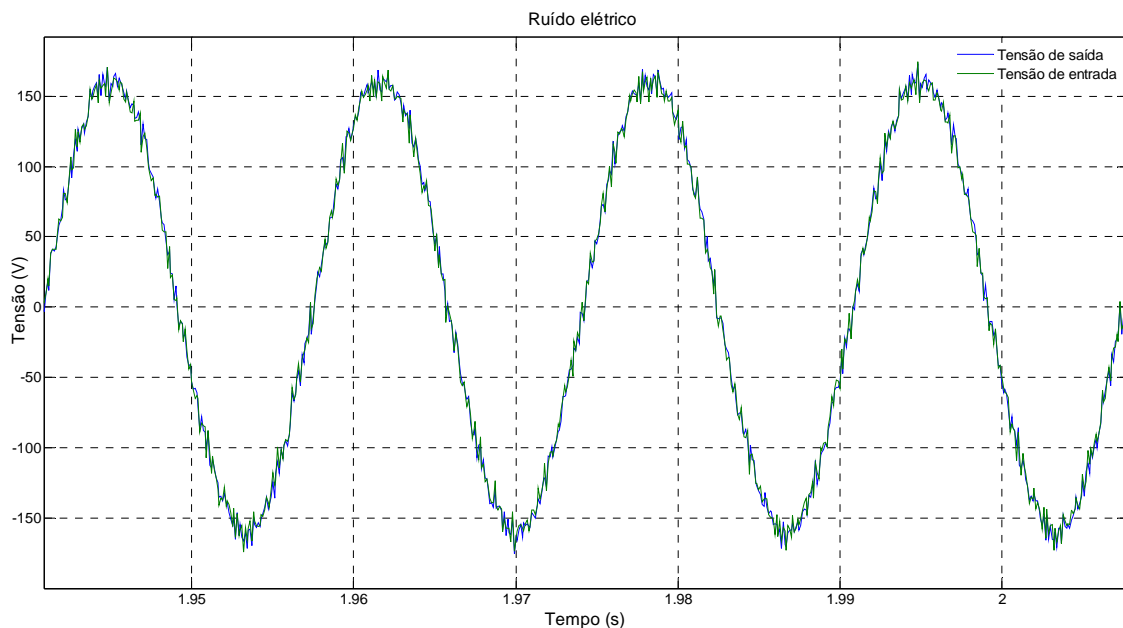


Figura 4. 24 – Forma de onda da tensão com a presença de ruído elétrico.

4.1.5 - Flutuações de Tensão

A figura 4.25 apresenta as formas de onda da tensão na entrada e saída do UPS, *Passive Standby*, quando se aplica uma **flutuação de tensão** entre 0,95 e 1,05 pu (conforme classificação da tabela 2.3) na entrada do equipamento. Ao examinar a figura relacionada a esse fenômeno infere-se que:

- i) As cargas alimentadas pelo equipamento ensaiado sofrem esse fenômeno em sua totalidade, pois o equipamento não é capaz de mitigar as flutuações de tensão aplicadas em sua entrada;
- ii) Em nenhum momento ocorre transferência do modo normal para o modo bateria quando se aplica esse fenômeno; e
- iii) A topologia *Passive Standby* não é resiliente ao fenômeno de QEE classificado como flutuação de tensão.

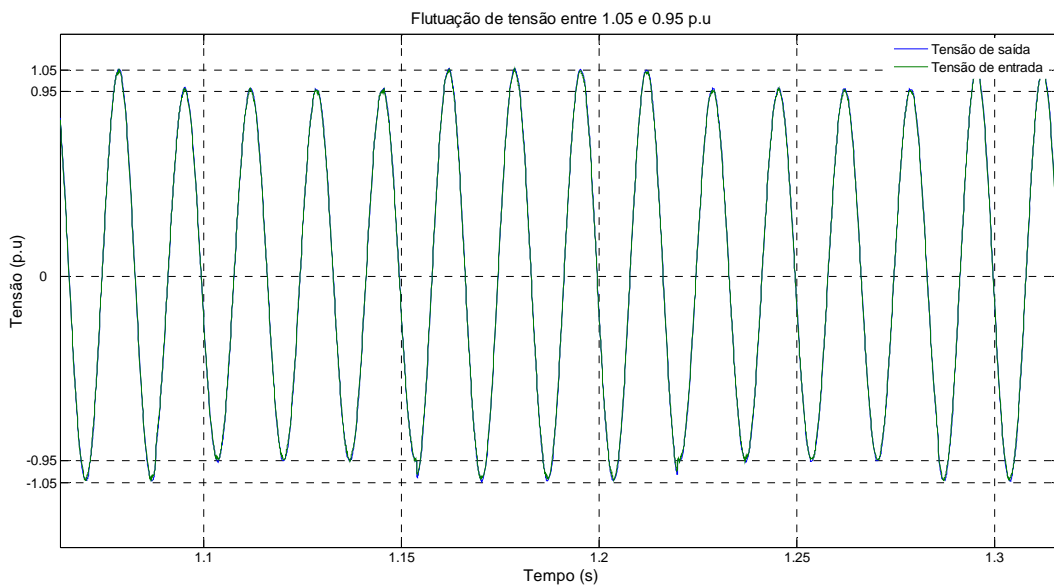


Figura 4. 25 – Flutuação de tensão entre 1,05 e 0,95 pu.

4.1.6 - Variação de Frequência

A figura 4.26 apresenta as formas de onda da tensão e da corrente na entrada e saída do UPS, *Passive Standby*, capturadas durante 5 segundos. Nesse intervalo, na entrada do equipamento foi aplicada uma **variação de frequência** que fez com a frequência nominal (60 Hz) fosse para 63 Hz durante um segundo (tabela 3.20). Observa-se ainda, nessa figura, quatro instantes que devem ser analisados separadamente e, por isso, estão devidamente destacados. Da figura 4.27 até 4.30 tem-se a aproximação dos instantes selecionados.

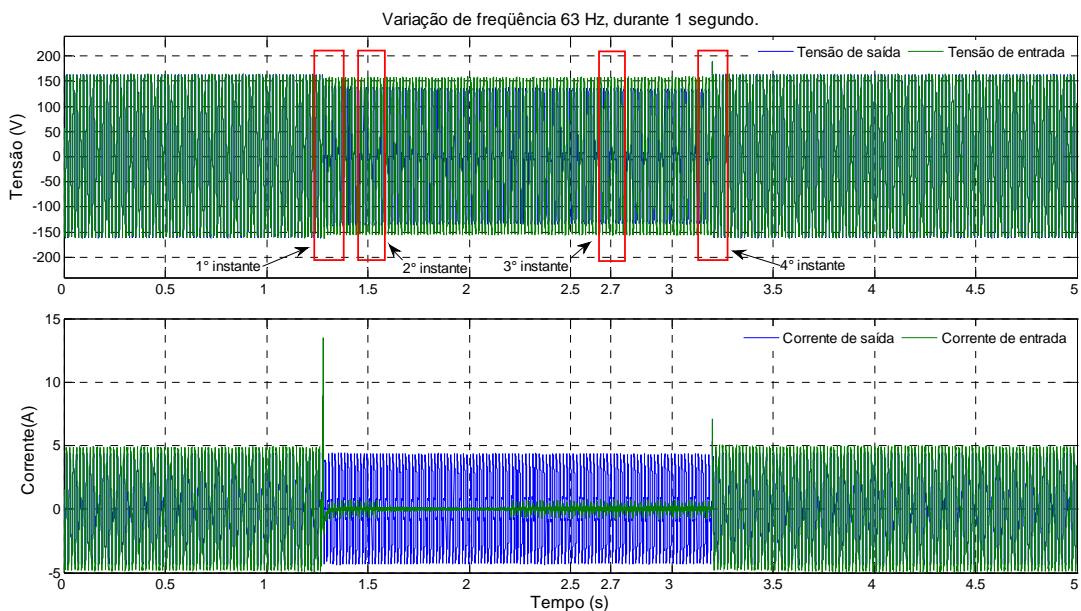


Figura 4. 26 – Variação de frequência de 63 Hz em um período de 1 segundo.

No primeiro instante (fig. 4.27), ocorre a transferência do modo normal para o modo bateria devido à variação de frequência. No segundo instante (fig. 4.28), o UPS está no modo bateria e a variação de frequência continua sendo aplicada na entrada do equipamento. No terceiro instante (fig. 4.29), o UPS está no modo bateria e a variação de frequência foi cessada há mais de um segundo. No quarto instante (fig. 4.30), ocorre a transferência do modo bateria para o modo normal.

A utilização de uma variação de frequência inexistente nos Sistemas de Potência de grande porte, como o SIN, foi necessária tanto para facilitar a visualização do evento (essa visualização será melhor entendida no mesmo ensaio da topologia Linha Interativa) quanto para verificar o comportamento do equipamento ensaiado. Além disso, constata-se a

dependência da frequência de saída em relação à frequência de entrada, conforme o texto exposto no item 2.4.1 (Topologia *Passive Standby*).

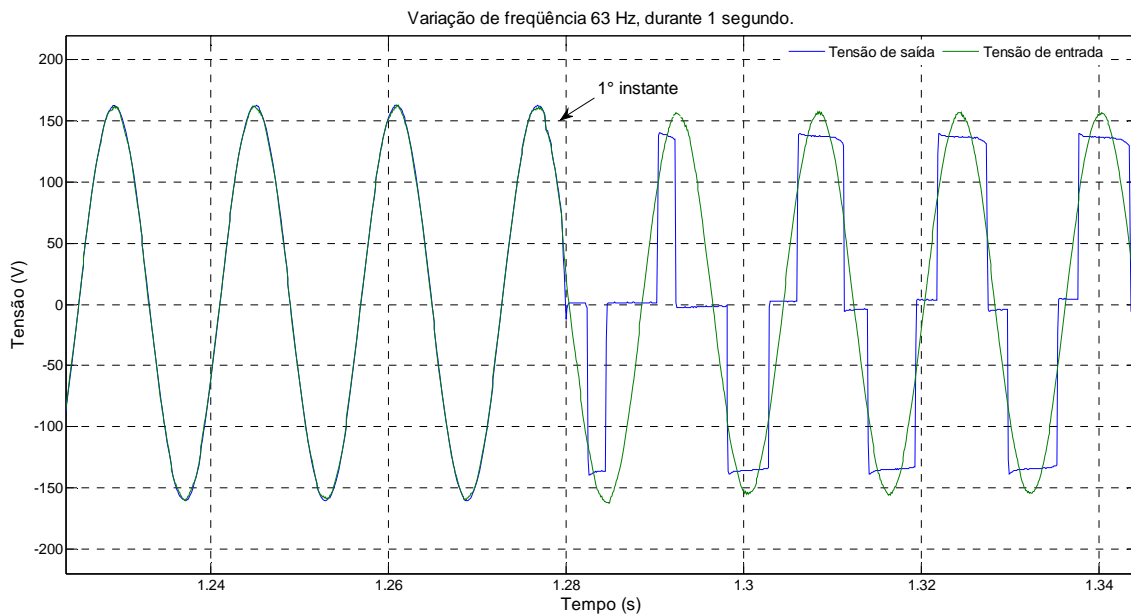


Figura 4. 27 – Aproximação do primeiro instante. Transferência do modo normal para o modo bateria.

Para viabilizar a análise do comportamento do equipamento ensaiado, criou-se a tabela 4.1 com o propósito de expor as variações de frequência (tabela 3.20) que, aplicadas na entrada do equipamento, provocariam a transferência do modo normal para o modo bateria.

Tabela 4. 1 – Variações de frequências que provocam transferência do modo normal para o modo bateria.

	Período da variação de frequência (segundos)	Valor da frequência variada (Hz)	Transferência do modo normal p/ o modo bateria
1ª forma de onda	1	65	-
2ª forma de onda	1	64	-
3ª forma de onda	1	63	sim
4ª forma de onda	1	62	não
5ª forma de onda	1	61	não
6ª forma de onda	1	59	não
7ª forma de onda	1	58	sim
8ª forma de onda	1	57	-
9ª forma de onda	1	56	-
10ª forma de onda	1	55	-
11ª forma de onda	1	180	-

Ao avaliar a tabela, depende-se que os limites para que ocorra a transferência do modo normal para o modo bateria, decorrente das variações de frequência, encontram-se entre 58 e 59 Hz para sub-freqüências e entre 62 e 63 Hz para sobre-freqüências.

Para análise da figura 4.28, utilizou-se uma ferramenta do programa *Matlab* que permite ao usuário visualizar sinais discretos em função do tempo. Assim, é possível calcular com maior precisão a freqüência no instante analisado. Com isso, tomando os valores do tempo entre dois picos ou mais da forma de onda da tensão, na entrada e saída do UPS, é possível comparar a freqüência da forma de onda da tensão gerada pela fonte, com a freqüência da forma de onda da tensão gerada no modo bateria, por meio do inversor. As equações abaixo mostram os valores das freqüências calculadas.

$$f_{fonte} = \frac{f_{(1^\circ ciclo)} + f_{(2^\circ ciclo)}}{2} = \frac{62,9 + 62,5}{2} = 62,7 \text{ Hz}$$

$$f_{inversor} = \frac{f_{(1^\circ ciclo)} + f_{(2^\circ ciclo)}}{2} = \frac{62,9 + 62,9}{2} = 62,9 \text{ Hz}$$

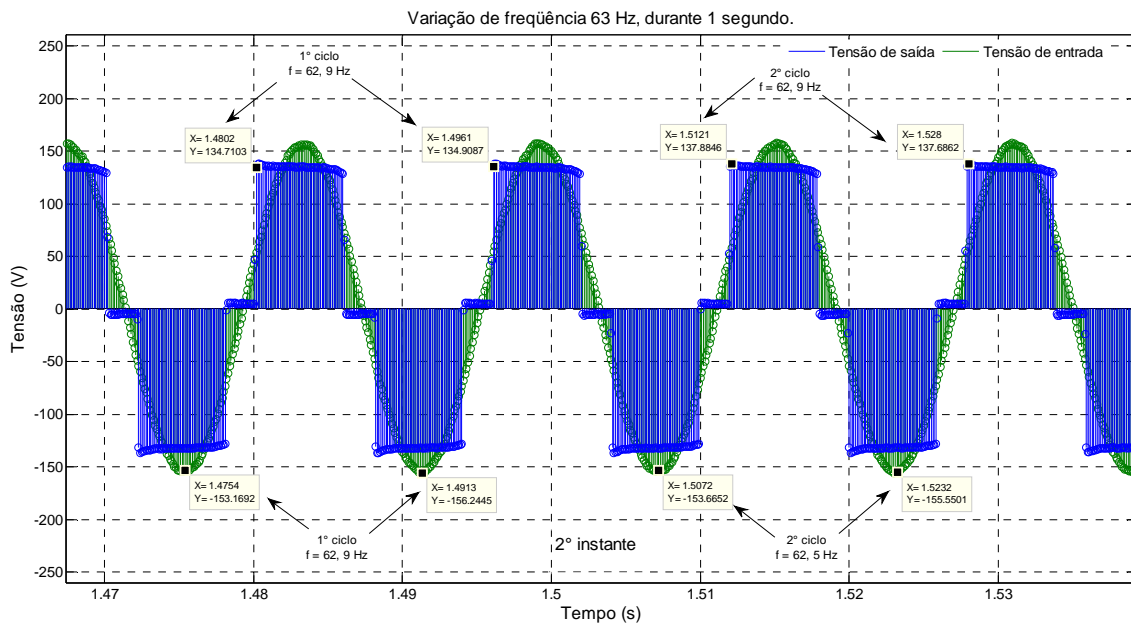


Figura 4. 28 – Aproximação do segundo instante.

Cabe ressaltar que os medidores digitais utilizam algoritmos de contagem de zeros para medir a frequência da tensão ou corrente, cuja frequência medida é a razão entre o número de ciclos inteiros contados (a cada três zeros tem-se um ciclo) pela duração total desses ciclos. Desse modo, a quantidade de ciclos inteiros contados influencia na precisão da medida. Por exemplo, ao tomar a diferença entre o menor instante do 1º ciclo e o maior instante do 2º ciclo, da tensão de saída, o resultado será uma frequência de 62,76 Hz.

Ao analisar o terceiro instante (fig. 4.29), nota-se que as frequências de entrada e saída do UPS estão próximas a 60 Hz, pois a tensão fornecida ao equipamento voltou a normalidade.

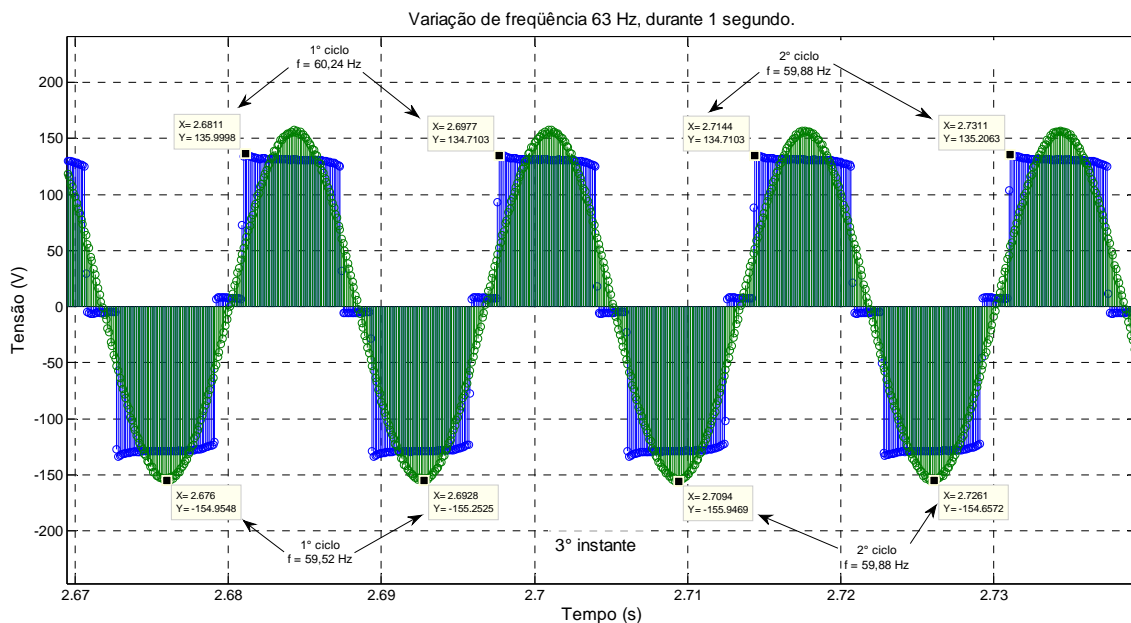


Figura 4. 29 – Aproximação do terceiro instante.

Percebe-se que o sistema de controle do UPS retorna para o modo normal aplicando um curto-circuito instantâneo na fonte (figura 4.30). Com isso, no contexto de QEE, essa técnica utilizada pelo UPS *Passive Standby* ensaiado pode ser prejudicial aos equipamentos eletrônicos conectados a esse UPS? Por exemplo, se esse UPS estiver alimentando, no modo bateria, um aparelho de televisão, e ao retornar ao modo normal, a forma de onda da tensão apresentada na figura 4.30 pode ser capaz de gerar alguma consequência ao aparelho de televisão, como estresse de dispositivos ou “chuveiro na tela”.

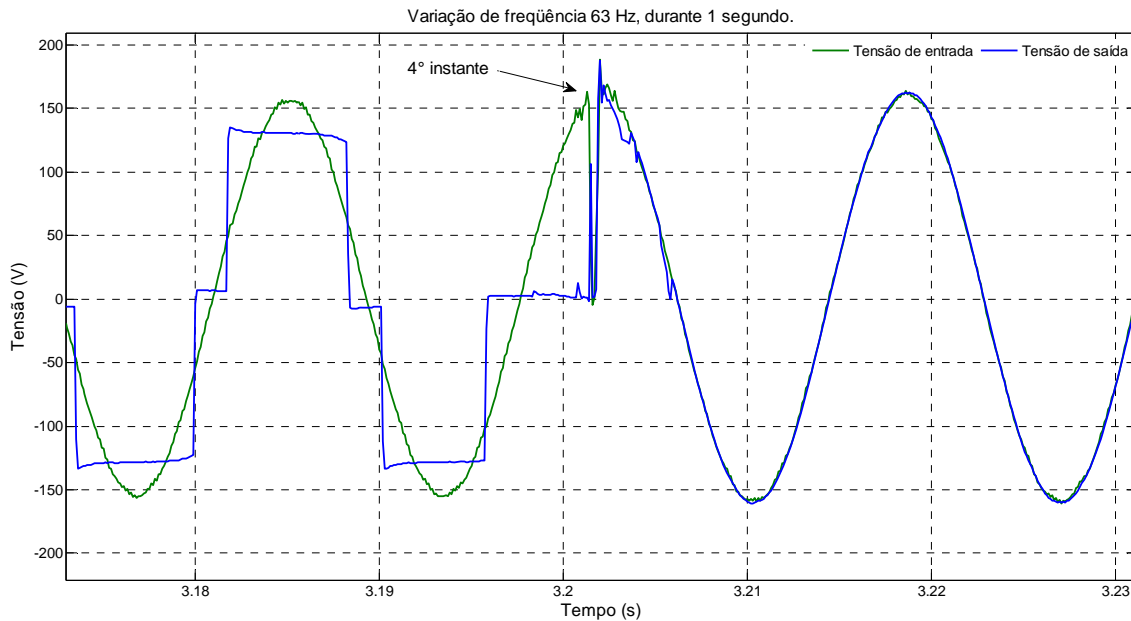


Figura 4. 30 – Aproximação do quarto instante. Transferência do modo bateria para o modo normal.

Com base nas figuras relacionadas e o conjunto de ensaios referentes a esse fenômeno, pode-se inferir que:

- i) As cargas alimentadas pelo equipamento ensaiado sofrem esse fenômeno em sua totalidade, por um pequeno intervalo, independente do valor da frequência aplicada na entrada do equipamento;
- ii) As tensões, com frequências dentro dos limites estabelecidos pelo fabricante, não provocam a transferência do modo normal para o modo bateria. Como consequência, as cargas que possuem relógios sincronizados com a frequência da tensão da rede CA ficam sujeitas a consideráveis erros de tempo;
- iii) No modo bateria, a forma de onda da tensão de saída (onda quase-quadrada) segue as frequências aplicadas na entrada do equipamento mesmo quando essas estão fora dos limites estabelecidos pelo fabricante; e
- iv) A frequência de saída do UPS Passive *Standby* analisado é dependente da frequência aplicada na entrada do equipamento, conseqüentemente o mesmo não é resiliente ao fenômeno de QEE, classificado como variações de frequência.

4.2 - TESTE UPS LINHA INTERATIVA

Nesse item são apresentados os resultados e análise referentes aos ensaios realizados na topologia Linha Interativa. Ressalta-se que o equipamento ensaiado não queimou nenhuma vez.

4.2.1 – Transitórios

A seguir são expostas as análises referentes aos resultados obtidos nos ensaios ao aplicar transitórios, impulsivos e oscilatórios, na entrada do UPS Linha Interativa.

4.2.1.1 - Transitório Impulsivo

A figura 4.31 apresenta as formas de onda da tensão na entrada e saída do UPS, Linha Interativa, quando se aplica um transitório impulsivo (tabela 3.4) na entrada do equipamento. Após analisar as figuras capturadas pelo sistema de aquisição de dados é possível traçar a figura 4.32, que representa a curva ITIC para transitórios impulsivos aplicados no UPS ensaiado. Ao analisar todas as figuras relacionadas a esse fenômeno pode-se concluir que:

- i) Variando a potência da carga (0%, 20%, 50% e 100%), as formas de onda da tensão são semelhantes;
- ii) Não houve transferência do modo normal para o modo bateria em transitórios de duração de 1 ms. Entretanto, para transitórios impulsivos de duração de 2 ms, o sistema de controle transferiu a carga para o modo bateria em alguns eventos;
- iii) O UPS Linha Interativa analisado não é capaz de eliminar ou mitigar fenômenos impulsivos. Com isso, as cargas alimentadas, pelo equipamento, sofrem o evento em sua totalidade, conforme mostra a curva ITIC (fig. 4.32); e

iv) O UPS Linha Interativa analisado não é resiliente frente aos transitórios impulsivos.

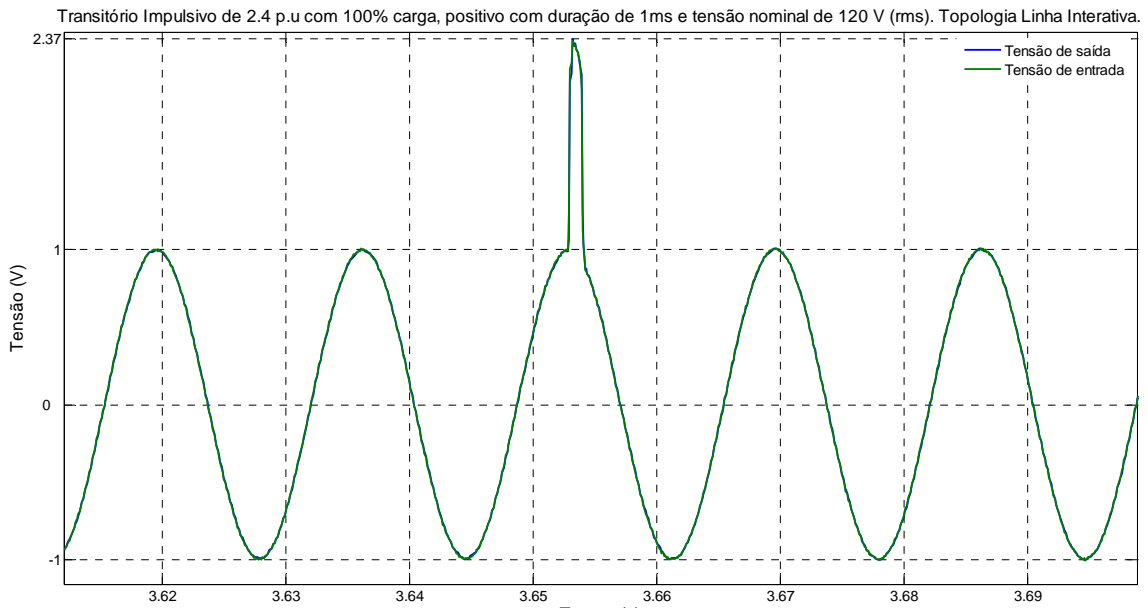


Figura 4. 31 – Resposta do UPS, Linha Interativa, frente a um transitório impulsivo com duração de 1ms.

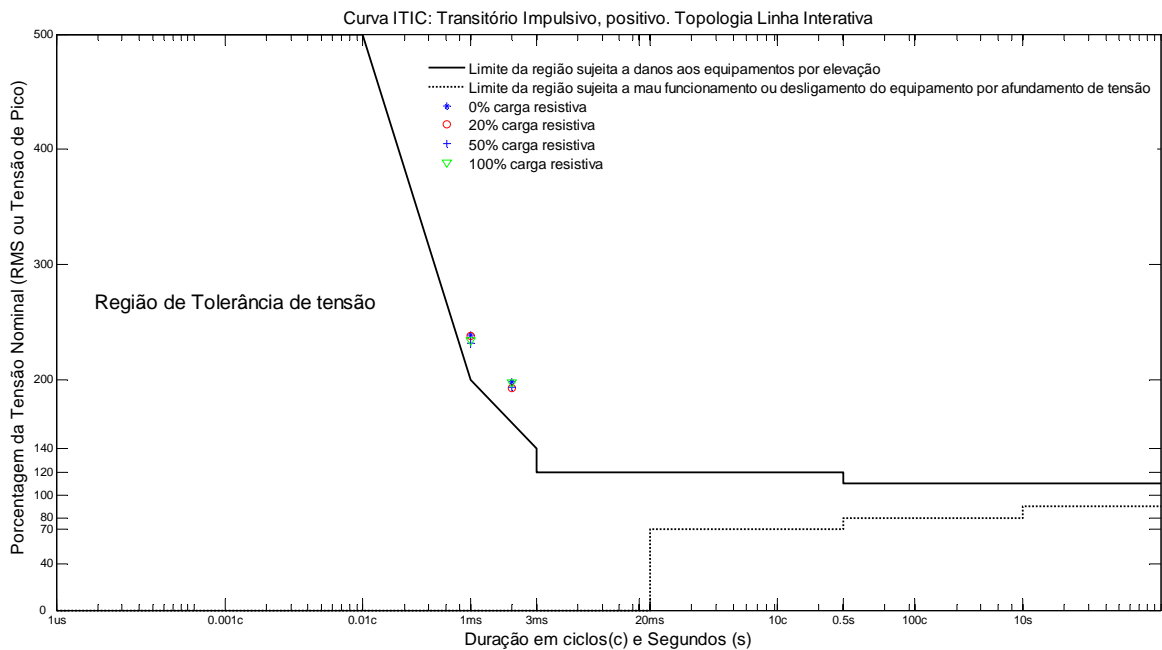


Figura 4. 32 – Topologia Linha Interativa: Curva ITIC para transitório impulsivo.

4.2.1.2 - Transitório Oscilatório

A figura 4.33 apresenta as formas de onda da tensão na entrada e saída do UPS, Linha Interativa, quando se aplica um transitório oscilatório (duração de 50 ms) na entrada do equipamento, levando em conta que o mesmo está suprindo uma carga resistiva. Após analisar a figura 4.33 é possível concluir que:

- i) A tensão na saída do UPS acompanha a tensão de entrada durante 1,5 ciclo;
- ii) Variando a potência da carga (0%, 20%, 50% e 100%), a forma de onda da tensão é a mesma até 50% de carga, já em 100% de carga o UPS sai de sincronismo com a rede e muda para o modo bateria; e
- iii) O UPS Linha Interativa ensaiado não é capaz de mitigar fenômenos impulsivos oscilatórios, com isso as cargas por ele alimentada sofrem o evento até o instante em que ocorre a transferência para o modo bateria.

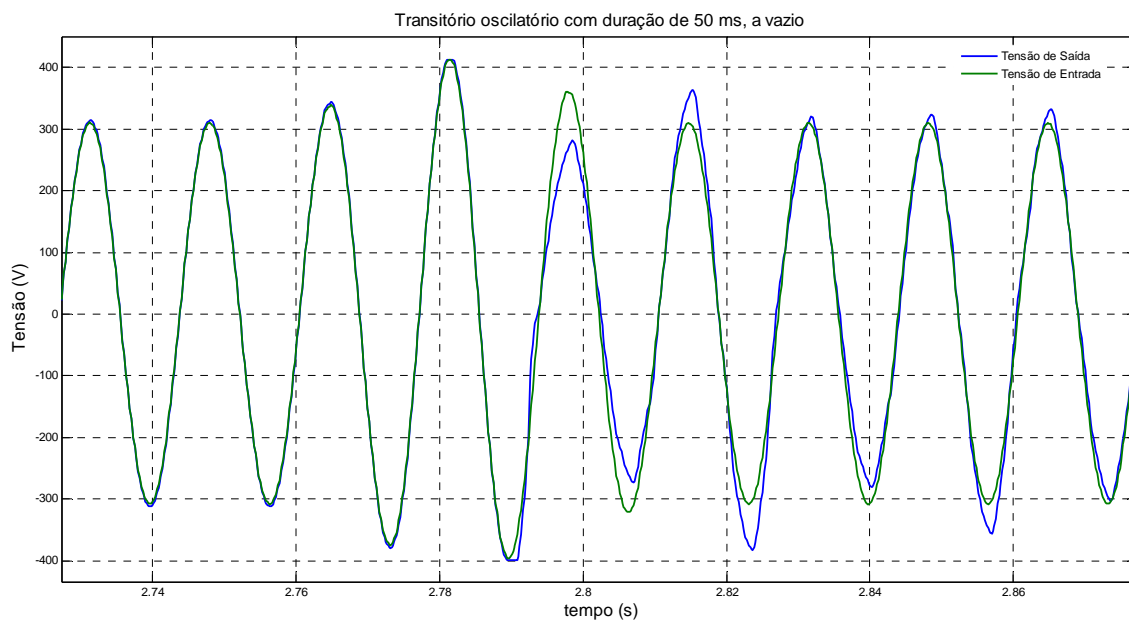


Figura 4. 33 - Resposta do UPS, Linha Interativa, frente a um transitório oscilatório com duração de 50 ms.

4.2.2 - Variações de Tensão de Curta Duração

A seguir são expostas as análises referentes aos resultados obtidos nos ensaios ao aplicar VTCD, Interrupção, Afundamento e Elevação de Tensão, na entrada do UPS Linha Interativa.

4.2.2.1 - Interrupções de curta duração

A figura 4.34 apresenta as formas de onda da tensão e corrente na entrada e saída do UPS, Linha Interativa, capturadas durante 10 segundos. Nesse intervalo, na entrada do equipamento, aplicou-se uma **interrupção de tensão instantânea** que fez com que a tensão fosse para 0,09 pu em cinco ciclos de duração (tabela 3.5). Observa-se ainda, nessa figura, dois instantes que devem ser analisados separadamente e, por isso, estão devidamente destacados. Da figura 4.35 até 4.36, tem-se a aproximação dos instantes selecionados.

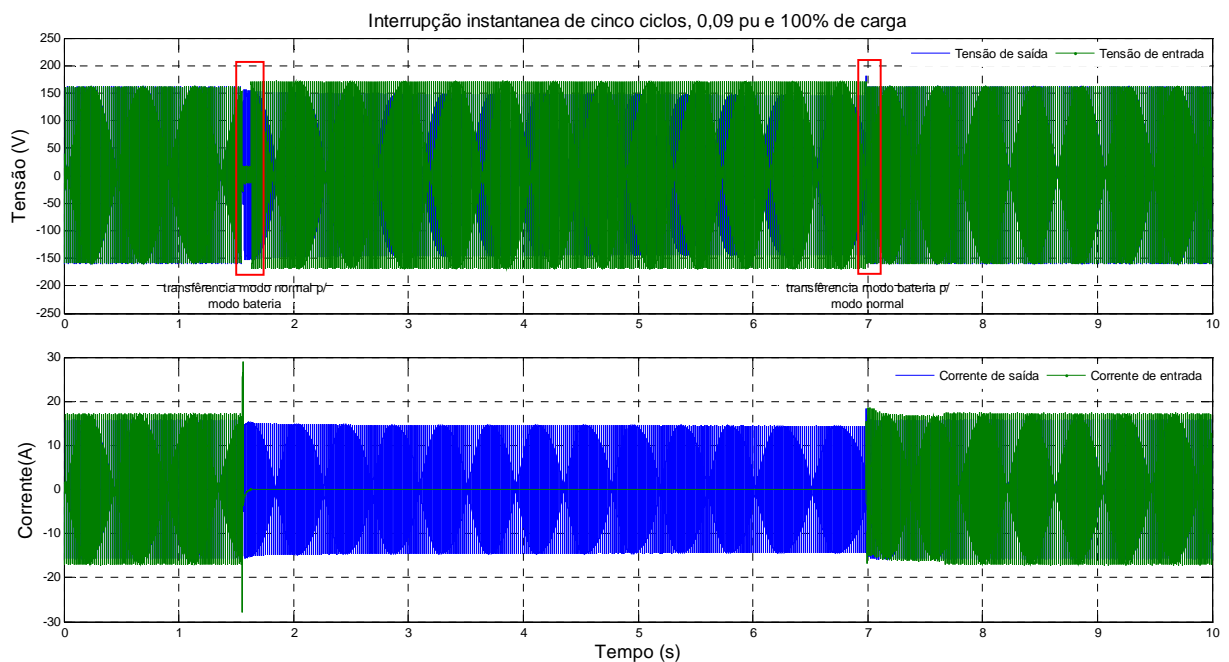


Figura 4. 34 – Linha Interativa. Interrupção Instantânea de cinco ciclos, 0,09 pu e 100% carga resistiva.

No primeiro instante (fig. 4.35), ocorre a transferência do modo normal para o modo bateria devido à interrupção de tensão. No segundo instante (fig. 4.36), ocorre a

transferência do modo bateria para o modo normal, pois o sistema de controle percebeu que a tensão de entrada está dentro do limite adequado.

Nota-se, na figura 4.35, que a tensão de saída do UPS acompanha a tensão de entrada, no momento do evento. Portanto, a carga sente uma interrupção de 8,0 ms, ao contrário do que informam as especificações fornecidas pelo fabricante na tabela 3.2.

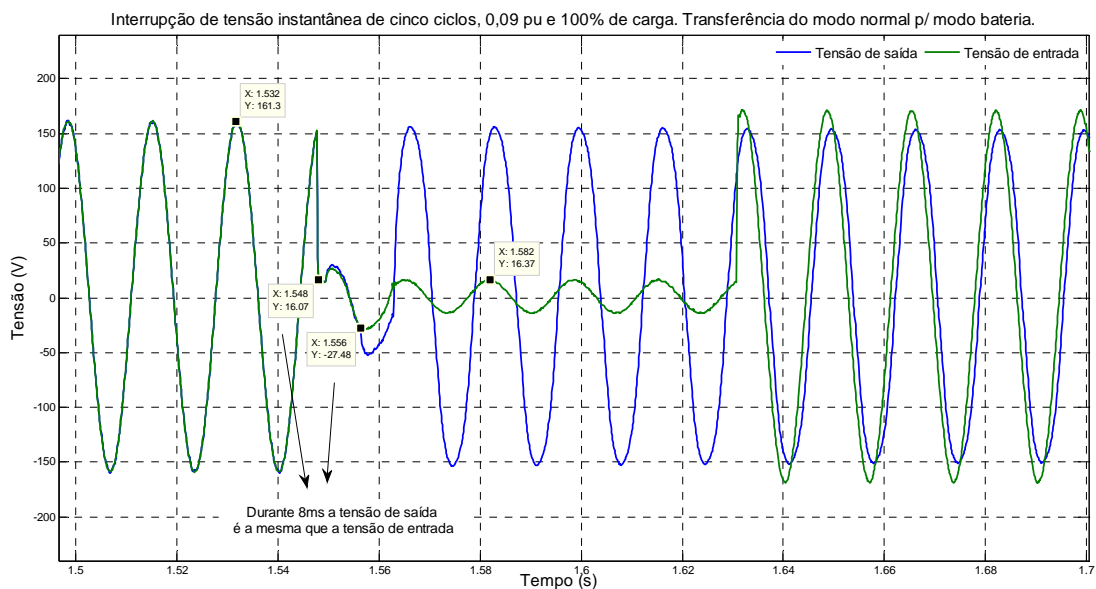


Figura 4. 35 – Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo normal para modo bateria.

Já na figura 4.36 observa-se que no instante em que o UPS transfere a carga do modo bateria para o modo normal, ocorre uma interrupção na tensão de saída de 3,0 ms. Com isso, a carga sente essa interrupção de tensão.

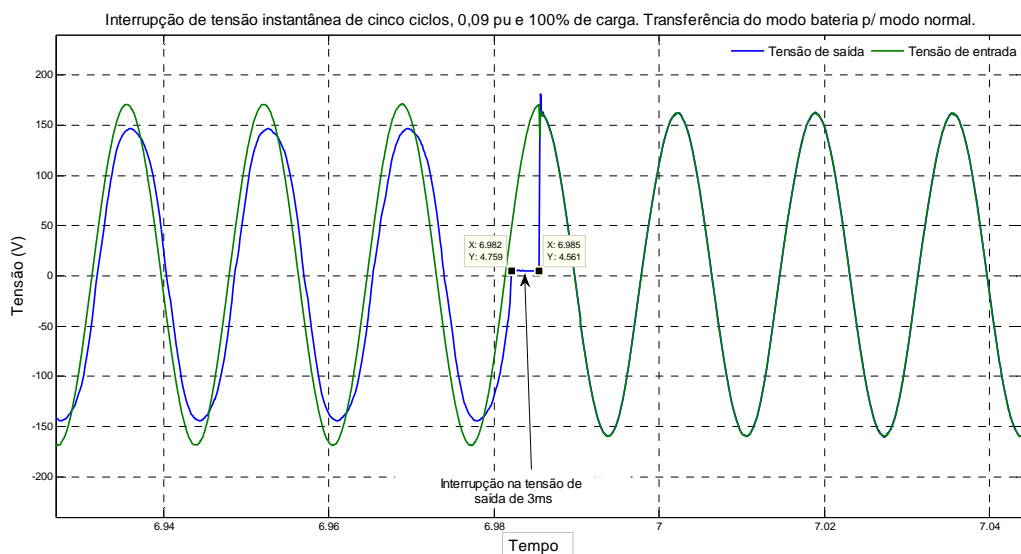


Figura 4. 36 - Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo bateria para modo normal.

Ao variar a potência da carga, figuras 4.35, 4.37 e 4.38, nota-se que na medida em que a potência suprida pelo UPS diminui, a resposta frente às interrupções de tensão é sentida pela carga através de elevações de tensões.

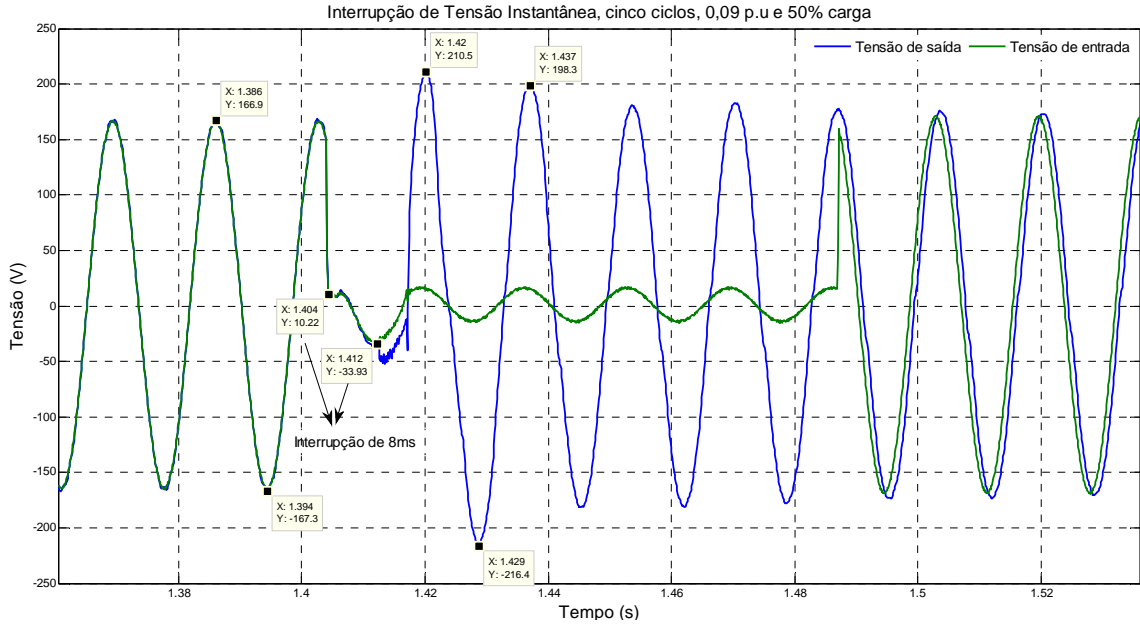


Figura 4. 37 - Interrupção Instantânea de meio ciclo, 0° grau, 50% carga

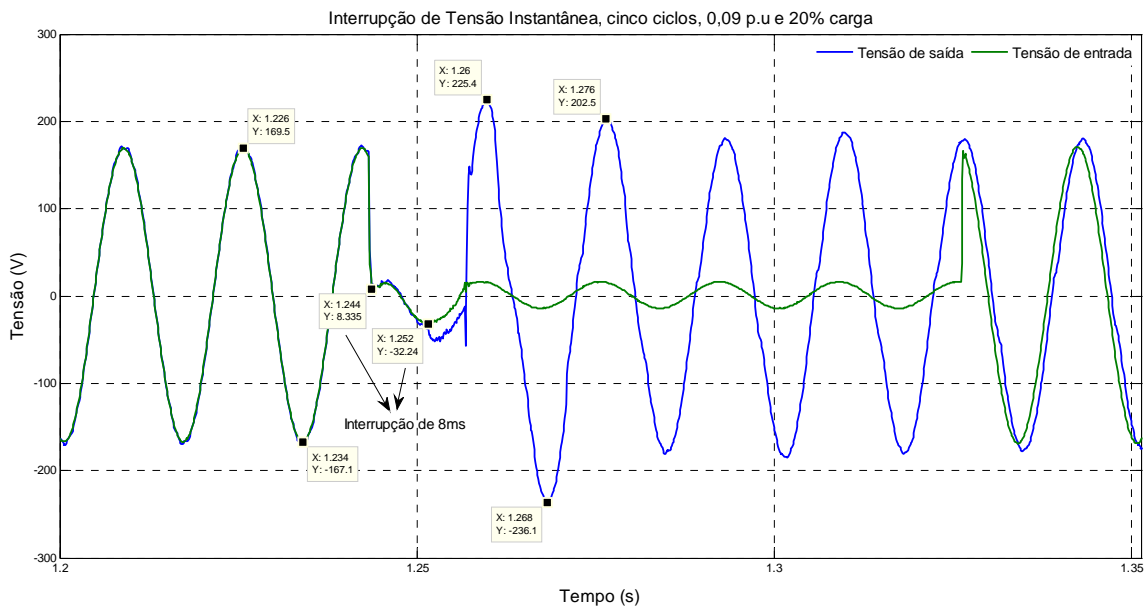


Figura 4. 38 - Interrupção Instantânea de meio ciclo, 0° grau, 20% carga

Com o intuito de facilitar a análise da resposta do UPS, Linha Interativa, frente às interrupções de tensão, traçou-se a curva ITIC correspondente as interrupções instantâneas, momentâneas e temporárias, para as diferentes potências de cargas, como mostram as

figuras 4.39, 4.40 e 4.41, respectivamente. Ao analisar todas as figuras relacionadas a esse fenômeno pode-se concluir que:

- i) As elevações de tensão produzidas, no momento da transferência entre os modos de operação do UPS Linha Interativa, dependem da potência da carga suprida pelo UPS (20%, 50% e 100), sendo que para potências menores as elevações de tensão são maiores;
- ii) Ocorreu interrupção de tensão na transferência da carga para o modo bateria em intervalos aproximados de 8 ms. Logo, esse fato pode prejudicar o funcionamento da carga se a mesma não suportar interrupções dessa magnitude;
- iii) O UPS Linha Interativa analisado é capaz de mitigar as interrupções de curta duração somente se a carga alimentada pelo equipamento suportar interrupções de até 8 ms, como fontes chaveadas de computadores;
- iv) As curvas ITICs mostram que, para cargas de 20 e 50% do valor nominal, a maioria das elevações de tensão ficou acima do limite da região sujeita a danos aos equipamentos por elevação de tensão. Já para uma carga de valor nominal (100%), as elevações de tensão ficaram dentro da região de tolerância de tensão; e
- v) O UPS Linha Interativa analisado não é resiliente frente as interrupções de tensão de curta duração, tendo em vista que ao suprir 20% da carga nominal as elevações de tensão devido à transferência do modo normal para o modo bateria ultrapassam os limites da curva ITIC.

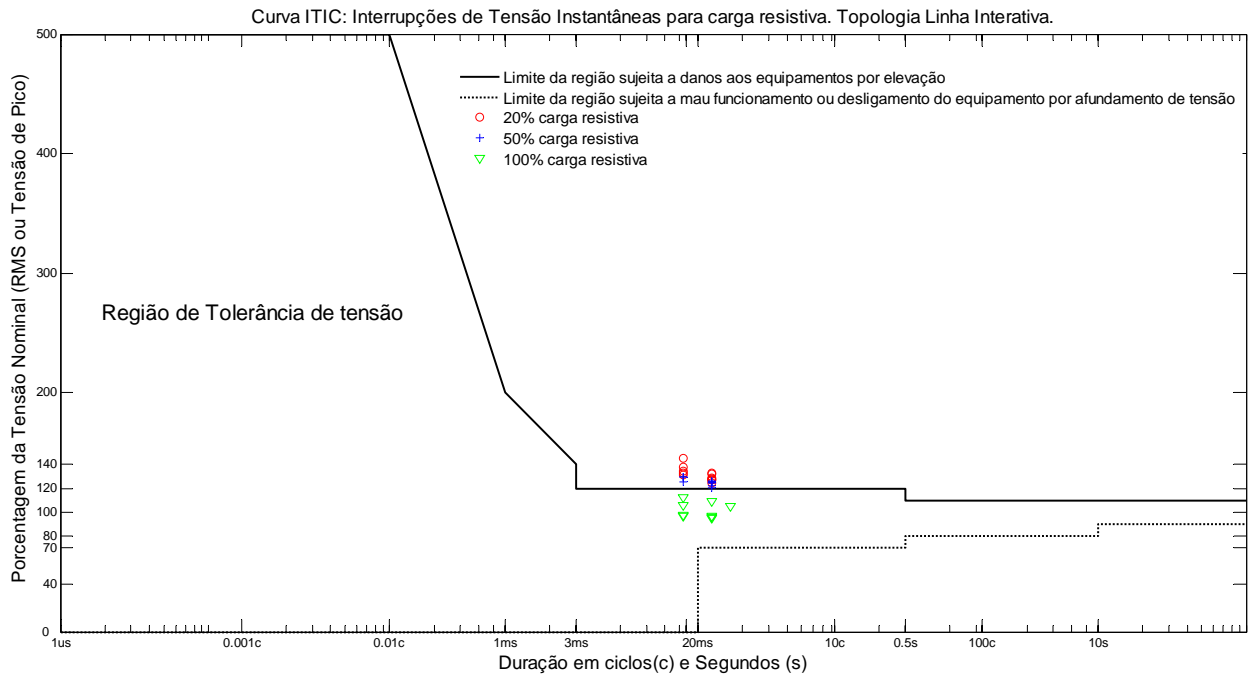


Figura 4. 39 – Curva ITIC para interrupções Instantâneas

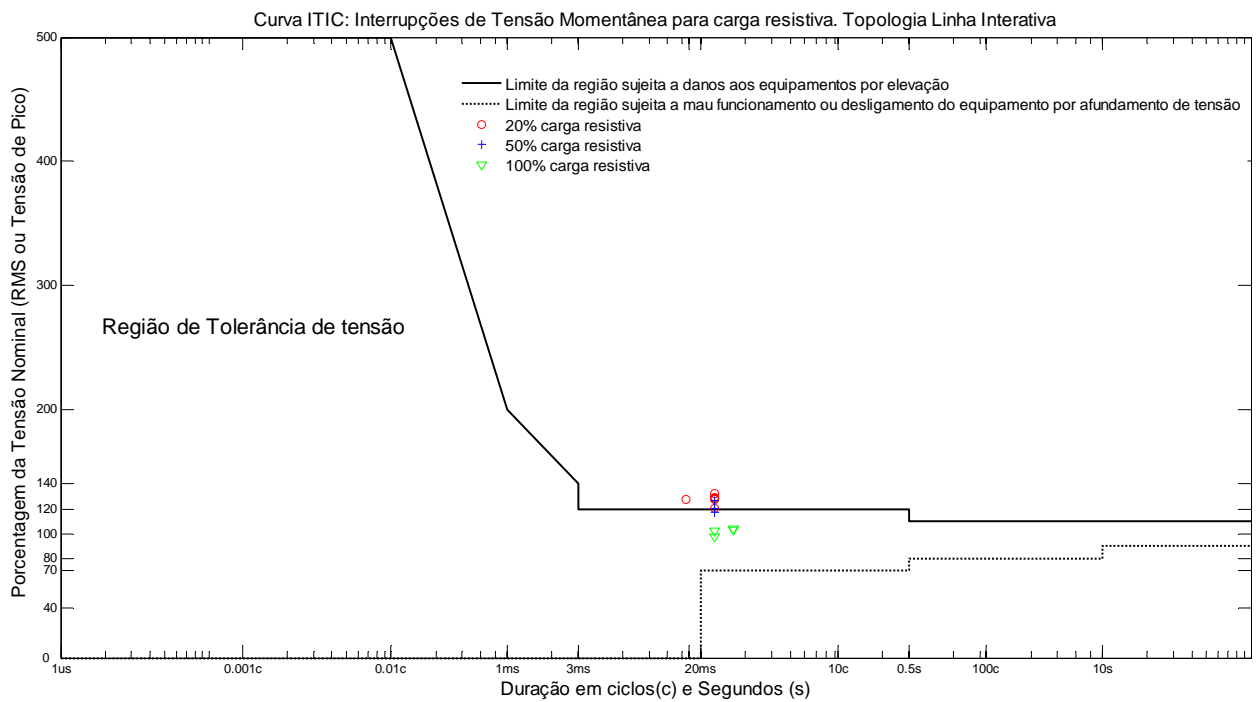


Figura 4. 40 – Curva ITIC para interrupções Momentâneas

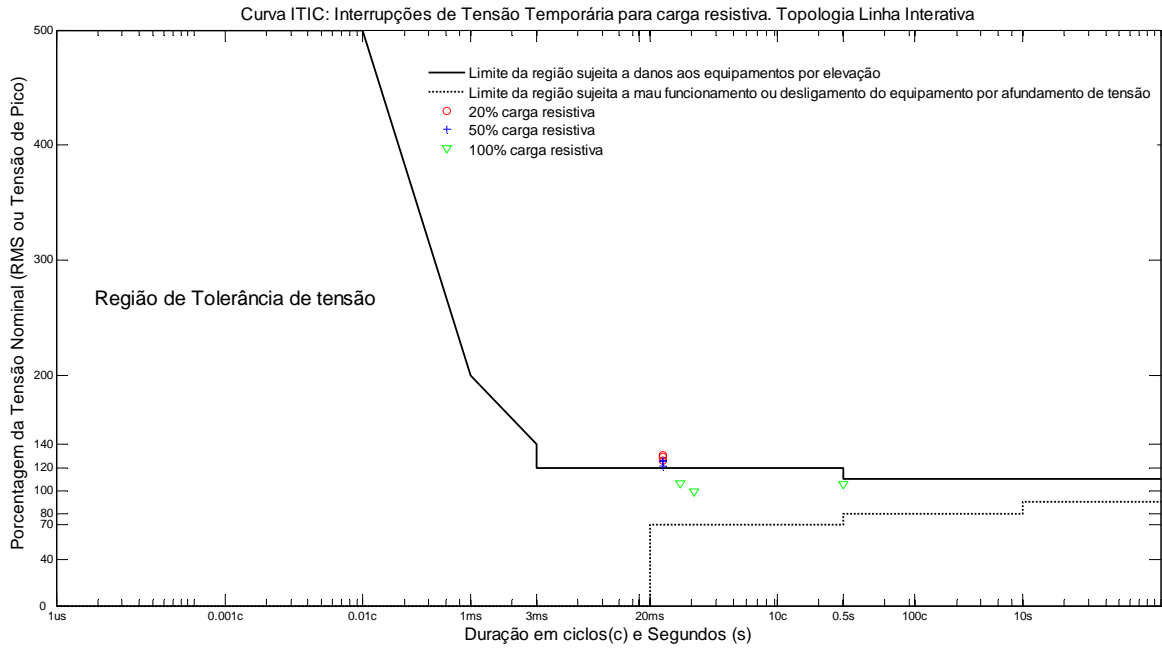


Figura 4. 41 – Curva ITIC para interrupções Temporárias

4.2.2.2 - Afundamento de Tensão

A figura 4.42 apresenta as formas de onda da tensão e corrente na entrada e saída do UPS, Linha Interativa, capturadas durante 30 segundos. Nesse intervalo, na entrada do equipamento aplicou-se um **afundamento de tensão temporário** que fez com que a tensão fosse para 0,6 pu em 1200 ciclos de duração (tabela 3.10). Nesta figura, têm-se quatro instantes que devem ser analisados separadamente e, por isso, estão devidamente destacados. Da figura 4.43 até 4.46, tem-se a aproximação dos instantes selecionados.

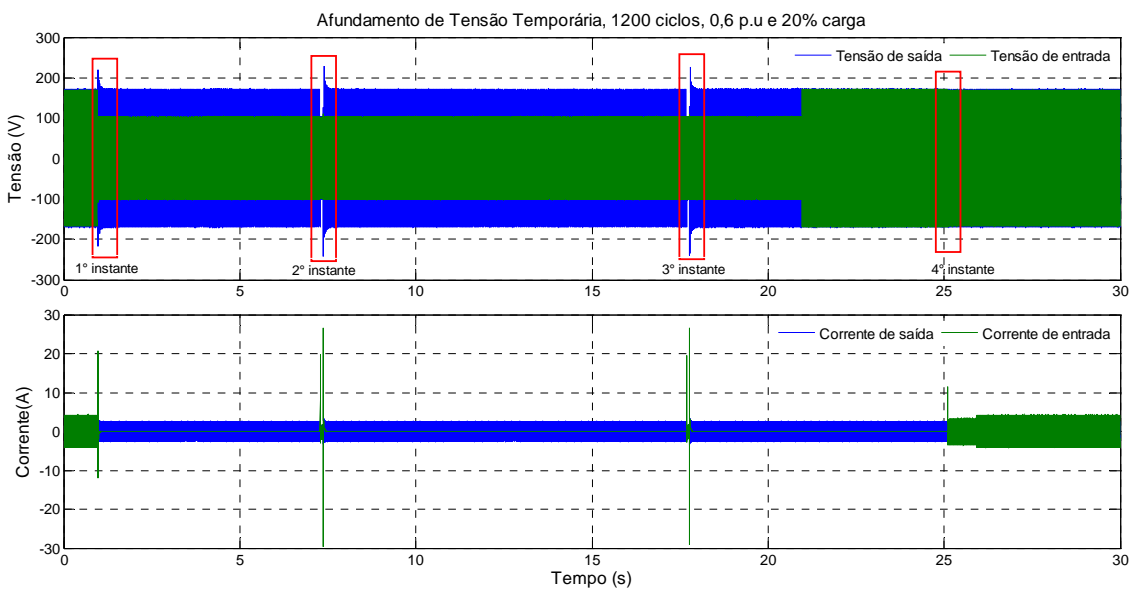


Figura 4. 42 - Afundamento de tensão temporário de 1200 ciclos, 0,6 pu e 20% carga resistiva.

No primeiro instante (fig. 4.43), acontece a transferência (chaveamento) do modo normal para o modo bateria devido ao afundamento de tensão. Nota-se que a tensão de saída do UPS acompanha a tensão de entrada por aproximadamente 8 ms e, após esse período, ocorre o chaveamento, gerando a elevação de tensão.

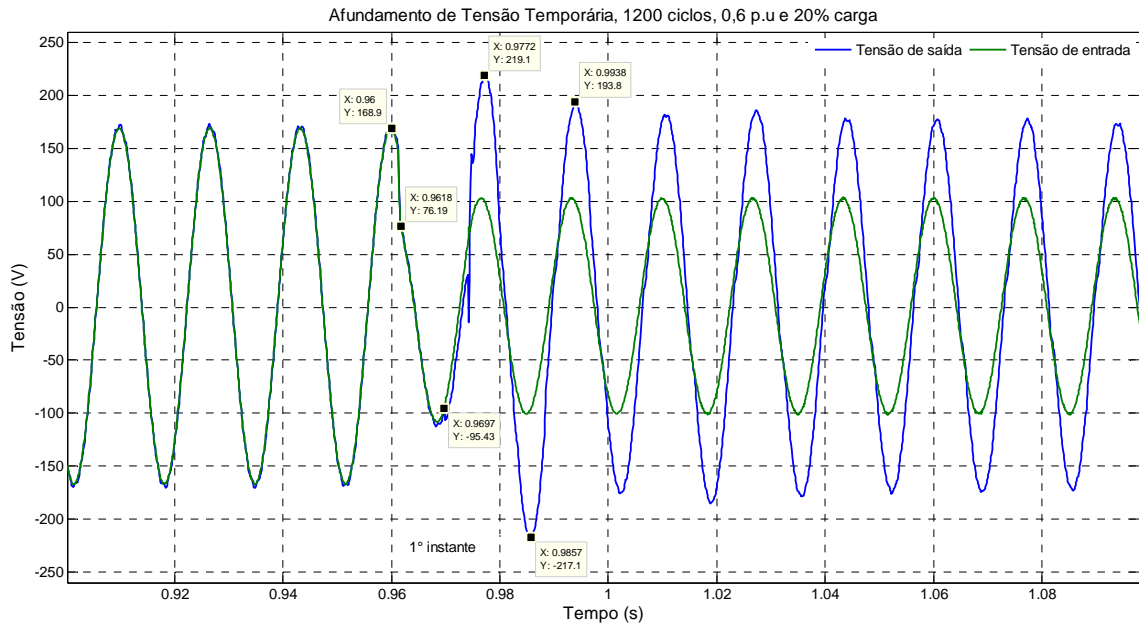


Figura 4. 43 – Aproximação do 1º instante em que ocorre a mudança do modo normal para o modo bateria.

No segundo (fig. 4.44) e terceiro (fig. 4.45) instantes, apreende-se que a forma de onda da tensão de saída acompanha a tensão de entrada por cerca de 90 ms. Logo, a carga ficará susceptível a esse afundamento durante esse intervalo.

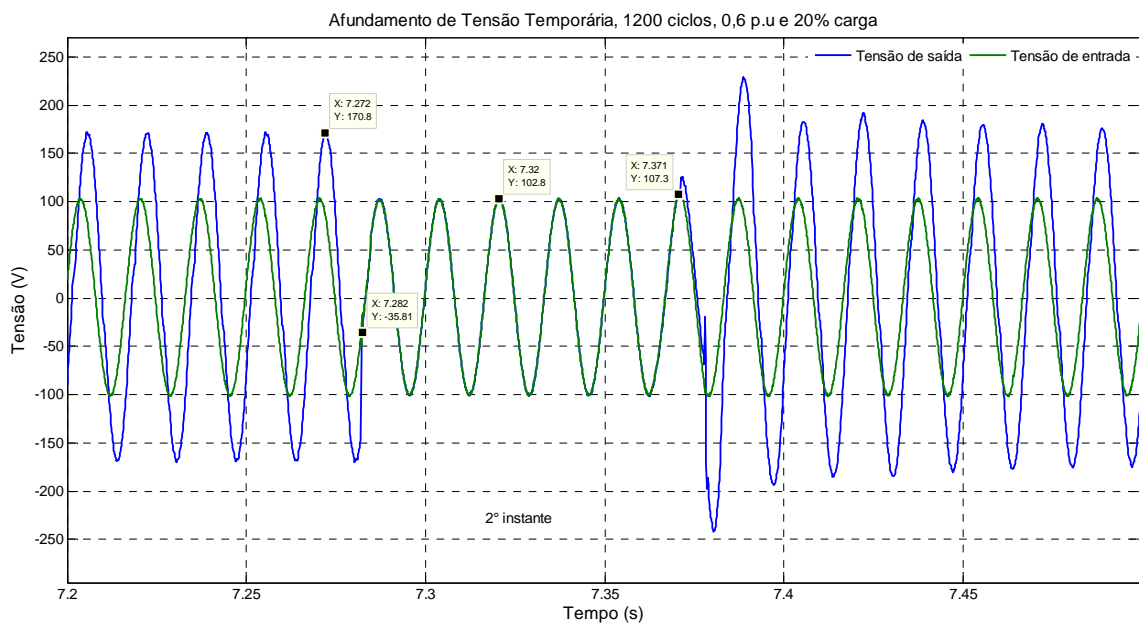


Figura 4. 44 - Aproximação do 2º instante. Afundamento de tensão temporário.

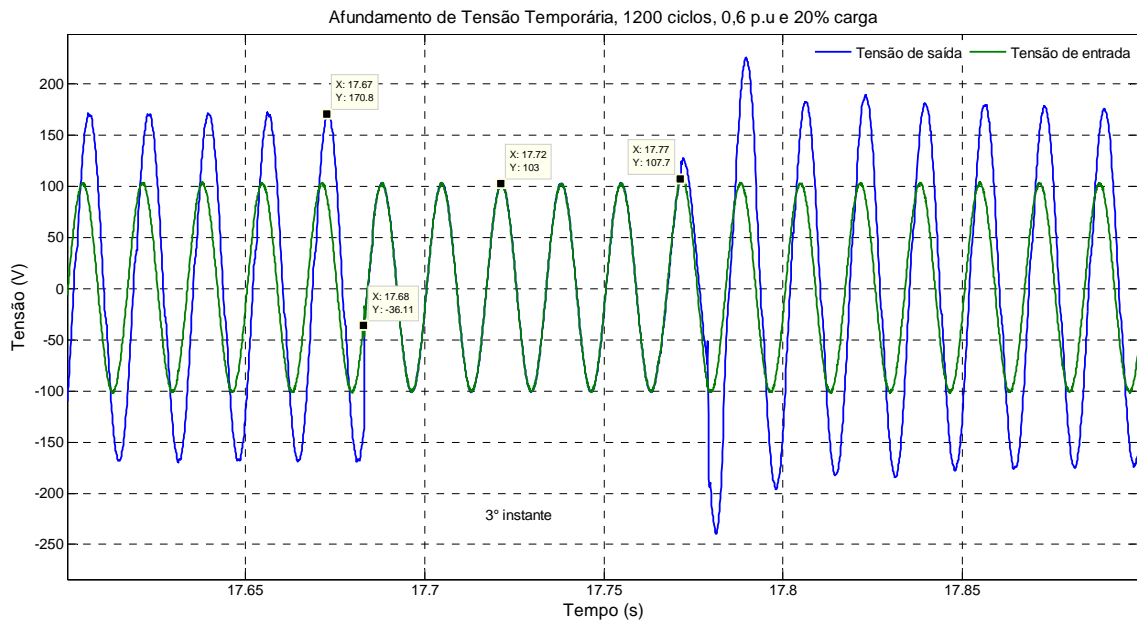


Figura 4. 45 - Aproximação do 3º instante. Afundamento de tensão temporário.

No quarto instante (fig. 4.46) nota-se o chaveamento do modo bateria para o modo normal, nesse caso não houve interrupção de tensão como pode ser observado na figura 4.36. Constatou-se, no decorrer dos ensaios, que a tensão de carga na bateria influencia a forma como o UPS retorna ao modo normal. Ou seja, se a bateria no momento do evento estiver com uma tensão de carga baixa, o chaveamento ficará propenso a ocorrência do mesmo evento apresentado pela figura 4.36.

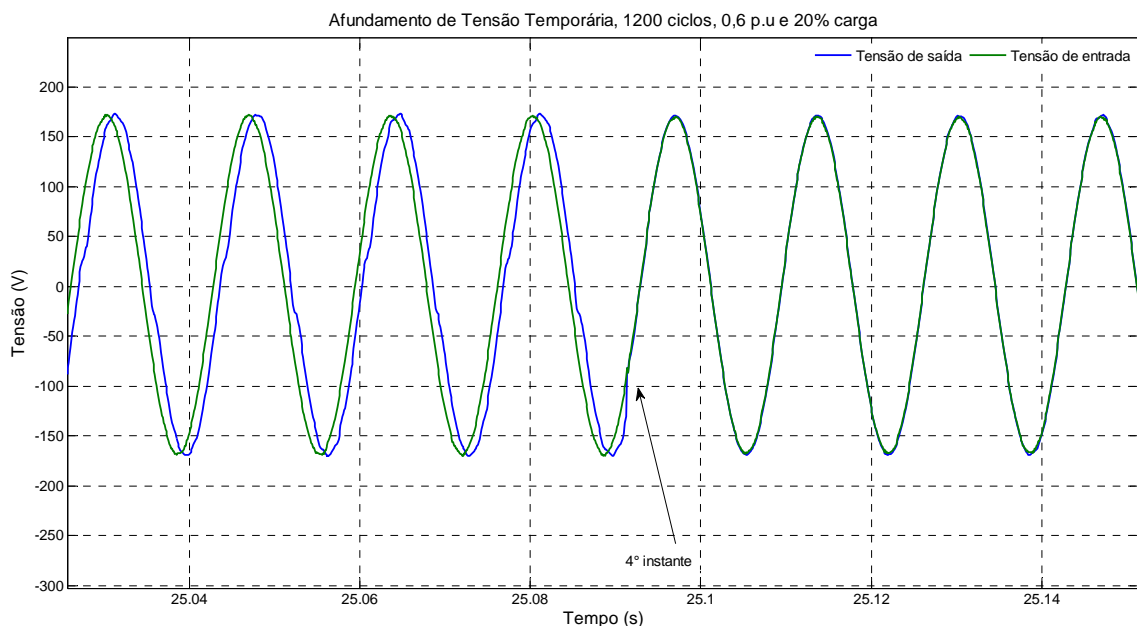


Figura 4. 46 – Aproximação do 4º instante em que ocorre a mudança do modo bateria para o modo normal.

A fim de facilitar a análise da resposta do UPS, Linha Interativa, frente aos afundamentos de tensão, traçou-se a curva ITIC correspondente aos afundamentos de tensão instantâneos, momentâneos e temporários, para as diferentes potências de cargas, como mostram as figuras 4.47, 4.48 e 4.49, respectivamente. Ao analisar todas as figuras relacionadas a esse fenômeno conclui-se que:

- i) A forma de onda da tensão de saída acompanha a tensão de entrada por aproximadamente 8 ms, após este intervalo acontece a transferência do modo normal para o modo bateria, fato este responsável por gerar elevações de tensão que podem danificar ou prejudicar o funcionamento dos equipamentos conectados ao UPS ensaiado. As elevações de tensão produzidas dependem da potência da carga suprida pelo UPS, como comentado no item 4.2.2.1;
- ii) O UPS Linha Interativa analisado é capaz de mitigar afundamentos de tensão instantâneos e momentâneos, desde que a carga alimentada pelo equipamento suporte afundamentos de tensão de até 8ms;
- iii) O UPS, Linha Interativa, analisado não é capaz de mitigar afundamentos de tensão temporários, pois o mesmo é incompatível com a curva ITIC, conforme observado na figura 4.49;
- iv) As curvas ITICs mostram um comportamento semelhante ao encontrado no item 4.2.2.1. Entretanto, para afundamentos de tensão temporários, a tensão de saída acompanha a tensão nos instantes 2° e 3°, os quais projetam pontos na região sujeita ao mau funcionamento ou desligamento do equipamento; e
- v) O UPS Linha Interativa analisado não é resiliente frente aos afundamentos de tensão de curta duração. Pois o mesmo não é capaz de suprir a carga com uma forma de onda adequada em situações de afundamentos de tensão temporários.

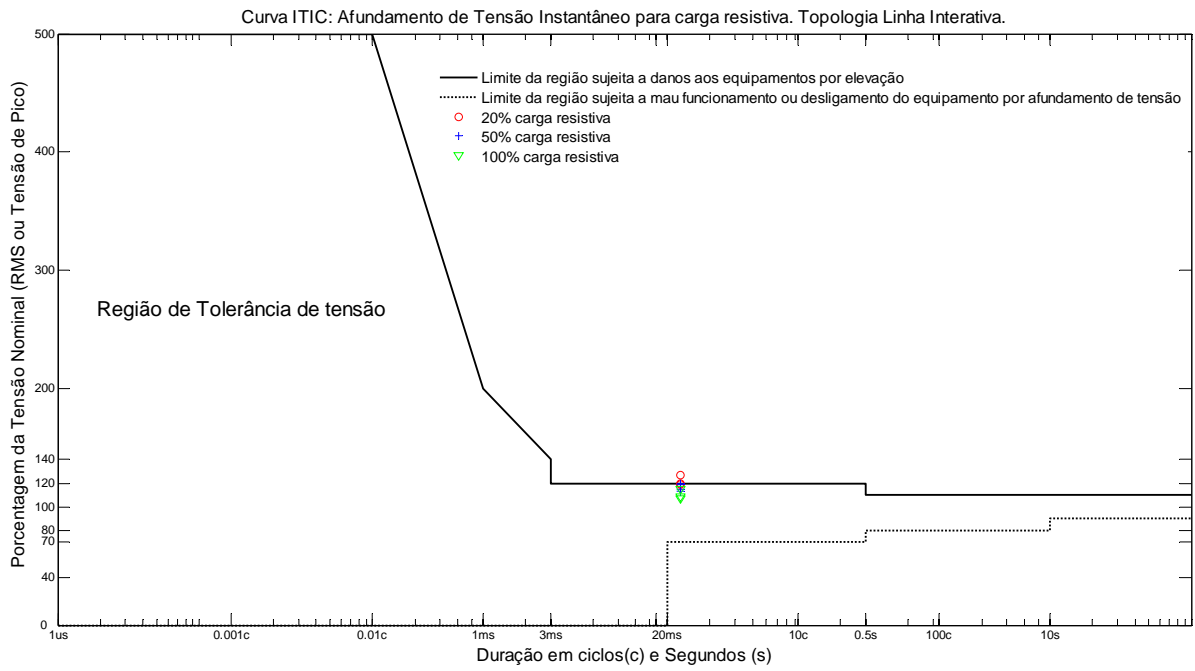


Figura 4. 47 - Topologia Linha Interativa. Curva ITIC para afundamento de tensão instantâneo.

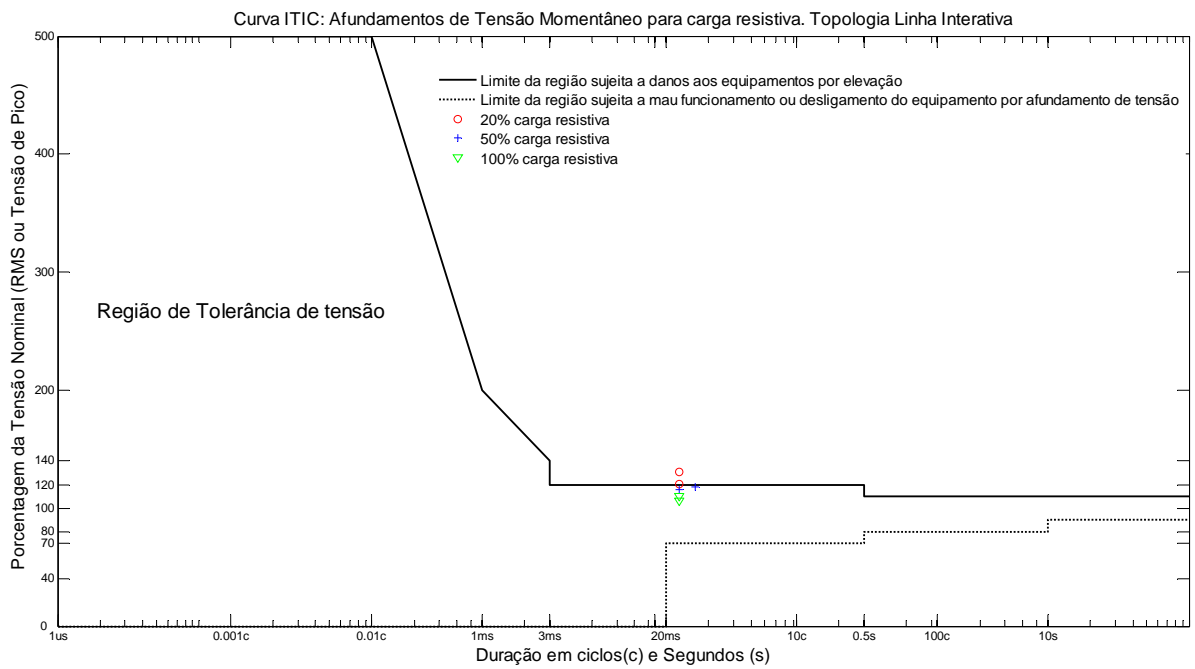


Figura 4. 48 - Topologia Linha Interativa. Curva ITIC para afundamento de tensão momentâneo.

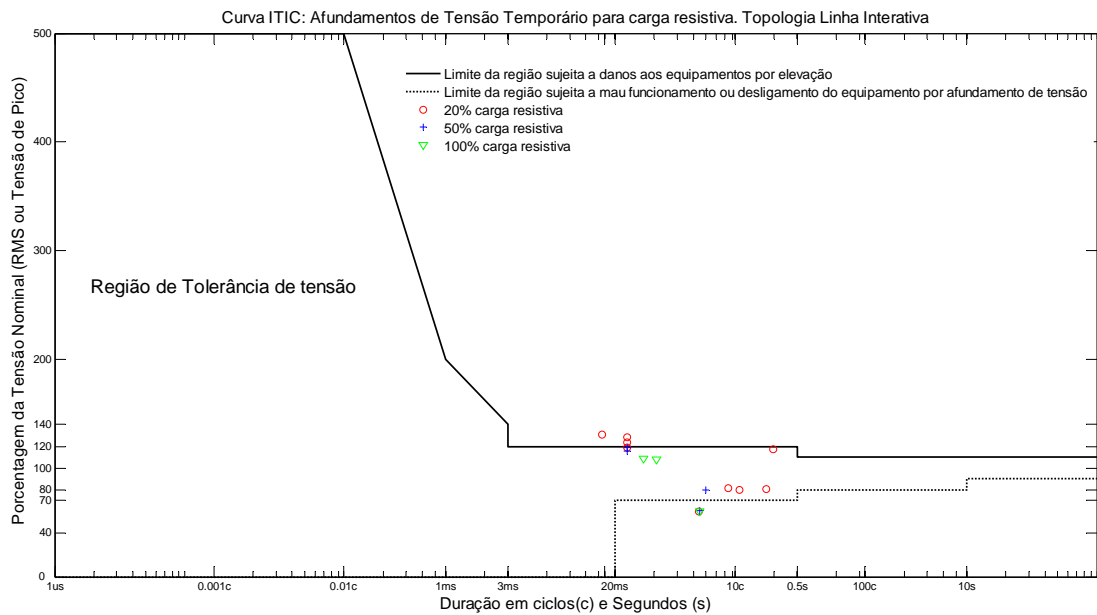


Figura 4. 49 - Topologia Linha Interativa. Curva ITIC para afundamento de tensão temporário.

4.2.2.3 - Elevação de Tensão

A figura 4.50 apresenta as formas de onda da tensão e corrente na entrada e saída do UPS, Linha Interativa, capturadas durante 10 segundos. Nesse intervalo, na entrada do equipamento, aplicou-se uma **elevação de tensão instantânea** que fez com que a tensão saísse do valor nominal para 1,65 pu em cinco ciclos de duração (tabela 3.11). Observa-se ainda, nessa figura, dois instantes que devem ser analisados separadamente e, por isso, estão devidamente destacados. Da figura 4.51 até 4.52, tem-se a aproximação dos instantes selecionados.

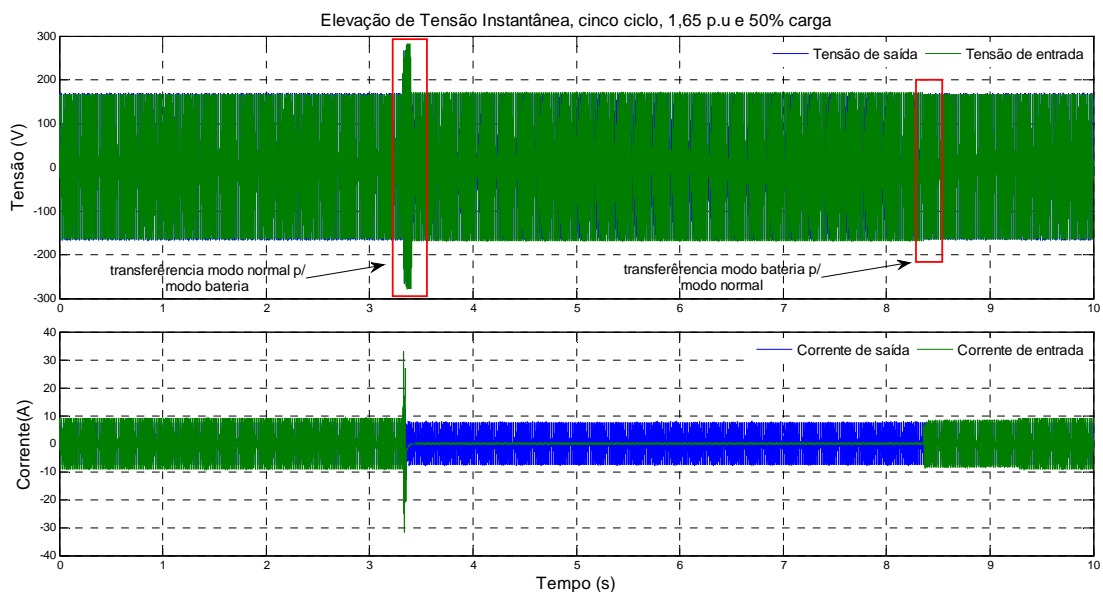


Figura 4. 50 – Elevação de Tensão Instantânea de cinco ciclos, 1,65 pu e 50% carga resistiva.

Observa-se, na figura 4.51, que a tensão na saída do UPS acompanha a tensão de entrada por aproximadamente 26 ms e, após esse período, ocorre a transferência do modo normal para o modo bateria. Com isso, a carga está sujeita a uma elevação de tensão de 1,65 pu durante o período supracitado. Já a figura 4.52 mostra que a transferência do modo normal para o modo bateria ocorreu de forma suave, ou seja, não houve interrupção na tensão de saída como pode ser observado na figura 4.36.

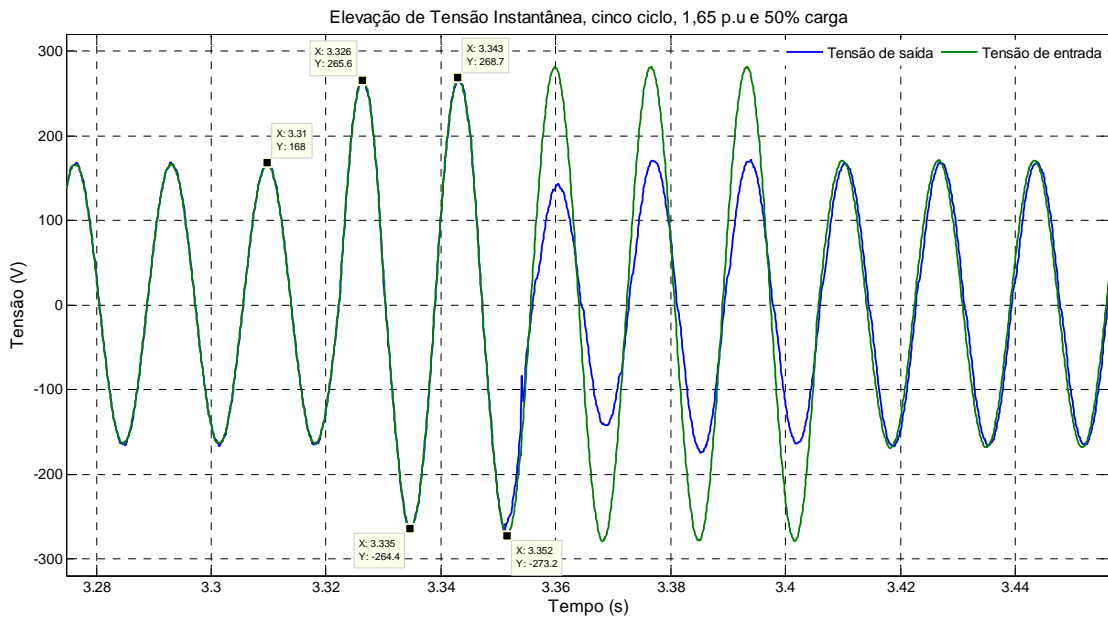


Figura 4. 51 – Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo normal para o modo bateria.

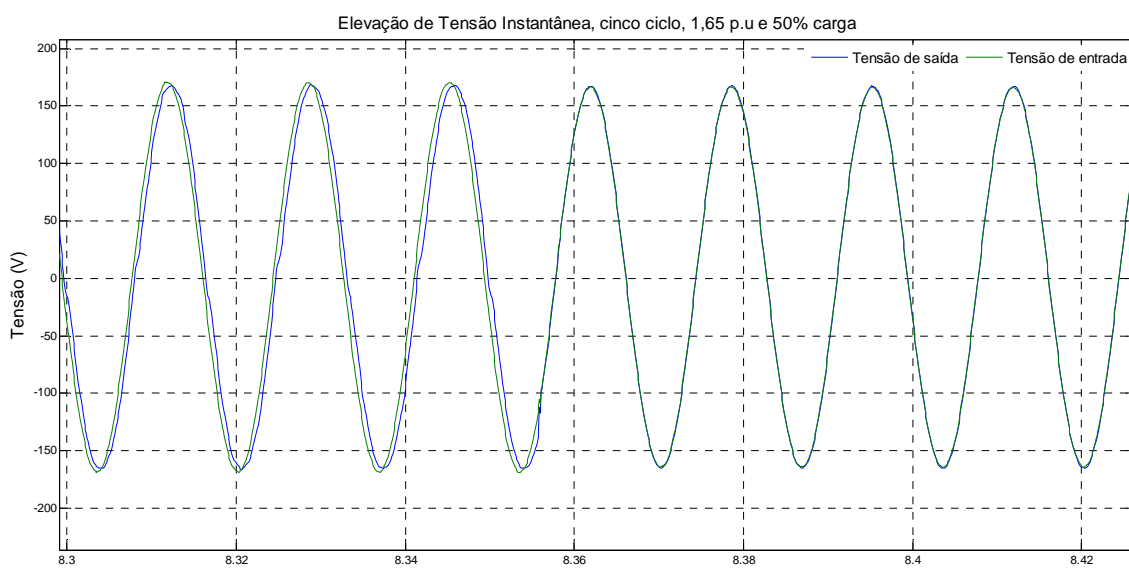


Figura 4. 52 - Aproximação do instante em que ocorre a mudança do modo bateria para o modo normal.

Para facilitar a análise da resposta do UPS, Linha Interativa, frente às elevações de tensão, traçou-se a curva ITIC correspondente às elevações de tensão instantâneas, momentâneas e temporárias, para as diferentes potências de cargas, como mostram as figuras 4.53, 4.54 e 4.55, respectivamente. Ao analisar todas as figuras relacionadas a esse fenômeno pode-se concluir que:

- i) A forma de onda da tensão de saída acompanha a tensão de entrada integralmente quando os eventos (tabela 3.11) são menores ou iguais a 26 ms. Após esse período, sucede a transferência do modo normal para o modo bateria;
- ii) O UPS Linha Interativa analisado não é capaz de mitigar as elevações de tensão instantâneas, momentâneas e temporárias. Visto que as curvas ITICs (fig. 4.53 até 4.55) mostram pontos dentro da região sujeita a danos aos equipamentos por elevação de tensão, mesmo para valores de 20%, 50% e 100% da carga nominal; e
- iii) O UPS Linha Interativa analisado não é resiliente frente às elevações de tensão de curta duração, pois apresenta pontos incompatíveis com as curvas ITICs para as potências de carga de 20%, 50% e 100%.

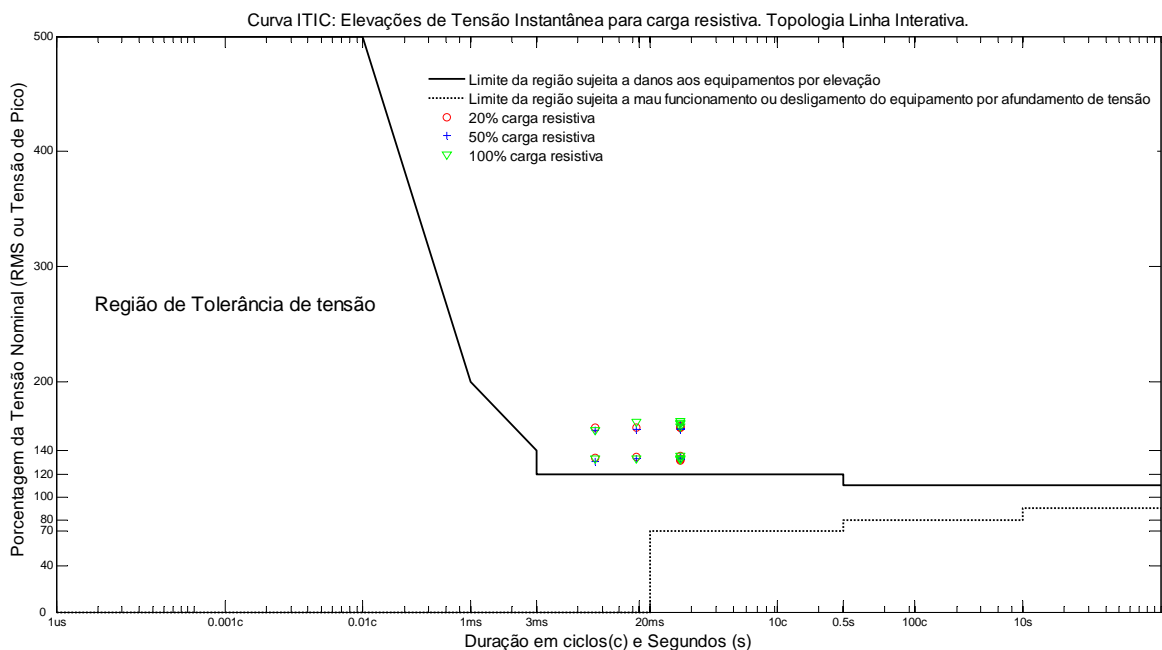


Figura 4. 53 – Topologia Linha Interativa: Curva ITIC para elevação de tensão instantânea.

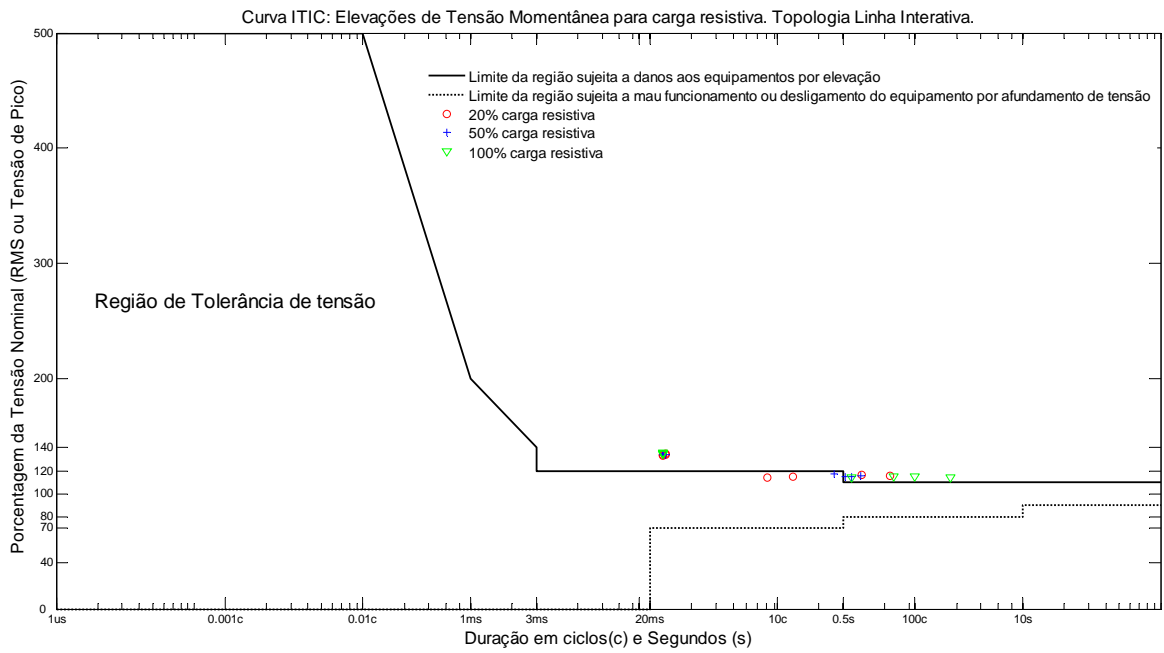


Figura 4. 54 - Topologia Linha Interativa: Curva ITIC para elevação de tensão momentânea.

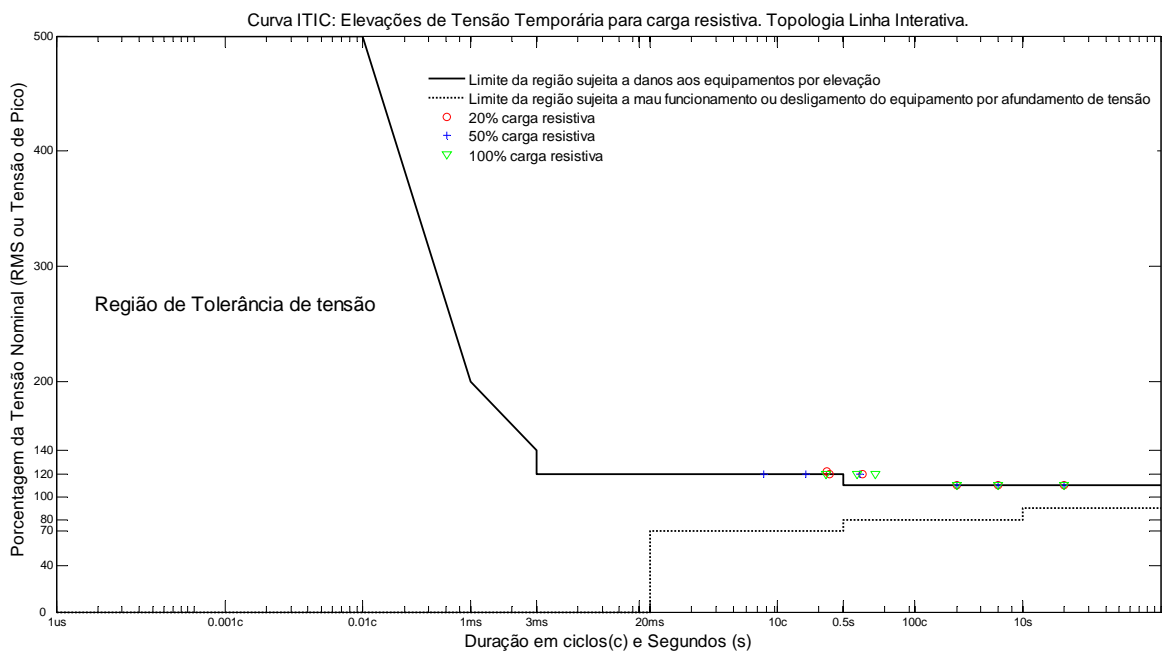


Figura 4. 55 - Topologia Linha Interativa: Curva ITIC para elevação de tensão temporária.

4.2.3 - Variação de Tensão de Longa Duração

O conjunto de ensaios referentes às variações de tensão de longa duração não foram inseridos nesse trabalho, pois os resultados são semelhantes aos conjuntos de ensaios relativos as variações de tensão de curta duração classificadas como temporárias.

4.2.4 - Distorção da Forma de Onda

Nesse item são apresentadas as respostas do UPS Linha Interativa frente aos fenômenos classificados como distorção da forma de onda.

4.2.4.1 - Desvio do Nível CC

A figura 4.56 apresenta as formas de onda da tensão na entrada e na saída do UPS, Linha Interativa, quando se aplica um **desvio do nível CC** (2ª forma de onda, tabela 3.17) na entrada do equipamento.

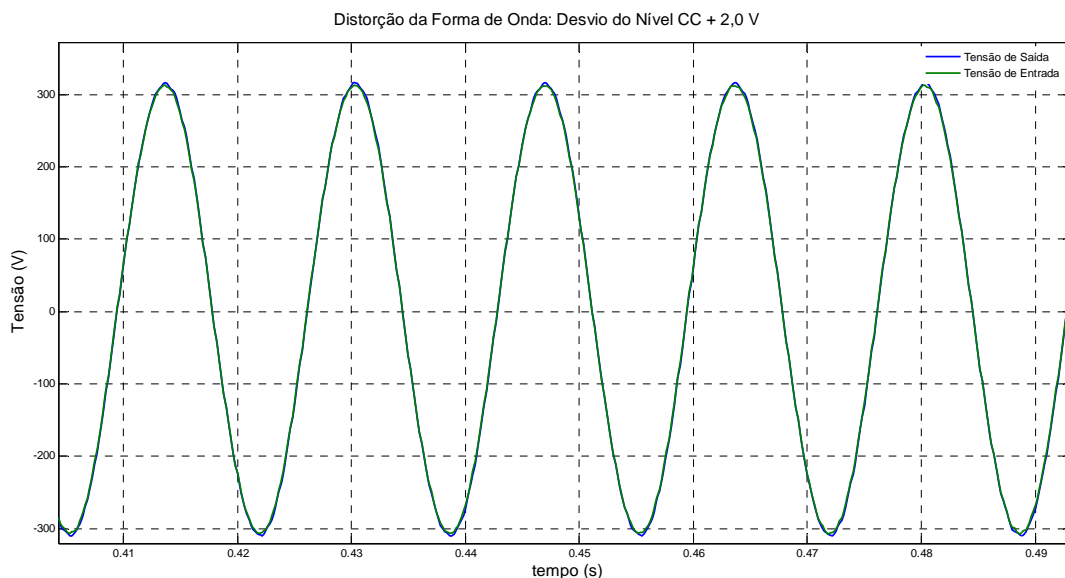


Figura 4. 56 - Desvio do nível CC +2,0 V

Ao examinar todas as figuras e o conjunto de ensaios relacionados a esse fenômeno deduz-se que:

- i) As cargas alimentadas pelo equipamento ensaiado estão sujeitas a este fenômeno em sua totalidade, pois o equipamento não é capaz de mitigar a distorção na forma de onda da tensão provocada pela inserção de desvio do nível CC;
- ii) A aplicação desse fenômeno na entrada do equipamento causou um ruído sonoro e vibração intensa no equipamento;
- iii) Em nenhum momento ocorre a transferência do modo normal para o modo bateria quando se aplica esse fenômeno; e
- iv) O UPS Linha Interativa analisado não é resiliente ao fenômeno de QEE classificado como desvio do nível CC.

4.2.4.2 - Distorção Harmônica

A figura 4.57 apresenta as formas de onda da tensão na entrada e saída do UPS, Linha Interativa, quando se aplica uma **distorção harmônica** (3^a forma de onda, tabela 3.18) na entrada do equipamento. Ao examinar todas as figuras e o conjunto de ensaios relacionados a esse fenômeno deduz-se que:

- i) As cargas alimentadas pelo equipamento ensaiado estão sujeitas a este fenômeno em sua totalidade, pois o equipamento não é capaz de mitigar a distorção na forma de onda da tensão provocada pela inserção de harmônicos;
- ii) Em nenhum momento ocorre a transferência do modo normal para o modo bateria quando se aplica esse fenômeno; e
- iii) A topologia Linha Interativa não é resiliente ao fenômeno de QEE classificado como distorção harmônica.

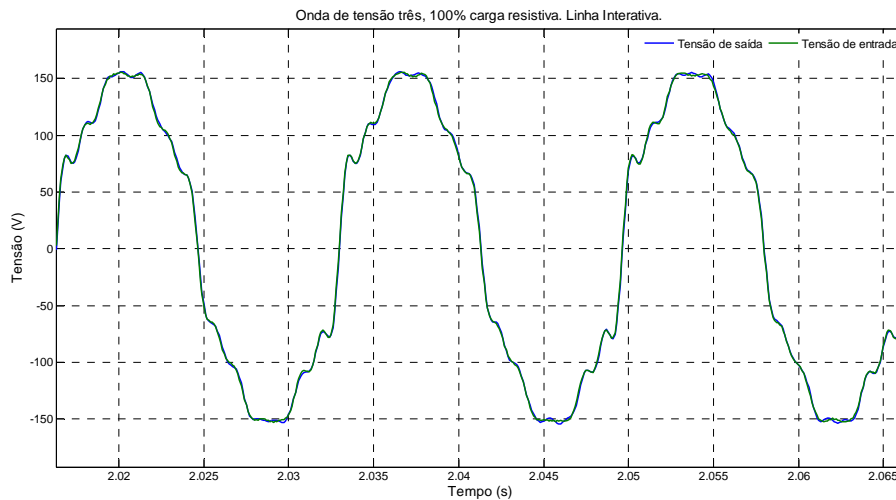


Figura 4. 57 - Distorção harmônica da tensão.

4.2.4.3 – Cortes de Tensão

A figura 4.58 apresenta as formas de onda da tensão na entrada e na saída do UPS, Linha Interativa, quando se aplica **cortes de tensão** (conforme classificação da tabela 2.3) na entrada do equipamento. Percebe-se que as formas de onda da tensão de entrada e saída são iguais, com isso pode-se concluir que:

- i) As cargas alimentadas pelo equipamento ensaiado sofrem este fenômeno em sua totalidade, já que o equipamento não é capaz de mitigar a distorção na forma de onda da tensão provocada pelos cortes de tensão;
- ii) Quando se aplica esse fenômeno, em nenhum momento ocorre transferência do modo normal para o modo bateria; e
- iii) A topologia Linha Interativa não é resiliente ao fenômeno de QEE classificado como corte de tensão.

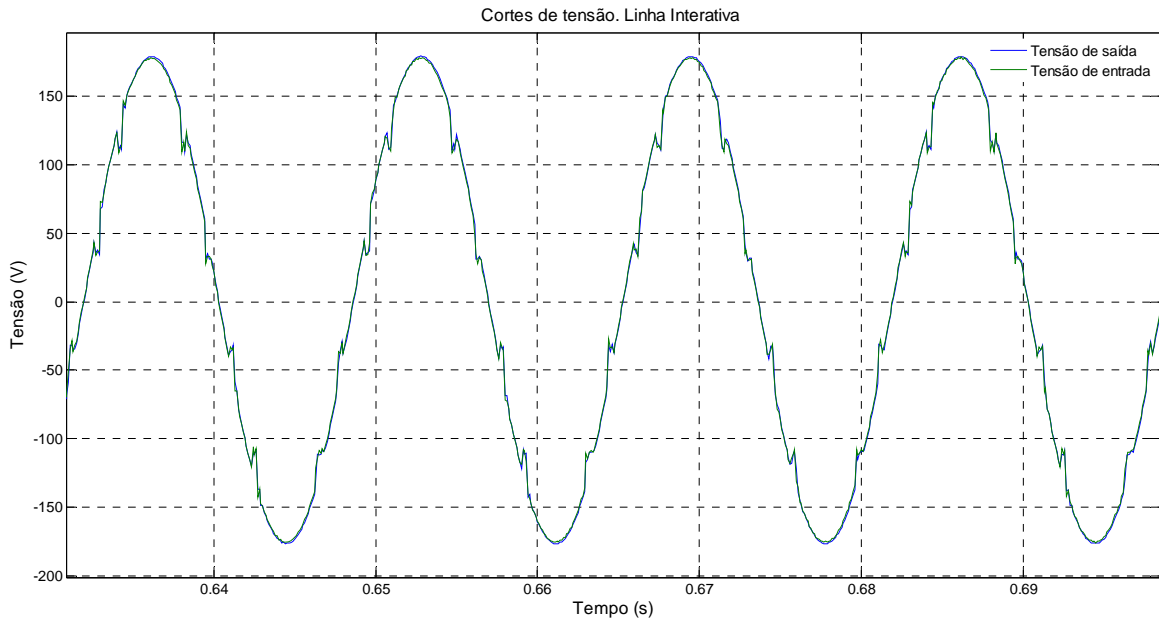


Figura 4. 58 - Forma de onda da tensão com a presença de cortes de tensão. Linha Interativa.

4.2.4.4 - Ruído Elétrico

A figura 4.59 apresenta as formas de onda da tensão na entrada e saída do UPS, Linha Interativa, quando se aplica um **ruído elétrico** de 10% (conforme classificação da tabela 2.3) na entrada do equipamento. Percebe-se que as formas de onda da tensão de entrada e saída são iguais, com isso infere-se que:

- i) As cargas alimentadas pelo equipamento ensaiado estão susceptíveis a esse fenômeno em sua totalidade, uma vez que o equipamento não é capaz de mitigar a distorção na forma de onda da tensão provocada por ruídos elétricos;
- ii) Em nenhum momento ocorre transferência do modo normal para o modo bateria quando se aplica esse fenômeno;
- iii) Quando se aplica na entrada do equipamento uma tensão com a presença do ruído elétrico supracitado, percebe-se um ruído sonoro incomum; e
- iv) A topologia Linha Interativa não é resiliente ao fenômeno de QEE classificado como ruído elétrico.

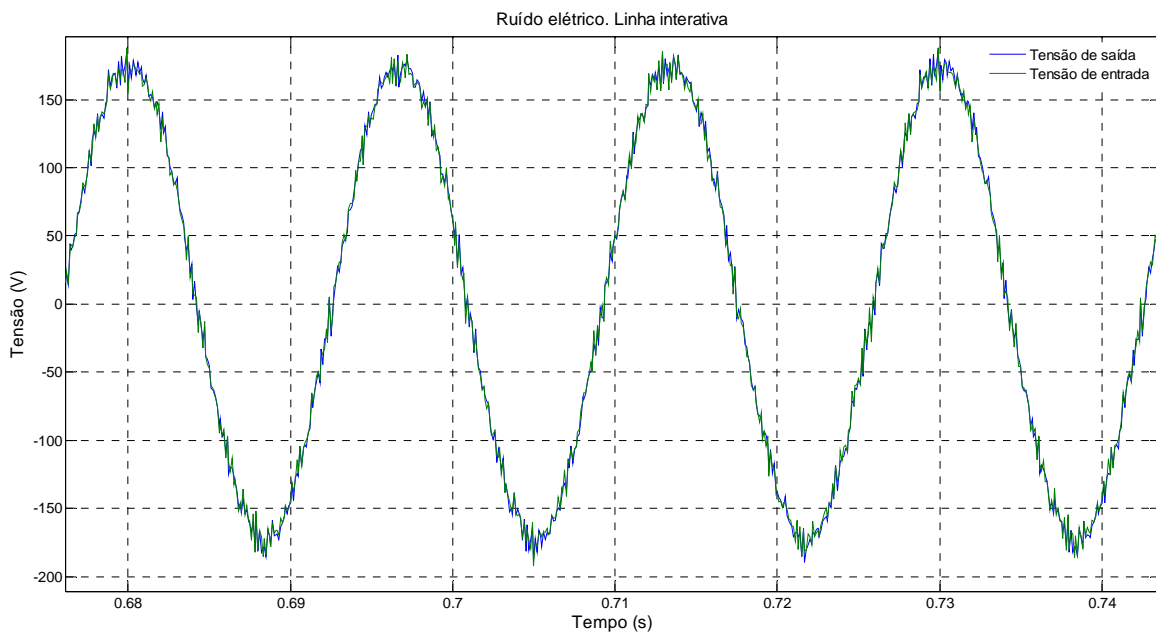


Figura 4. 59 - Ruído Elétrico, Linha Interativa.

4.2.5 - Flutuações de Tensão

A figura 4.60 apresenta as formas de onda da tensão na entrada e na saída do UPS, Linha Interativa, quando se aplica uma **flutuação de tensão** entre 0,95 e 1,05 pu (conforme classificação da tabela 2.3) na entrada do equipamento. Ao examinar a figura relacionada a esse fenômeno infere-se que:

- i) As cargas alimentadas pelo equipamento ensaiado sofrem esse fenômeno em sua totalidade, pois o equipamento não é capaz de mitigar as flutuações de tensão aplicadas em sua entrada;
- ii) Em nenhum momento ocorre transferência do modo normal para o modo bateria quando se aplica esse fenômeno; e
- iii) A topologia Linha Interativa não é resiliente ao fenômeno de QEE classificado como flutuação de tensão.

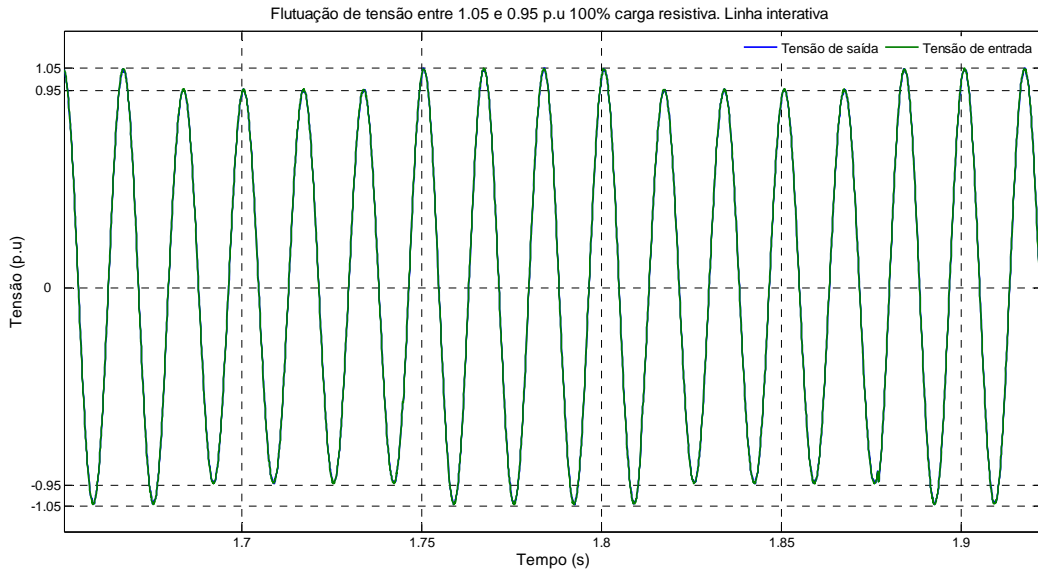


Figura 4. 60 - Flutuação de tensão, Linha Interativa.

4.2.6 - Variação de Frequência

A figura 4.61 apresenta as formas de onda da tensão e da corrente na entrada e saída do UPS, Linha Interativa, capturadas durante 10 segundos. Nesse intervalo, na entrada do equipamento foi aplicada uma **variação de frequência** de 180 Hz durante um segundo (tabela 3.20). Observa-se ainda, nessa figura, quatro instantes que devem ser analisados separadamente e, por isso, estão devidamente destacados. Da figura 4.62 até 4.65 tem-se a aproximação dos instantes selecionados.

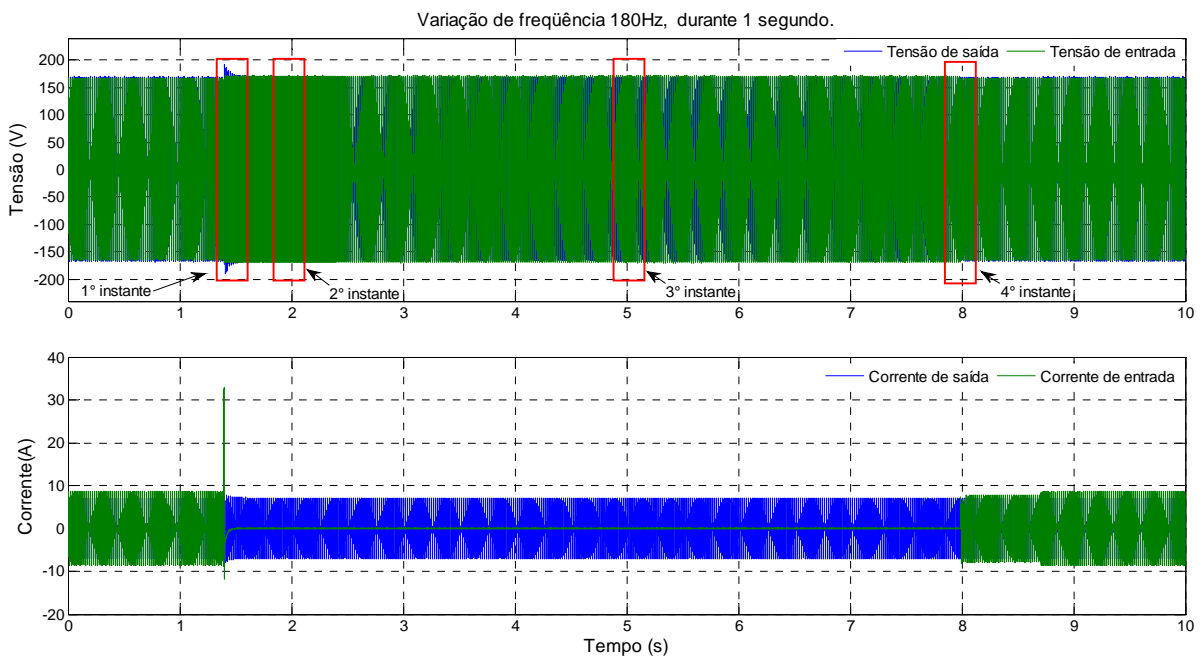


Figura 4. 61 – Variação de frequência de 180Hz, durante um segundo

No primeiro instante (fig. 4.62), ocorre a transferência do modo normal para o modo bateria devido à variação de frequência. No segundo instante (fig. 4.63), o UPS está no modo bateria e a variação de frequência continua sendo aplicada na entrada do equipamento. No terceiro instante (fig. 4.64), o UPS está no modo bateria e a variação de frequência foi cessada há mais de dois segundos. No quarto instante (fig. 4.65), ocorre a transferência do modo bateria para o modo normal.

Nota-se, na figura 4.62, que a tensão na saída do UPS acompanha a variação de frequência durante 10 ms e que após esse instante ocorre a transferência do modo normal para o modo bateria. Desta forma, a carga será suprida por uma frequência de 60 Hz gerada por meio do inversor.

A utilização de uma variação de frequência inexistente nos Sistemas de Potência de grande porte, como o SIN, foi necessária tanto para facilitar a visualização do evento quanto para verificar o comportamento do equipamento ensaiado. Além disso, constata-se a dependência da frequência de saída em relação à frequência de entrada, conforme o texto exposto no item 2.4.2 (Topologia Linha Interativa).

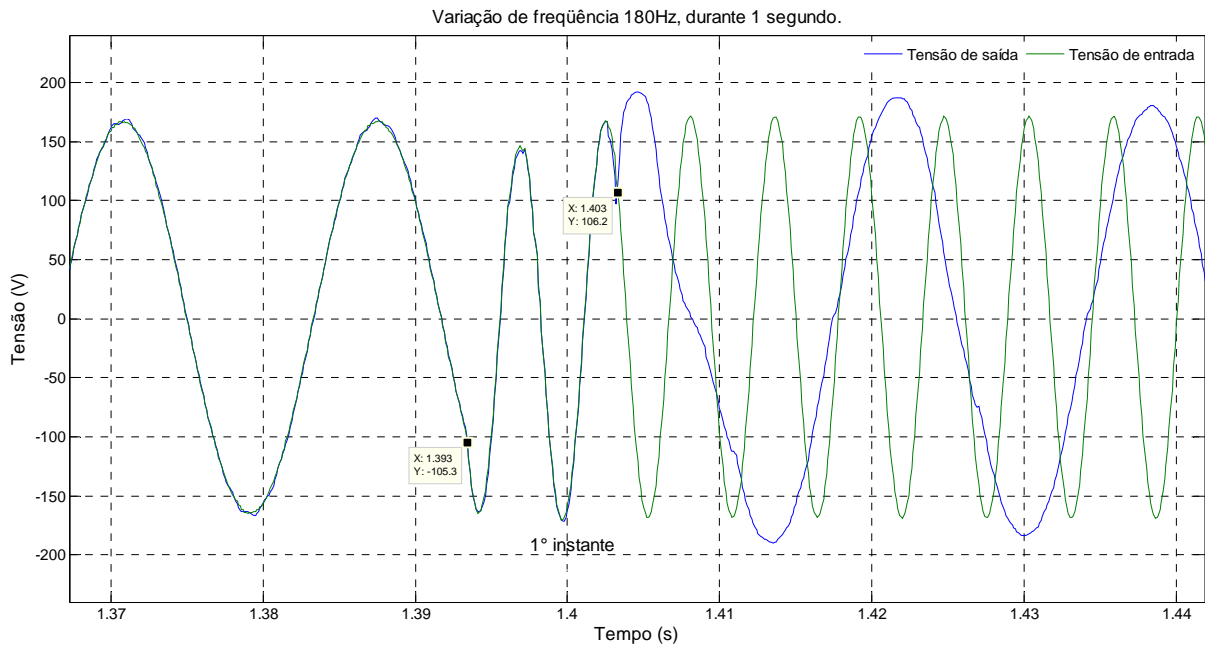


Figura 4. 62 - Aproximação do primeiro instante. Transferência do modo normal para o modo bateria.

Para viabilizar a análise do comportamento do equipamento ensaiado, criou-se a tabela 4.2 com o propósito de expor as variações de frequência (tabela 3.20) que, aplicadas na entrada do equipamento, provocariam a transferência do modo normal para o modo bateria.

Tabela 4. 2 – Variações de frequência que provocam transferência do modo normal p/ modo bateria.

	Período da variação de frequência (segundos)	Valor da frequência variada (Hz)	Transferência do modo normal p/ o modo bateria
1° forma de onda	1	65	sim
2° forma de onda	1	64	sim
3° forma de onda	1	63	sim
4° forma de onda	1	62	não
5° forma de onda	1	61	não
6° forma de onda	1	59	não
7° forma de onda	1	58	não
8° forma de onda	1	57	sim
9° forma de onda	1	56	sim
10° forma de onda	1	55	sim
11° forma de onda	1	180	sim

Ao examinar a tabela, depreende-se que os limites para que ocorra a transferência do modo normal para o modo bateria, decorrentes das variações de frequência, encontram-se entre 57 e 58 Hz para sub-freqüências e entre 62 e 63 Hz para sobre-freqüências.

Para análise da figura 4.63, utilizou-se uma ferramenta do programa *Matlab* que permite ao usuário visualizar sinais discretos em função do tempo. Assim, é possível calcular com maior precisão a frequência no instante analisado. Com isso, tomando os valores do tempo entre dois picos ou mais da forma de onda da tensão, na entrada e saída do UPS, é possível comparar a frequência da forma de onda da tensão gerada pela fonte, com a frequência da forma de onda da tensão gerada no modo bateria, por meio do inversor. As equações abaixo mostram os valores das frequências calculadas.

$$(f_{fonte} = \frac{f(1^\circ ciclo) + f(2^\circ ciclo)}{2} = \frac{181,8 + 178,57}{2} = 180,19 \text{ Hz})$$

$$(f_{inversor} = \frac{1}{2,0051 - 1,9885} = 60,2 \text{ Hz})$$

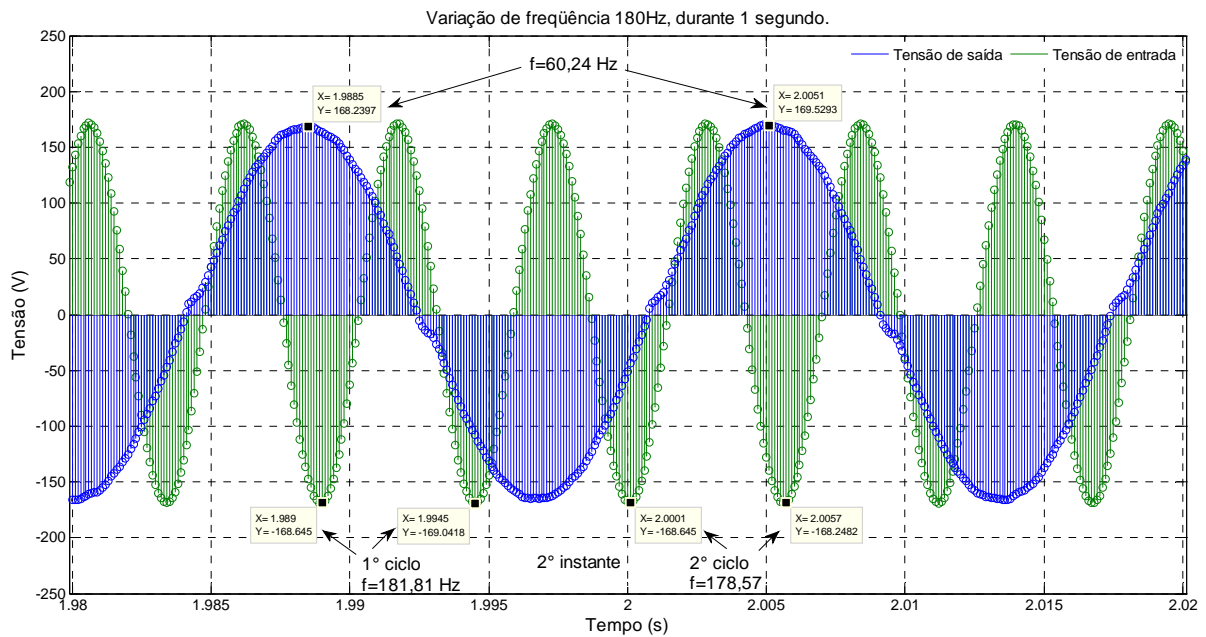


Figura 4. 63 – Aproximação do segundo instante.

Cabe ressaltar que os medidores digitais utilizam algoritmos de contagem de zeros para medir a frequência da tensão ou corrente, cuja frequência medida é a razão entre o número de ciclos inteiros contados (a cada três zeros um ciclo) pela duração total desses ciclos. Desse modo a quantidade de ciclos inteiros contados influencia na precisão da medida. Por exemplo, se tomarmos a diferença entre o menor instante do 1º ciclo e o maior instante do 2º ciclo, da tensão de saída, teremos uma frequência de 179, 64 Hz.

Ao analisar o terceiro instante (fig. 4.64), nota-se que as frequências de entrada e saída do UPS estão próximas a 60 Hz. Além disso, o UPS continua no modo bateria, o que explica a defasagem entre a tensão de entrada e saída. Já no quarto instante (fig. 4.65) ocorre a transferência do modo bateria para o modo normal, assim como o sincronismo entre as tensões de entrada e de saída do equipamento.

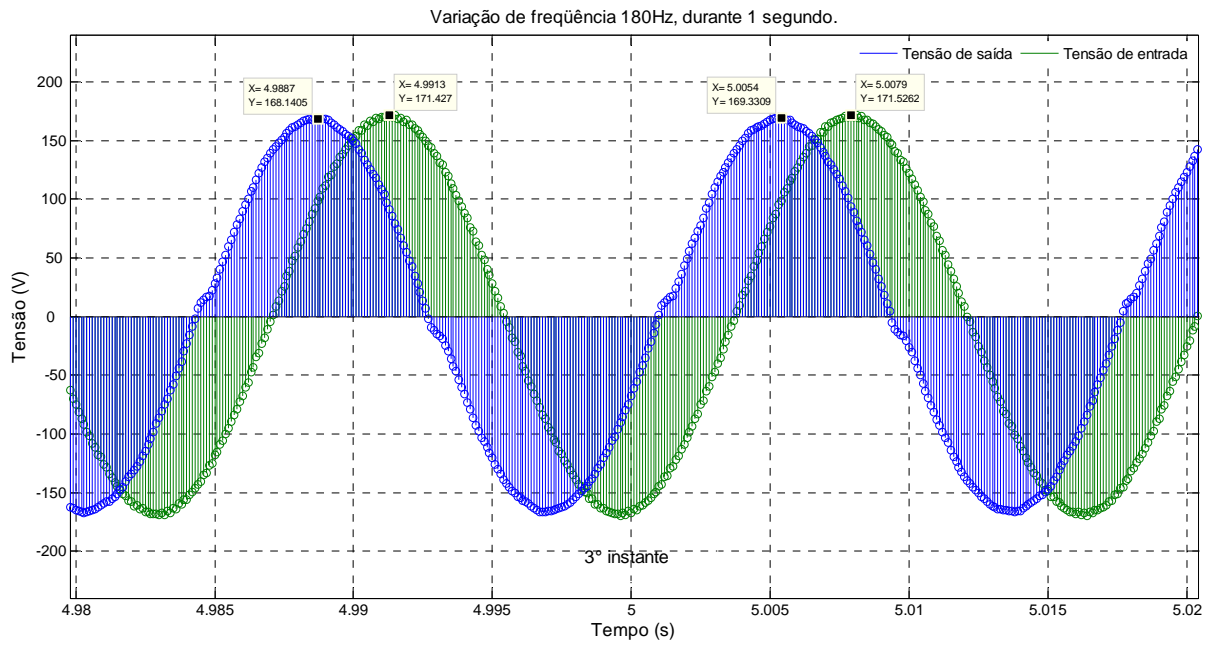


Figura 4. 64 - Aproximação do terceiro instante.

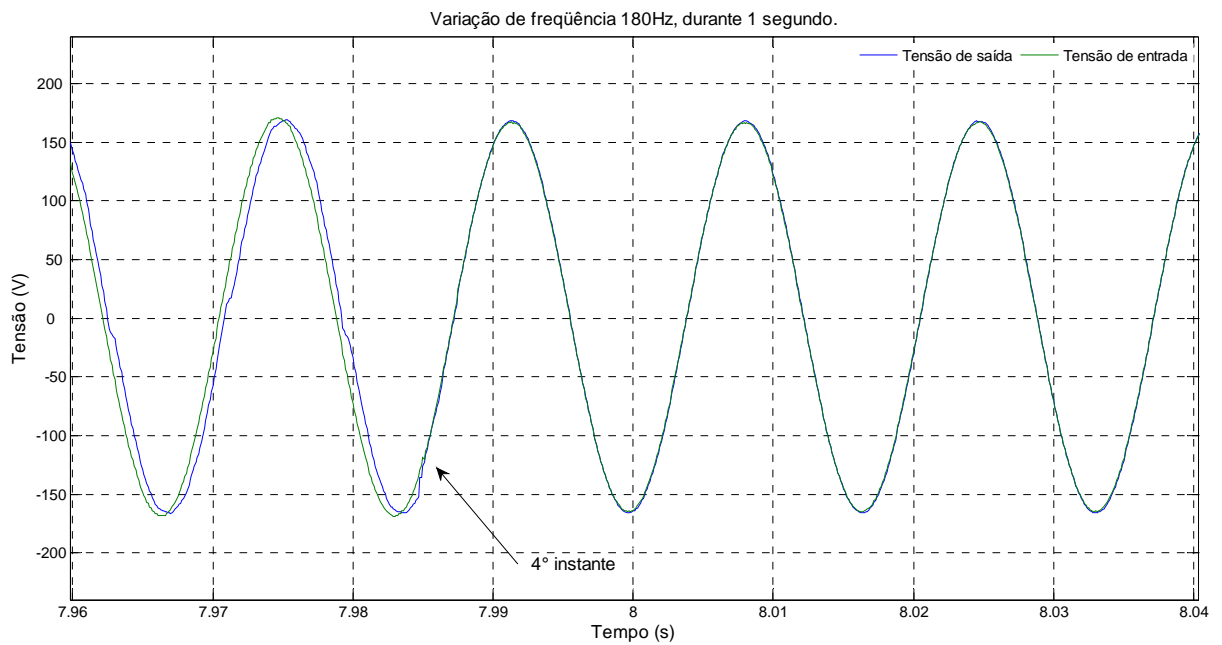


Figura 4. 65 - Aproximação do quarto instante. Transferência do modo bateria para o modo normal.

Com base nas figuras relacionadas e o conjunto do ensaio, a cerca deste fenômeno, pode-se inferir que:

- i) As cargas alimentadas pelo equipamento ensaiado sofrem esse fenômeno em sua totalidade, por aproximadamente 10 ms, independente do valor da frequência aplicada na entrada do equipamento;
- ii) As tensões, com frequências dentro dos limites estabelecidos pelo fabricante, não provocam a transferência do modo normal para o modo bateria. Como consequência as cargas que possuem relógios sincronizados com a frequência da tensão da rede CA ficam sujeitas a consideráveis erros de tempo; e
- iii) A frequência de saída do UPS, Linha Interativa, analisado é dependente da frequência aplicada na entrada do equipamento, consequentemente o mesmo não é resiliente ao fenômeno de QEE, classificado como variações de frequência.

4.3 - TESTE UPS DUPLA CONVERSÃO

Nesse item são apresentados os resultados e análise referente aos ensaios realizados na topologia Dupla Conversão. Ressalta-se que, o conjunto de ensaio proposto não foi completamente realizado no equipamento disponibilizado, pois o mesmo apresentou comportamento inadequado em alguns ensaios. Também é importante salientar que o intuito era realizar ensaios em outro equipamento mais moderno, entretanto, não foi possível pela sua indisponibilidade.

4.3.1 - Transitórios

A seguir são expostas as análises referentes aos resultados obtidos nos ensaios ao aplicar transitórios Impulsivos e Oscilatórios, na entrada do UPS Dupla Conversão.

4.3.1.1 - Transitório Impulsivo

A figura 4.66 apresenta as formas de onda da tensão e corrente na entrada e saída do UPS, Dupla Conversão, quando se aplica um **transitório impulsivo** (tabela 3.4) na entrada do equipamento. Ao analisar todas as figuras relacionadas a esse fenômeno pode-se concluir que:

- i) Variando a potência da carga (0%, 20%, 50% e 100%), as formas de onda da tensão são semelhantes;
- ii) No instante do evento ocorre um transitório de corrente na entrada do equipamento que ultrapassa 50 A; e
- iii) O UPS Dupla Conversão analisado é resiliente frente aos fenômenos impulsivos. Com isso, as cargas alimentadas pelo equipamento não sentem o evento.

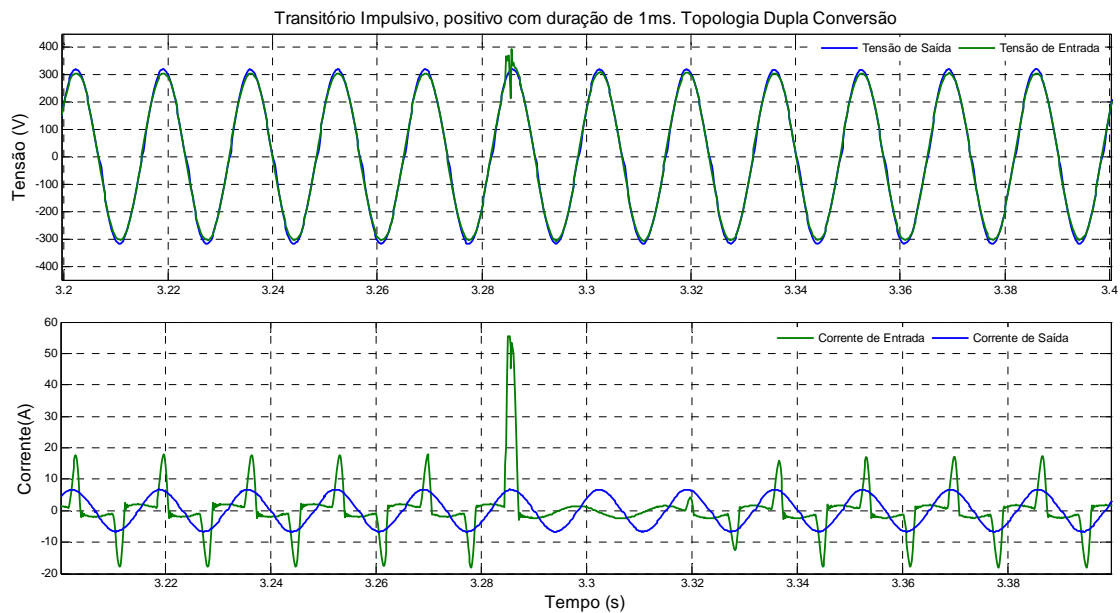


Figura 4. 66 – Resposta do UPS Dupla Conversão frente a um Transitório Impulsivo.

4.3.1.2 - Transitório Oscilatório

A figura 4.67 apresenta as formas de onda da tensão e corrente na entrada e saída do UPS Dupla Conversão quando se aplica um **transitório oscilatório** (duração de 50 ms) na entrada do equipamento. Após analisar a figura 4.67 é possível concluir que:

- i) A tensão na saída do UPS permanece estável e senoidal;
- ii) Variando a potência da carga (0%, 20%, 50% e 100%), a forma de onda da tensão na saída do UPS é a mesma;
- iii) Os picos de corrente no momento do evento ultrapassam 50 A.
- iv) O UPS Dupla Conversão ensaiado é resiliente frente aos fenômenos impulsivos oscilatórios, com isso as cargas por ele alimentadas não sofrem o evento;

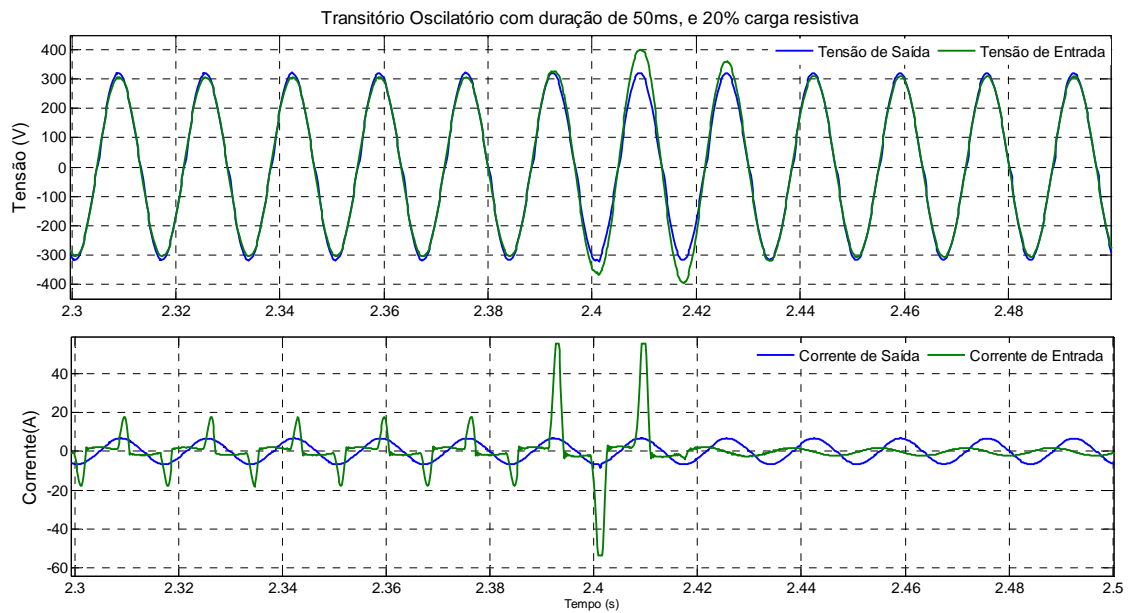


Figura 4. 67 - Resposta do UPS Dupla Conversão frente a um Transitório Oscilatório.

4.3.2 - Variações de Tensão de Curta Duração

Nesse item são apresentados os resultados e análise referentes aos fenômenos classificados variações de tensão de curta duração. Cabe ressaltar que somente o ensaio de interrupção de tensão foi realizado, já que o UPS ensaiado apresentou funcionamento indevido.

4.3.2.1 - Interrupções de curta duração

A figura 4.68 apresenta as formas de onda da tensão na entrada e saída do UPS Dupla Conversão quando se aplica uma **interrupção de tensão instantânea** em um ciclo de duração. Após analisar a figura 4.68 é possível concluir que:

- i) A tensão na saída do UPS permanece estável e senoidal;
- ii) O UPS Dupla Conversão ensaiado é resiliente frente aos fenômenos de interrupção de tensão, com isso as cargas por ele alimentadas não sofrem o evento;

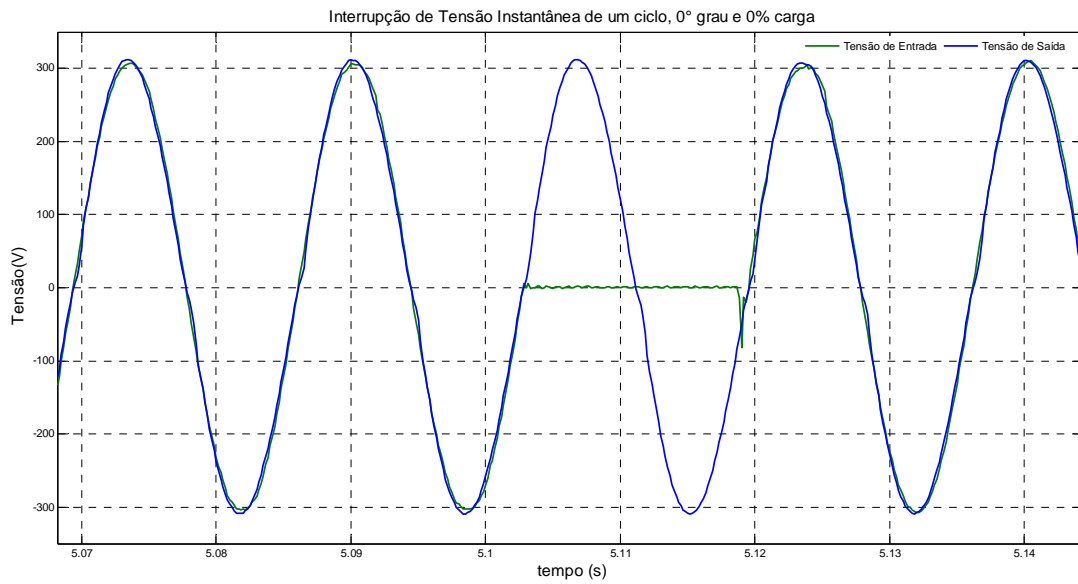


Figura 4. 68 - Resposta do UPS Dupla Conversão frente a uma Interrupção de Tensão.

4.3.5 - Distorções na Forma de Onda

4.3.5.1 - Desvio do Nível CC

A figura 4.69 apresenta as formas de onda da tensão e corrente na entrada e saída do UPS Dupla Conversão quando se aplica um desvio de nível CC (1° forma de onda, tabela 3.17) na entrada do equipamento.

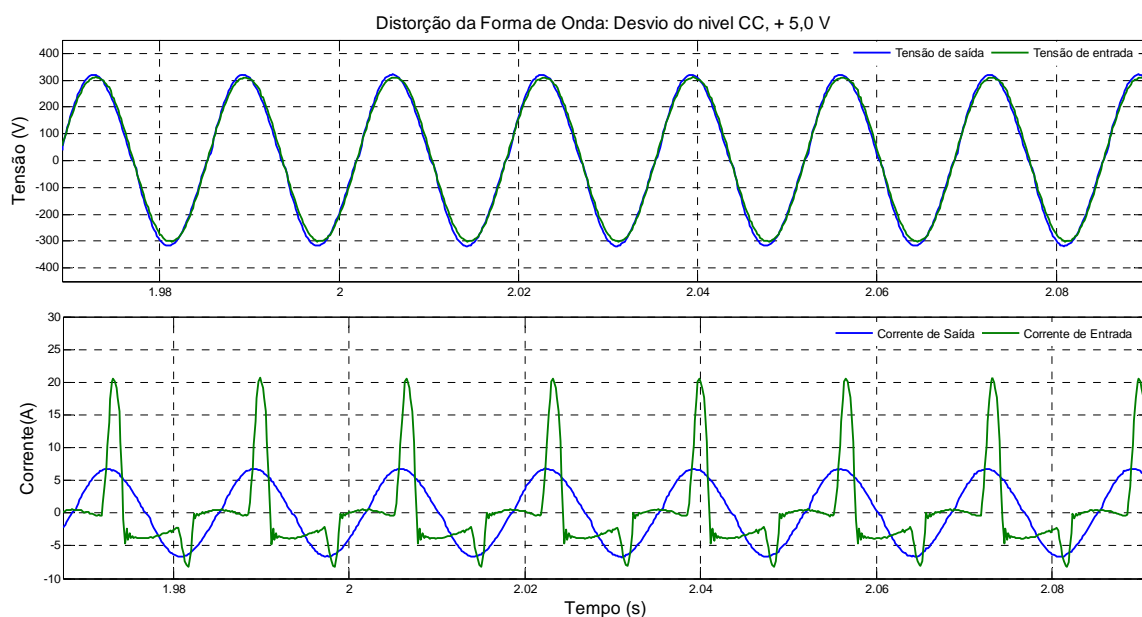


Figura 4. 69 - Resposta do UPS Dupla Conversão frente a um Desvio de Nível CC.

Ao examinar todas as figuras e o conjunto de ensaios relacionados a esse fenômeno deduz-se que:

- i) As cargas alimentadas pelo equipamento ensaiado não sentem esse fenômeno, pois o equipamento é capaz de mitigar a distorção na forma de onda da tensão provocada pela inserção de desvio do nível CC;
- ii) A aplicação desse fenômeno na entrada do equipamento causou um ruído sonoro e vibração intensa no equipamento;
- iii) A distorção harmônica da corrente fica acentuada, como pode ser observado na figura 4.69. Nota-se ainda o surgimento de harmônicas pares, devido à assimetria na forma de onda da corrente;
- iv) Em nenhum momento ocorre a transferência do modo normal para o modo bateria quando se aplica esse fenômeno; e
- v) O UPS Dupla Conversão analisado é resiliente ao fenômeno de QEE classificado como desvio do nível CC.

4.3.5.2 - Distorção Harmônica

A figura 4.70 apresenta as formas de onda da tensão na entrada e na saída do UPS, Dupla Conversão, quando se aplica uma **distorção harmônica** na entrada do equipamento. Ao examinar todas as figuras e o conjunto de ensaios relacionados a esse fenômeno deduz-se que:

- i) As cargas alimentadas pelo equipamento ensaiado não sofrem este fenômeno, pois o equipamento é capaz de mitigar a distorção na forma de onda da tensão provocada pela inserção de harmônicos;

- ii) Nota-se na figura 4.70 uma leve distorção harmônica no pico da tensão de saída. Este fato pode estar relacionado ao mau funcionamento do equipamento ensaiado;
- iii) Em nenhum momento ocorre a transferência do modo normal para o modo bateria quando se aplica esse fenômeno; e
- iv) A topologia Dupla Conversão é resiliente ao fenômeno de QEE classificado como distorção harmônica.

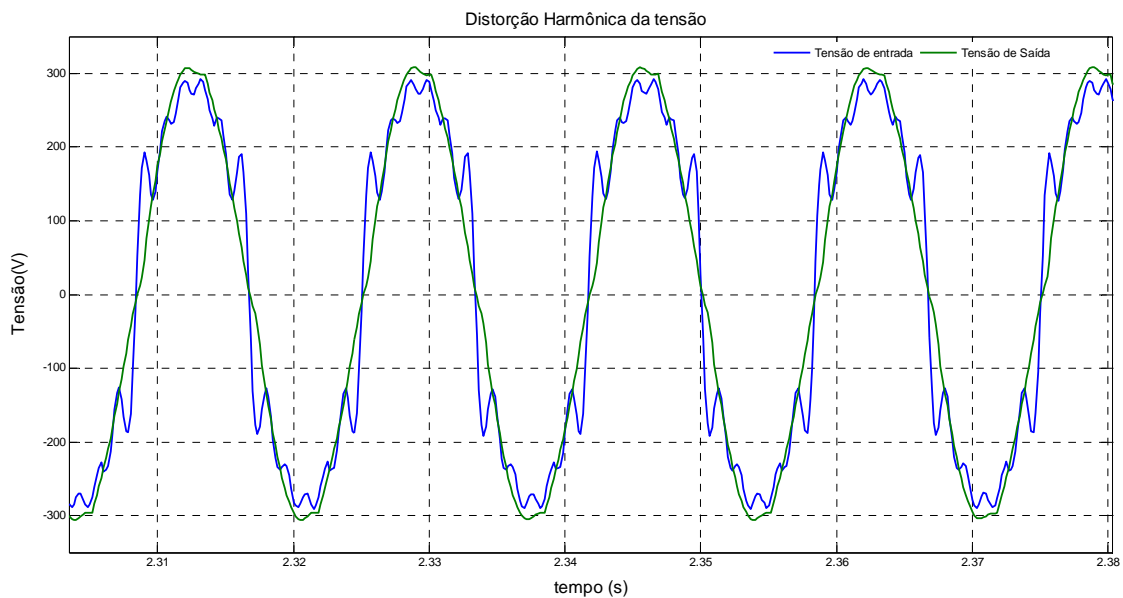


Figura 4. 70 - Resposta do UPS Dupla Conversão frente a uma Distorção Harmônica de Tensão.

4.3.5.3 - Cortes de Tensão (Notches)

A figura 4.71 apresenta as formas de onda da tensão na entrada e saída do UPS, Dupla Conversão, quando se aplica **cortes de tensão** (conforme classificação da tabela 2.3) na entrada do equipamento. Percebe-se que a forma de onda da tensão de saída permanece senoidal, com isso pode-se concluir que:

- i) As cargas alimentadas pelo equipamento ensaiado não sofrem este fenômeno, já que o equipamento é capaz de mitigar a distorção na forma de onda da tensão provocada pelos cortes de tensão;
- ii) Quando se aplica esse fenômeno, em nenhum momento ocorre transferência do modo normal para o modo bateria; e
- iii) A topologia Dupla Conversão é resiliente ao fenômeno de QEE classificado como corte de tensão.

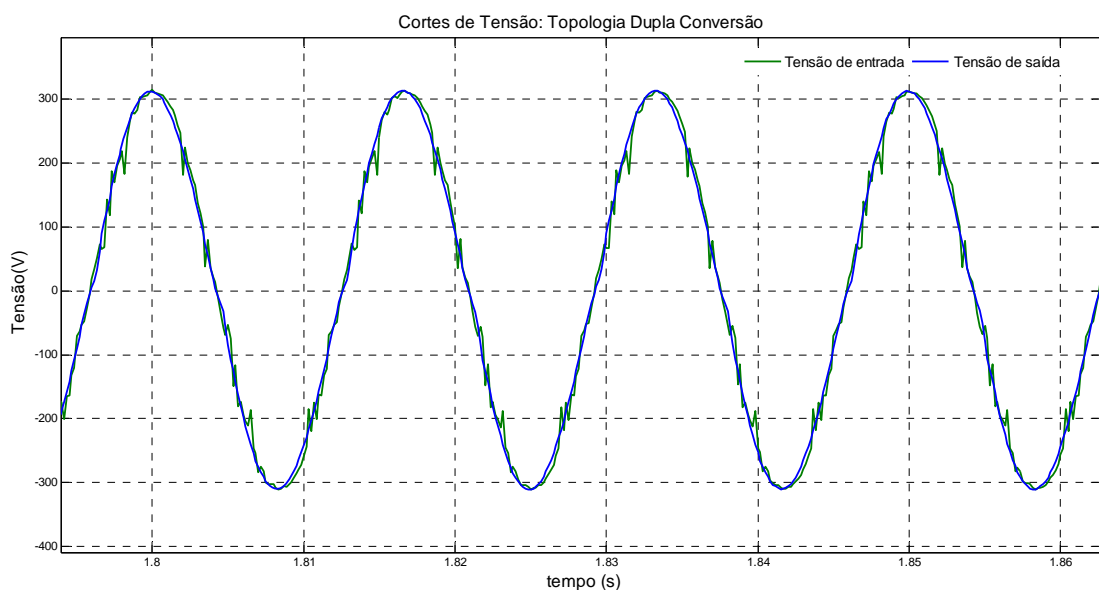


Figura 4. 71 - Resposta do UPS Dupla Conversão frente aos Cortes de Tensão.

4.3.5.4 - Ruído Elétrico

A figura 4.72 apresenta as formas de onda da tensão e corrente na entrada e saída do UPS, Dupla Conversão, quando se aplica um **ruído elétrico** na entrada do equipamento. Percebe-se que a forma de onda da tensão de saída permanece senoidal, com isso infere-se que:

- i) As cargas alimentadas pelo equipamento ensaiado estão imunes a esse fenômeno, um vez que o equipamento é capaz de mitigar a distorção na forma de onda da tensão provocada por ruídos elétricos;
- ii) Em nenhum momento ocorre transferência do modo normal para o modo bateria quando se aplica esse fenômeno;
- iii) Quando se aplica na entrada do equipamento uma tensão com a presença de ruído elétrico percebe-se um ruído sonoro incomum; e
- iv) A topologia Dupla Conversão é resiliente ao fenômeno de QEE classificado como ruído elétrico.

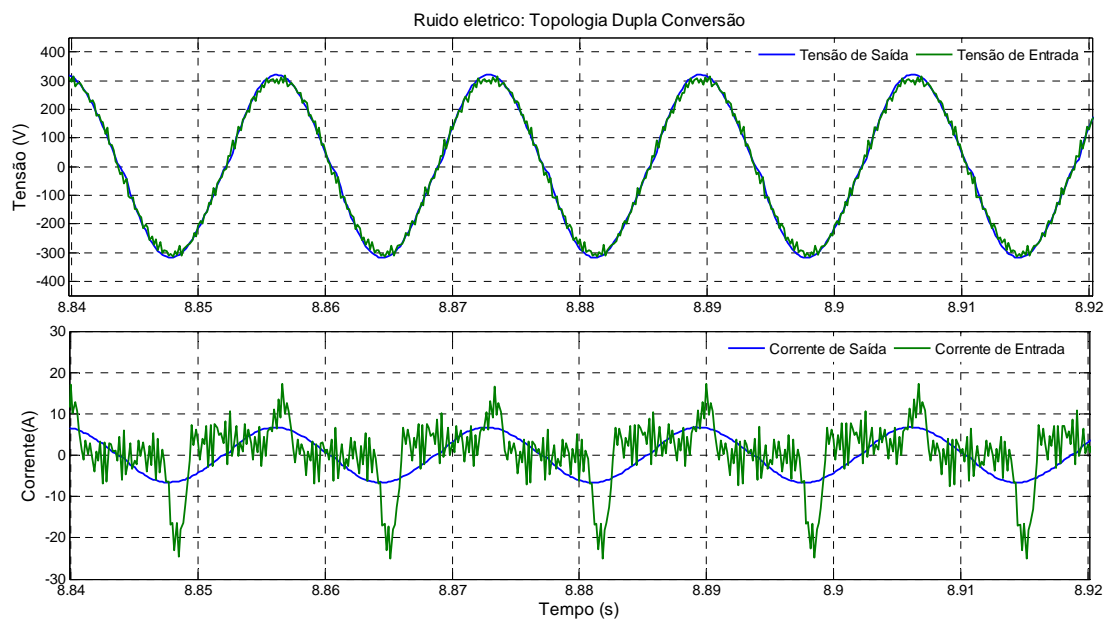


Figura 4. 72 – Topologia Dupla Conversão: Ruído elétrico

4.3.6 - Flutuações de Tensão

A figura 4.73 apresenta as formas de onda da tensão e corrente na entrada e saída do UPS, Dupla Conversão, quando se aplica uma **flutuação de tensão** na entrada do equipamento. Ao examinar a figura relacionada a esse fenômeno infere-se que:

- i) As cargas alimentadas pelo equipamento ensaiado não sofrem esse fenômeno, pois o equipamento é capaz de mitigar as flutuações de tensão aplicadas em sua entrada;
- ii) Em alguns instantes, no período da flutuação de tensão, nota-se picos de corrente que ultrapassam 40 A.
- iii) Em nenhum momento ocorre transferência do modo normal para o modo bateria quando se aplica esse fenômeno; e
- iv) A topologia Dupla Conversão é resiliente ao fenômeno de QEE classificado como flutuação de tensão.

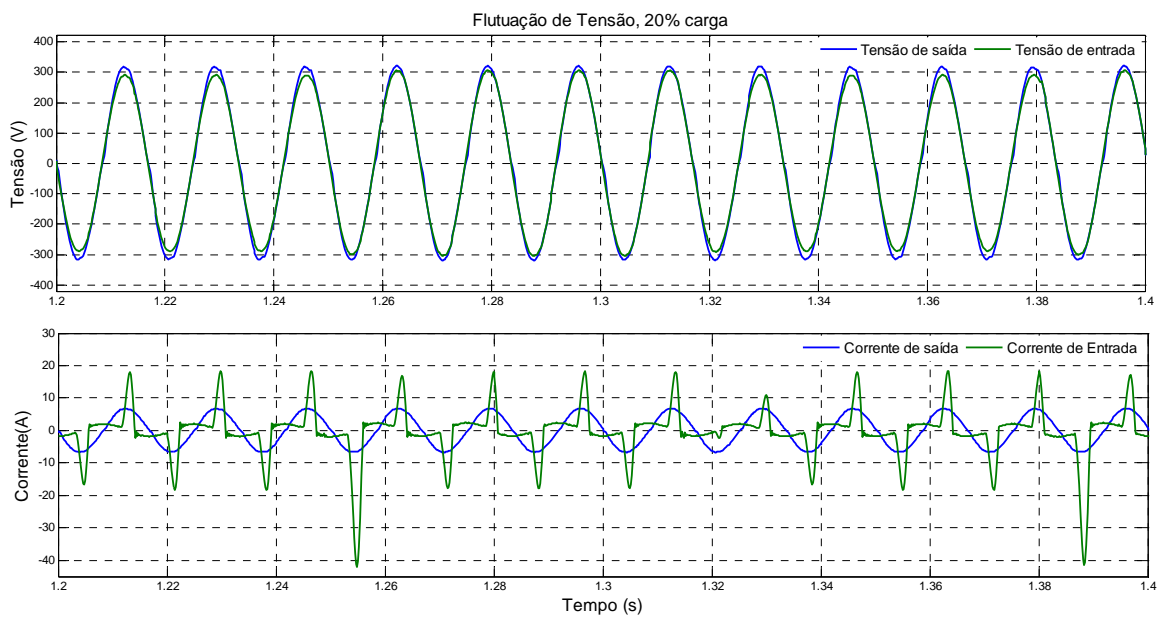


Figura 4. 73 –Topologia Dupla Conversão: Flutuação de tensão

5 - CONCLUSÕES

Os conceitos e reflexões levantados na revisão bibliográfica apontam para um “alvo inicial”, o qual busca entender e classificar o comportamento das topologias de UPS frente aos fenômenos de QEE. Com isso, ao juntar uma fonte capaz de gerar esses fenômenos; um sistema de aquisição de dados capaz de capturar as formas de ondas geradas; e um equipamento eletroeletrônico (UPS) utilizado para mitigar esses fenômenos foram formulados ensaios que permitem avaliar o comportamento destes sob a ótica dos limites estabelecidos (ou sugeridos) em normas de QEE.

Ao iniciar a formulação dos ensaios, descritos no capítulo 3, percebeu-se que a complexidade de reuni-la em um único texto é acentuada, pois são necessários: i) conhecer e classificar cada fenômeno de QEE; ii) avaliar as conseqüências que cada fenômeno de QEE provoca na arquitetura (retificador, bateria) de cada topologia de UPS; iii) conhecer os limites recomendados de cada fenômeno de QEE; e iv) abordar situações diversas com cargas diferentes. Assim, conclui-se que o “alvo inicial” pode ser renomeado para “alvo específico”, o qual busca a determinação de novos limites de fenômenos de QEE, por exemplo, o limite máximo do THD da tensão atual, aplicado na entrada de um UPS, é suficiente para gerar um *ripple* prejudicial a uma bateria?

Os resultados obtidos mostram que, a classificação das topologias de UPS segundo a tabela 2.6 pode ser considerada uma classificação genérica. Pois, com base no método de avaliação utilizado nesse texto, conclui-se que a mesma classificação não pode ser sempre seguida, tendo em vista que alguns resultados mostraram a incompatibilidade com a curva ITIC. Por exemplo, a tabela 2.6 classifica o UPS *Passive Standby* como sendo capaz de mitigar uma interrupção de tensão maior que 10 ms, entretanto os resultados apresentados no item referente às interrupções de tensão de curta duração mostram que, o UPS *Passive Standby* ensaiado, não é capaz de mitigar esse fenômeno quando alimenta 20% da sua carga nominal.

Os resultados mostram que, a porcentagem de carga suprida pelas topologias *Passive Standby* e Linha Interativa influencia a resposta desses equipamentos frente aos fenômenos classificados como VTCD e VTLD. Já a resposta frente aos fenômenos classificados

como: transitório impulsivo, flutuação de tensão e distorção da forma de onda sofre pouca influência da porcentagem da carga nominal suprida por essas topologias.

A partir dos resultados referentes aos ensaios realizados na topologia *Passive Standby*, pode-se chegar a conclusão de que a resposta frente a maioria dos fenômenos de QEE não é satisfatória, visto que essa topologia é projetada para alimentar fontes chaveadas. Por isso, o papel do UPS se resume a entregar uma tensão dentro dos limites das fontes chaveadas e não dos limites estabelecidos pela curva ITIC, em casos de fenômenos como VTCD e VTLD. Com isso, ao escolher essa topologia deve-se atentar para as condições de uso da carga.

Já os resultados referentes aos ensaios feitos na topologia Linha Interativa mostram a semelhança entre as topologias *Passive Standby* e Linha Interativa. No entanto, o UPS de topologia Linha Interativa analisado apresentou erro de projeto. Pois, os resultados observados no item 4.2.2.2 indicam uma falha grave, no sistema de controle, quando se aplica na entrada desse equipamento um afundamento de tensão temporário de 0,6 pu, em que se constatou a entrega de uma tensão inadequada à carga, por aproximadamente 90 ms. Com isso, caso este equipamento estivesse conectado a um computador, este inevitavelmente desligaria, visto que a fonte chaveada não suporta esse tipo de afundamento durante esse intervalo. Assim, os ensaios sugeridos servem tanto para avaliar o desempenho de qualquer topologia de UPS quanto verificar se o equipamento analisado possui falhas de projeto.

Os resultados referentes aos ensaios feitos na topologia Dupla Conversão mostram que esse equipamento, mesmo estando com defeito, apresentam uma resiliência frente aos fenômenos de QEE bem superior as demais topologias.

Trazendo ao escopo desse texto o termo resiliência para avaliar o desempenho de um UPS frente aos fenômenos de QEE, pode-se sugerir o “nascimento” de uma nova aplicação do termo no ramo da Engenharia Elétrica. Ao afirmar que um UPS é resiliente frente a um fenômeno de QEE, infere-se que a tensão entregue à carga está dentro de limites estabelecidos por normas (por exemplo, curva ITIC) conseqüentemente a carga não sente o distúrbio aplicado na entrada do UPS.

Apesar de alguns contratemplos no decorrer deste trabalho, os quais não permitiram finalizar todos os ensaios sugeridos para cada topologia de UPS, foi possível ter uma visão geral do tema. Com isso, ao se aplicar os métodos e os ensaios apresentados o consumidor e o fabricante obterão informações acerca do comportamento do equipamento ensaiado frente aos fenômenos de QEE, possibilitando assim, o uso correto de uma determinada topologia de acordo com a finalidade a que se destina.

O volume de informações obtido, no decorrer deste trabalho, permitiu levantar diversas idéias para a continuidade desse tema em estudos futuros, assim como sugestões relacionadas à área de Qualidade de Energia, tais como:

- i) Avaliar a resiliência de um UPS Dupla Conversão monofásico e trifásico (fabricação recente) frente aos fenômenos de QEE;
- ii) Avaliar a resiliência de um UPS Delta Conversão monofásico e trifásico frente aos fenômenos de QEE;
- iii) Criação de um selo de QEE para classificação de UPS estáticos;
- iv) Criação de índices de resiliência para avaliação de UPS estáticos;
- v) Inserir nos ensaios o monitoramento da tensão e corrente no banco de baterias;
- vi) Definir limites suportáveis de THD aplicados as topologias de UPS estáticos;
- vii) Modelar em programas como *PSpice* o circuito equivalente das topologias de UPS estáticos, simular as condições apresentadas nesse trabalho e comparar os resultados; e
- viii) Utilizar o método apresentado nesse trabalho e o sistema de aquisição de dados para avaliação de equipamentos como estabilizadores e transformadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica, “Qualidade de Energia Elétrica”, Módulo 8 do Prodist -Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, Brasília-DF, 2007. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo8_02072007_SRD.pdf. Acesso em 29 de agosto de 2007.
- Ahmed, A., “Eletrônica de Potência”, Pearson Prentice Hall, São Paulo – SP, 2000.
- Bollen, N. H. J., Gu, I. Y. H., “*Signal Processing of Power Quality Disturbances*”, Wiley-Interscience, USA, 2006.
- Baltazar, A. C. S., “Qualidade de Energia no Contexto da Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro”, Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo –SP, 2007.
- Camargo, C. C., “Transmissão de Energia Elétrica: Aspectos Fundamentais”, Editora da UFSC, Florianópolis, 2006.
- Camargo, R. F., “Contribuição ao Estudo de Filtros Ativos de Potência”, Dissertação de Mestrado – Universidade de Santa Maria – RS, 2002.
- Carvalho, P. L., “Uma Contribuição ao Estudo da Depressão de Tensão”, Dissertação de Mestrado – Escola Federal de Itajúba - MG, 1997.
- Chapman, D., “Voltage Dips: Introduction”, Power Quality Application Guide, chapter 5.1, 2001.
- Driesen, J., Craenenbroeck, T. V., “Voltage Disturbances: Introduction to Unbalance”, Power Quality Application Guide, chapter 5.1.3, 2001.
- Dugan, R. C., McGranaghan, M. F., Santoso, S. e Beaty, H. W., “*Electrical Power Systems Quality*”, McGraw-Hill, USA, 2003.

- Figueira, A., “Sistemas No-Break Estáticos”, Antenna, Rio de Janeiro-RJ, 2005.
- Guerrero, J. M., Vicuña, L. G. e Uceda, J., “Uninterruptible Power Supply Systems Provide Protection”, IEEE Industrial Electronics Magazine, 2007.
- Hafner, A. A., “Estudo e Simulação dos Módulos Lógicos de um Medidor de Qualidade de Energia Elétrica”, Dissertação de Mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2006.
- Hanzelka, Z., Bién, A., “Voltage Disturbances: Flicker”, Power Quality Application Guide, chapter 5.1.4, 2006.
- IEEE 1159 – “Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality”, IEEE Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality, 1995.
- Kagan, N., Oliveira, C. C. B., Robba, E. J., “Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica”, Edgard Blücher, São Paulo –SP, 2005.
- Karve, S., “Three of a kind [UPS Topologies, IEC Standard]”, *Proc. Inst. Elect. Eng. Review*, vol. 46, n°. 2, pp. 27–31, Mar. 2000.
- King, C. A. e Knight, W.; “Uninterruptible Power Supplies and Standby Power Systems”, McGraw-Hill, USA, 2003.
- Luna, E. K., “Uma Contribuição ao Estudo de VTCDs Aplicado a Equipamentos Eletrônicos Alimentados por Conversores CA-CC”, Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2005.
- Manson, J., Targosz, R.; “Why EU industry annually loses € 150bn Pan-European Power Quality Survey”. Leonardo ENERGY, Paris. Disponível em:
<<http://www.leonardo-energy.org/drupal/files/2007/20070725-pqsurvey.pdf?download>>
Acesso em 20 de outubro de 2007.

- Marafão, F. P., “Análise e Controle da Energia Elétrica através de Técnicas de Processamento Digital de Sinais”, Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2004.
- Oliveira, M. A. G., “Apostila da Disciplina Qualidade de Energia Elétrica”, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2005.
- Pomilio, J. A., “Apostila da Disciplina Eletrônica de Potência”, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2007. Disponível em:
<<http://www.dsce.fee.unicamp.br/%7Eantenor/pdf/files/eltpot/cap6.pdf>>
Acesso em 11 de dezembro de 2007.
- Rashid, M. H., “Eletrônica de Potência: Circuitos, dispositivos e aplicações”, Makron Books do Brasil, São Paulo – SP, 1999.
- Roybal, D. D., “Transfer Switches Applied in Systems with Power Circuit Breakers”, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 37, n° 3, pp. 3268-3272, Oct. 2000.
- Sölter, W., “A New International UPS Classification”, Telecommunications Energy Conference, 2002. INTELEC
- Xavier, P. A. C., “Avaliação das Características Elétricas de Reatores Eletrônicos Utilizados em Lâmpadas Fluorescentes Tubulares”, Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2005.