



**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA A AVALIAÇÃO
DO DESEMPENHO FUNCIONAL DE INSTRUMENTOS
DE MEDIÇÃO DA QUALIDADE DA ENERGIA
ELÉTRICA**

CARLOS ANIBAL RODRIGUEZ SAÑUDO

BRASÍLIA, NOVEMBRO DE 2012

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

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA A AVALIAÇÃO
DO DESEMPENHO FUNCIONAL DE INSTRUMENTOS
DE MEDIÇÃO DA QUALIDADE DA ENERGIA
ELÉTRICA

CARLOS ANIBAL RODRIGUEZ SAÑUDO

ORIENTADOR: ANÉSIO DE LELES FERREIRA FILHO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA

PUBLICAÇÃO: 5052012

BRASÍLIA/DF: NOVEMBRO - 2012.

Agradecimentos

Eu agradeço...

..., pelo início do sucesso, a meus pais, a meu irmão Santiago e a toda minha família pelo a apoio incondicional a tão grande distância;

... aos meus amigos de infância, de rua, de ensino médio e de universidade por seus conselhos e historias das suas experiências;

... ao Jorge e à Claudia que acreditaram, auxiliaram, colaboraram para meu bem pessoal, tornado-se em amigos mentores;

... aos meus colegas de laboratório que ilustraram, ajudaram, explicaram os caminhos do estudante, criando laços de amizade perpétuos na imensidade;

... aos meus professores, especialmente ao professor Alberto Diniz, que esclareceram e iluminaram meus estudos pelos caminhos apropriados;

... a meu orientador o professor Anésio Leles que acreditou em minhas habilidades, encaminhando-as pelas trilhas do sucesso;

..., embora nesta última e pequena linha, a este grande país e a sua gente por compartilhar suas alegrias e riquezas. Obrigado BRASIL.

*A mis padres
a mi hermano
a mi gente*

Pedaço 10 2.

*Ninguém poderá elevar
seu coração acima de outro,
nem fazer mal a sua pessoa,
ainda que pense ou diga diferente.*

Pedazo 10 2.

*Nadie podrá llevar
por encima de su corazón a nadie,
ni hacerle mal en su persona,
aunque piense o diga diferente.*

Jaime Garzón

*Eu vou pro mundo,
porque do mundo sou.
Eu sou do povo,
e pro povo vou.*

*Voy para el mudo,
porque del mundo soy.
Soy del pueblo,
y para el pueblo voy.*

Kiny Maria Velez de las Casas.

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

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA A AVALIAÇÃO DO
DESEMPENHO FUNCIONAL DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO
DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA**

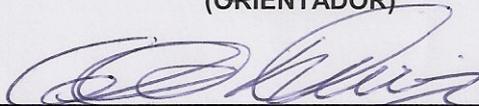
CARLOS ANIBAL RODRIGUEZ SAÑUDO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO 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.

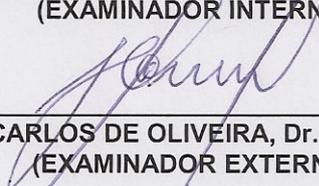
APROVADA POR:



**ANÉSIO DE LELES FERREIRA FILHO, Dr., ENE/UNB
(ORIENTADOR)**



**ALBERTO CARLOS GUIMARÃES CASTRO DINIZ, Dr., ENM/UNB
(EXAMINADOR INTERNO)**



**JOSÉ CARLOS DE OLIVEIRA, Dr., FEELT/UNU
(EXAMINADOR EXTERNO)**

Brasília, 21 de novembro de 2012.

FICHA CATALOGRÁFICA

SAÑUDO, CARLOS ANIBAL RODRIGUEZ

Proposta de Metodologia para a Avaliação do Desempenho de Instrumentos de Medição da Qualidade da Energia Elétrica. [Distrito Federal] 2012. xix, 159p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2012) Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Qualidade da Energia Elétrica | 2. Analisadores de Energia Elétrica |
| 3. Calibração e Verificação | 4. Metrologia |
| I. ENE/FT/UnB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SAÑUDO, C. A. R. (2012). Proposta de Metodologia para a Avaliação do Desempenho de Instrumentos de Medição da Qualidade da Energia Elétrica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGEE. DM - 505/2012, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 159p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Carlos Anibal Rodriguez Sañudo.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Proposta de Metodologia para a Avaliação do Desempenho de Instrumentos de Medição da Qualidade da Energia Elétrica.

GRAU / ANO: Mestre / 2012

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 desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Carlos Anibal Rodriguez Sañudo
Carrera 27 # 13 - 20, Bucaramanga
Santander - Colômbia.

Resumo

Proposta de Metodologia para a Avaliação de Instrumentos de Medição da Qualidade da Energia Elétrica

Autor: Carlos Anibal Rodriguez Sañudo

Orientador: Prof. Anésio de Leles Ferreira Filho

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

Brasília, Novembro 2012

Este trabalho apresenta uma nova metodologia para a avaliação do desempenho funcional de instrumentos de medição de qualidade da energia elétrica. Trata-se de um procedimento que contempla os aspectos técnicos e metrológicos demandados pela IEC 61000-4-30 (2008), para cada um dos parâmetros de qualidade da energia, por meio do uso do ISO-GUM (2008). A IEC 61000-4-30 é uma diretriz que visa à padronização das medições dos parâmetros da qualidade da energia elétrica, indicando os métodos e as técnicas para a quantificação dos mesmos. Já o ISO-GUM é um guia elaborado para a ciência da metrologia com a finalidade de estabelecer regras referentes à expressão da incerteza de medições para uso em padronização, calibração, acreditação de laboratórios e serviços metrológicos. Da junção destes conhecimentos, são propostos três tipos de testes que permitem a identificação dos aspectos irregulares dos medidores considerando-se as exigências da IEC 61000-4-30. Para garantir repetitividade nos resultados, a metodologia estruturou-se em três cadernos elaborados com os procedimentos para a execução dos mencionados testes. O produto é um relatório que expressa o desempenho do instrumento sob avaliação e torna possível a identificação das aptidões e das deficiências dos instrumentos voltados à medição da qualidade da energia elétrica. São ainda expostos procedimentos laboratoriais, e um exemplo de aplicação da metodologia proposta sobre um medidor.

Abstract

Proposal Methodology to Evaluate the Operating Performance of Power Quality Measurement Instruments

Author: Carlos Anibal Rodriguez Sañudo

Advisor: Prof. Anésio de Leles Ferreira Filho

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

Brasília, October 2012

This dissertation proposes a methodology to evaluate the operating performance of power quality measurement instruments. It entails a procedure which includes, for each power quality parameter, technical and metrological characteristics demanded by the IEC 61000-4-30 (2008), through use of the ISO-GUM (2008). The IEC 61000-4-30 provides measurement methods and sets accuracy levels for the power quality parameters. The main motivation for this standard is to provide common requirements for measurement devices to ensure that power quality meters from different manufacturers give the same results. The ISO-GUM is a guide that establishes general rules for evaluating and expressing uncertainty in measurements that are intended to be applicable for standardization, calibration, laboratory accreditation and metrology services. Three types of tests to identify the irregular aspects of meters considering the requirements of the IEC 61000-4-30 are proposed from the joining of this standard and this guide. The methodology is structured into three notebooks with the procedures established for the implementation of the above tests to ensure repeatability of the results. The product is a report that expresses the performance of the instrument under evaluation and makes it possible to identify the qualities and shortcomings of instruments designed to measure power quality. Moreover, the laboratory results of employing the aforementioned methodology with the measuring equipment are put forth.

Sumário

Resumo	v
Abstract	vii
Sumário	xi
Lista de Tabelas	xv
Lista de Figuras	xvii
Lista de Símbolos, Nomenclaturas e Abreviações	xix
1 Introdução	1
1.1 Considerações Iniciais	1
1.2 Estado da Arte	2
1.3 Objetivos	2
1.4 Estrutura da Dissertação	3
2 Fundamentação Teórica - Metrologia	5
2.1 Considerações Iniciais	5
2.2 Conceitos Fundamentais sobre Metrologia	5
2.3 Cadeia de Rastreabilidade	9
2.4 Procedimentos para a Expressão da Incerteza de Medição	11
2.5 Considerações Finais	15
3 Instrumentos de Medição da Qualidade da Energia Elétrica	17
3.1 Considerações Iniciais	17
3.2 Qualidade da Energia Elétrica	17
3.3 Normas da Qualidade da Energia Elétrica	18
3.4 Monitoração da Qualidade da Energia Elétrica	20
3.5 Analisador da Qualidade da Energia Elétrica	22
3.6 Quantificação dos Parâmetros da QEE com base na IEC 61000-4-30	23

3.7	Considerações Finais	33
4	Metodologia para Avaliação do Desempenho Funcional de Instrumentos de Medição da Qualidade da Energia Elétrica	37
4.1	Considerações Iniciais	37
4.2	Testes de Desempenho Funcional de Instrumentos de Medição da QEE	38
4.3	Execução da Metodologia Desenvolvida	44
4.4	Considerações Finais	47
5	Exemplo de Aplicação da Metodologia Proposta	49
5.1	Considerações Iniciais	49
5.2	Caderno Representante - Análise Inicial	49
5.3	Guia dos Testes de Desempenho	50
5.4	Caderno Avaliação - Elaboração do Laudo	51
5.5	Relatório Técnico - Resultados da Avaliação	54
5.6	Análise de Resultados	56
5.7	Considerações Finais	59
6	Conclusões	61
	Referências Bibliográficas	68
	Apêndices	69
A	Caderno Representante	69
A.1	Considerações Iniciais	69
A.2	Informações sobre o Representante e o Instrumento a Ser Avaliado . .	69
A.3	Informações sobre os Protocolos de Medição do Instrumento a Ser Avaliado	70
B	Guia dos Testes de Desempenho Funcional de Instrumentos de Medição da Qualidade da Energia Elétrica	75
B.1	Considerações iniciais	75
B.2	Guia de Teste de Aspectos Gerais	77
B.3	Guia de Teste da Frequência Elétrica	78
B.4	Guia de Teste da Magnitude de Tensão Elétrica	80
B.5	Guia de Teste da Flutuação da Tensão Elétrica (Cintilação)	85
B.6	Guia de Teste de Afundamentos e de Elevações da Tensão Elétrica . .	92
B.7	Guia de Teste de Interrupções da Tensão Elétrica	95
B.8	Guia de Teste do Desequilíbrio de Tensão Elétrica	98

B.9	Guia de Teste das Tensões Harmônicas	103
B.10	Guia de Teste das Tensões Inter-Harmônica	107
B.11	Guia de Teste dos Sinais de Comunicação em Tensão através da Rede Elétrica	111
B.12	Guia de Teste de Parâmetros de Desvio Superior e Desvio Inferior	115
C	Caderno Relatório – Exemplo de Aplicação	117
C.1	Considerações Iniciais	117
C.2	Folha de Identificação do Documento	117
C.3	Siglas	118
C.4	Síntese	118
C.5	Laudo Geral do IMA	119
	Laudo do Instrumento	119
C.6	Laudo Detalhado do IMA	119
	Laudo – Aspectos Gerais	119
	Laudo – Frequência Elétrica	120
	Laudo – Magnitude de Tensão Elétrica	122
	Laudo – Flutuação de Tensão Elétrica (Cintilação)	130
	Laudo – Afundamentos e Elevações de Tensão	134
	Laudo – Interrupções de Tensão	141
	Laudo – Desequilíbrio de Tensão Elétrica	142
	Laudo – Tensões Harmônicas	144
D	Expressão da Incerteza de Medição de um Voltímetro	151
D.1	Cálculo da Tendência	151
D.2	Cálculo da Incerteza Padrão	152
D.3	Cálculo da Incerteza Padrão Combinada	153
D.4	Cálculo da Incerteza Expandida	153
D.5	Desenho da Curva de Erros	154
E	Incerteza de Medição do Instrumento de Referência	157
F	Coefficientes t de Student	159

Lista de Tabelas

3.1	Requisitos metrológicos dos parâmetros da QEE conforme IEC	34
3.2	Faixas das grandezas de influência sobre os parâmetros da QEE conforme a IEC	35
4.1	Aspectos técnicos e metrológicos solicitados pela IEC 61000-4-30 (2008)	39
4.2	Condições da tensão nos testes tipo C	41
4.3	Testes de desempenho funcional em instrumentos de medição da QEE	43
5.1	Testes de desempenho funcional executados no exemplo de aplicação .	52
5.2	Arquivo de registro do IMA das medições de tensão	53
5.3	Exemplo de registro correto das medições de tensão	53
5.4	Exemplo de medições da execução de testes tipo C	54
5.5	Laudo da aplicação dos testes classe V - Analisador B	57
5.6	Laudo da aplicação dos testes tipo C	58
B.1	Valores a serem empregados nos testes de frequência elétrica constante - condições 1, 2 e 3	81
B.2	Condições da onda de tensão no teste de frequência elétrica constante - condições 2	81
B.3	Condições da onda de tensão no teste de frequência elétrica constante - condições 3	81
B.4	Valores a serem empregados no teste de frequência elétrica variável .	82
B.5	Características do teste de frequência elétrica variável	82
B.6	Valores a serem empregados no teste da magnitude de tensão constante - condições 1, 2 e 3	85
B.7	Condições da onda de tensão no teste da magnitude de tensão constante - condições 2	86
B.8	Condições da onda de tensão no teste de magnitude de tensão constante - condições 3	86

B.9	Valores a serem empregados no teste de magnitude de tensão variável	
	- Classe A	87
B.10	Valores a serem empregados no teste de magnitude de tensão variável	
	- Classe S	87
B.11	Características da magnitude no teste da magnitude de tensão variável - Classe A	88
B.12	Características da magnitude no teste da magnitude de tensão variável - Classe S	88
B.13	Valores do Pst nos testes flutuação retangular de tensão - condições 1, 2 e 3 - classe A	90
B.14	Valores do Pst nos testes flutuação retangular de tensão - condições 1, 2 e 3 - classe S	91
B.15	Flutuação retangular da tensão nos testes de flutuação de tensão - condições 1, 2 e 3	91
B.16	Condições da onda de tensão no teste da flutuação retangular de tensão - condições 2	91
B.17	Condições da onda de tensão no teste da flutuação retangular de tensão - condições 3	92
B.18	Características do pré-evento	94
B.19	Características do teste da amplitude do afundamento	95
B.20	Características do teste da duração do afundamento	96
B.21	Características do teste da amplitude da elevação	96
B.22	Características do teste da duração da elevação	97
B.23	Características do teste da duração da interrupção	98
B.24	Características do teste de desequilíbrio de tensão constante - condições 1, 2 e 3	102
B.25	Valores dos fasores da tensão no teste de desequilíbrio de tensão constante - condições 1, 2 e 3	102
B.26	Condições da onda de tensão no teste do desequilíbrio de tensão constante - condições 2	102
B.27	Condições da onda de tensão no teste de desequilíbrio da tensão constante - condições 3	103
B.28	Valores dos fasores de tensão no teste de desequilíbrio de tensão variável	104
B.29	Valores do desequilíbrio no teste desequilíbrio de tensão variável . . .	104
B.30	Valores a serem empregados nos testes de tensões harmônicas constantes - condições 1, 2 e 3	107

B.31	Condições da onda de tensão no teste das tensões harmônicas constantes - condições 2	108
B.32	Condições da onda de tensão no teste das tensões harmônicas constantes - condições 3	108
B.33	Características do teste de tensões harmônicas variáveis	108
B.34	Valores a serem empregados no teste de tensões harmônicas variáveis	109
B.35	Valores a serem empregados no testes de tensões inter-harmônicas constantes - condições 1, 2 e 3	111
B.36	Condições da onda de tensão no teste das tensões inter-harmônicas constantes - condições 2	111
B.37	Condições da onda de tensão no teste das tensões inter-harmônicas constantes - condições 3	112
B.38	Valores a serem empregados no teste de sinais de comunicação constantes - condições 1, 2 e 3	114
B.39	Condições da onda de tensão no teste de sinais de comunicação constantes - condições 2	114
B.40	Condições da onda de tensão no teste de sinais de comunicação constantes - condições 3	115
D.1	Dados oriundos da medição	151
D.2	Valores de θ_i , da tendência observada t_i , da tendência estimada $t(v_i)$ e das diferenças entre $t_i - t(v_i)$	152
D.3	Incertezas padrões das leituras do voltímetro	153
D.4	Incerteza expandida das leituras do voltímetro	154
E.1	Incertezas envolvidas do sistema padrão de medição	157
F.1	Coefficientes de t de Student	159

Lista de Figuras

2.1	Curva de erro de um sistema de medição	8
2.2	Cadeia de rastreabilidade do Sistema Metrológico	9
2.3	Modelo da tendência estimada $t(v_i)$	12
2.4	Modelo da Curva de Erros	15
3.1	Classes das normas voltadas à QEE	19
3.2	Processo da monitoração da QEE	21
3.3	Sistema de medição da QEE	21
3.4	Sistema de medição do analisador da QEE	22
4.1	Sistema de medição padrão implementado	42
5.1	Sistema de medição padrão empregado	51
5.2	Folha de apresentação do relatório	55
5.3	Síntese elaborada para o relatório técnico	55
5.4	Laudo final do IMA	56
5.5	Curva do erro da flutuação de tensão - teste valores constantes - condição 1	59
D.1	Curva de erros da calibração linear sobre um voltímetro	155

Lista de Símbolos, Nomenclaturas e Abreviações

Símbolos Relacionados à Metrologia

a_o	Coefficiente angular
a_1	Coefficiente linear
E_c	Erro de avaliação para os testes tipo C
E_v	Erro de avaliação para os testes tipo V
k	Fator de abrangência
r	Coefficiente de correlação
s	Variância
t	Tendência observado
$t(v)$	Tendência estima
u_B	Incerteza padrão determinada por meios não estatísticos
u_c	Incerteza padrão combinada
u_{max}	Incerteza máxima permitida
u_t	Incerteza padrão da calibração linear
U	Incerteza Expandida
U_s	Incerteza Máxima permitida para os analisadores da QEE classe S
v_{eff}	Graus de liberdade efetivos
v_i	Valor mensurado do instrumento de medição em avaliação
v_{Pi}	Valor mensurado do sistema de medição padrão
v_o	Valor de referência
θ	Variável de passo

Símbolos Relacionados à Qualidade da Energia Elétrica

a	Operador de <i>fortescue</i>
C	Valor do intervalo do tempo da medição
f	Frequência
f_{nom}	Frequência nominal
$G_{sg,n}$	Valor da tensão eficaz de tensão do subgrupo de harmônicas
$G_{g,n}$	Valor da tensão eficaz do grupo de harmônicas
Pst	<i>Short-term probability</i>
Plt	<i>Long-term probability</i>
u_-	Fator de desequilíbrio de sequência negativa
u_o	Fator de desequilíbrio de sequência zero
U_o	Valor da componente simétrica de sequência zero
U_+	Valor da componente simétrica de sequência positiva
U_-	Valor da componente simétrica de sequência negativa
U_{din}	Tensão de alimentação declarada
U_m	Valor da tensão eficaz da m -ésima ordem harmônica
U_{rms}	Tensão eficaz
$U_{rms(1/2)}$	Valor eficaz da tensão de 1 ciclo, começando no cruzamento por zero da componente fundamental, e atualizado a cada meio-ciclo
$U_{rms(1)}$	Valor eficaz da tensão determinado e atualizado a cada 1 ciclo
V_A	Valor da tensão eficaz da fase A
V_B	Valor da tensão eficaz da fase B
V_C	Valor da tensão eficaz da fase C

Siglas

A/D	Conversor Analógico Digital
BIPM	<i>Bureau International des Poids et Mesures</i>
CIGRE	<i>Council on Large Electric Systems</i>
CIPM	<i>Comité international des poids et mesures</i>
CONMETRO	Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
DHT	Distorção Harmônica Total
DTF	Transformada Discreta de <i>Fourier</i>
EN	<i>European Standards</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IMA	Instrumento de Medição sob Avaliação
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISO-GUM	<i>Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement</i>
JCGM	<i>Joint Committee for Guides in Metrology</i>
PDS	Processamento digital de Sinais
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PSL	<i>Power Standards Lab</i>
QEE	Qualidade da Energia Elétrica
RTC	Relógio de Tempo Real
SI	Sistema internacional de medidas
SMP	Sistema de Medição Padrão
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
VIM	<i>International Vocabulary of Metrology</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 Considerações Iniciais

O setor elétrico recentemente tem adotado um modelo desverticalizado que impõe novas regras com a finalidade de satisfazer o consumidor final. Neste contexto, a qualidade da energia elétrica (QEE) tornou-se uma das questões mais importantes a serem atendidas (GOMES *et al.*, 2002). A análise da QEE presta-se como uma forma de avaliação da continuidade do suprimento e da conformidade de alguns parâmetros quanto aos limites estabelecidos em normas.

Para a avaliação dos parâmetros da QEE, campanhas de medição têm sido elaboradas e executadas em todo o mundo por agentes reguladores, concessionárias de energia elétrica e consumidores (CHIUMEO *et al.*, 2009; HERATH; MCHARDY, 2008). Para que isso seja possível, é necessário dotar a rede elétrica de instrumentos especializados de medição. Esta demanda tem fomentado o desenvolvimento e a fabricação de diversos modelos de medidores da QEE, hoje disponíveis no mercado. Neste caso, a ausência da padronização dos métodos que estabelecem os procedimentos de medição dos parâmetros da QEE leva à incompatibilidade de medidores de diferentes fabricantes, porque diferentes instrumentos têm apresentado resultados discrepantes (NEUMANN, 2007).

Visando-se medições confiáveis e comparáveis entre os medidores da QEE foi publicada, em 2003, a IEC 61000-4-30 – *Electromagnetic compatibility (EMC)- Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods*, atualizada em 2008. Apesar de se tratar de um documento de alcance mundial, não há garantias de que os fabricantes desta classe de instrumentos tenham adotado-o. Logo, se fazem necessárias metodologias de análise do desempenho desses medidores

fundamentas em aspectos que garantam a padronização proposta pela diretriz.

1.2 Estado da Arte

Consultando a literatura atinente, identifica-se um estudo de 2004 que apresenta os resultados da performance de diferentes modelos de medidores da QEE (MEDEIROS *et al.*, 2004). Neste trabalho, não há citação de um documento que padronize os métodos de medição. Em 2009, foi publicado um trabalho que propõe uma verificação *in loco*¹ do desempenho funcional de instrumentos no processo de quantificação dos parâmetros da QEE de regime permanente (MEYER *et al.*, 2009). Tal verificação é feita com base em testes propostos pela IEC 61000-4-30 (2008). Contudo, nesta norma menciona-se que esses testes, embora necessários, são insuficientes para verificar se um medidor atende às exigências da norma. Além disso, é estabelecido que, para verificar se os métodos de medição estão corretamente implementados, ensaios adicionais e (ou) validações são necessários. Finalizando a lista de artigos revisados, cita-se um estudo de 2010 em que foi realizada a verificação da performance dos instrumentos voltados à medição dos afundamentos de tensão (GALLO *et al.*, 2010). Os demais parâmetros de PQ não foram contemplados neste artigo.

Embora não estejam disponíveis na literatura metodologias de avaliação de instrumentos desenvolvidas pelos institutos *Power Standard Lab.* (PSL, 2006) e *Israel Electric Co.* (ISR.ELECTRIC.CO, 2007), existem instrumentos no mercado que apresentam certificações emitidas por estes órgãos.

1.3 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo *desenvolver uma metodologia para a avaliação do desempenho funcional dos instrumentos de medição da QEE*. Para tanto, almeja-se atingir as seguintes metas específicas:

- Identificar os aspectos relacionados ao processo de quantificação dos parâmetros da QEE citados na literatura pertinente;
- Compor conjuntos de testes capazes de avaliar os aspectos demandados dos instrumentos de medição da QEE;
- Estabelecer procedimentos padrões para a execução da metodologia;

¹A calibração *in loco* ocorre quando os padrões são levados até o local onde o sistema de medição se encontra e a calibração é ali mesmo efetuada.

- Aplicar a metodologia proposta em um instrumento fabricado para a medição da QEE.

1.4 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho organiza-se em 6 capítulos. Nestes são expostos os fundamentos, as estratégias empregadas, os resultados e as conclusões advindas do desenvolvimento da metodologia.

O capítulo 2 exhibe a fundamentação teórica da ciência da metrologia. Esta ciência, dentre suas diversas funções, apresenta estratégias para caracterizar o desempenho metrológico dos instrumentos de medição. Tais estratégias são empregadas neste trabalho.

O capítulo 3 conceitualiza as grandezas e as normas relacionadas a QEE. Posteriormente, a norma IEC 61000-4-30 (2008) é descrita com o intuito de compreender os aspectos técnicos e metrológicos necessários para a medição dos parâmetros da QEE.

No capítulo 4, propõe-se um procedimento estruturado por três tipos de testes e o uso do ISO-GUM (2008). Com isso, é possível identificar, individualmente, os aspectos irregulares do instrumento em avaliação. Também são apresentados, os procedimentos para execução dos ensaios propostos, que visam garantir a repetitividade dos resultados.

O capítulo 5 expõe resultados adquiridos em laboratório oriundos da aplicação da metodologia sobre um medidor que, segundo o fabricante, foi elaborado com base na norma IEC 61000-4-30.

No Capítulo 6, há uma revisão do que foi desenvolvido, além das conclusões e contribuições oferecidas pela presente dissertação. O capítulo é finalizado com uma série de sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica - Metrologia

2.1 Considerações Iniciais

Como o equipamento em estudo é um instrumento de medição, é necessário uma introdução sobre os conceitos fundamentais da metrologia, citando vocábulos empregados por esta ciência, entre eles, sistema de medição, precisão, exatidão, rastreabilidade e incerteza. Uma função prioritária da metrologia é a atividade de publicar normas e procedimentos com o objetivo de obter um diálogo universal entre o governo, a ciência, a indústria e o comércio. Entre os procedimentos mais relevantes está a calibração, realizada para conhecer o desempenho metrológico dos instrumentos de medição. Este e outros fundamentos são abordados neste capítulo para o entendimento geral da dissertação.

2.2 Conceitos Fundamentais sobre Metrologia

2.2.1 Definição de Metrologia

A metrologia é a ciência das medições, abrangendo os aspectos teóricos e práticos que asseguram a exatidão e a precisão¹ exigida no processo produtivo. Isto garante a qualidade de produtos e serviços através do procedimento da **calibração de sistemas de medição** (instrumentos de medição), sejam eles analógicos ou eletrônicos (digitais), e da realização de ensaios, sendo a base fundamental para a

¹Os vocábulos exatidão e precisão, utilizados para diferenciar o desempenho de um sistema de medição, devem ser usados de forma qualitativa na metrologia (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008). A exatidão é um termo qualitativo que está associado ao grau de concordância entre o resultado de uma medição e o valor verdadeiro do mensurando. A precisão é também um termo qualitativo. Entretanto, a precisão está associada à discrepância entre as indicações de medições repetidas do sistema de medição.

competitividade das empresas (BRAGA).

2.2.2 Sistemas de Medição

O sistema de medição é o meio pelo qual as medições são efetuadas. Ele é construído de forma a permitir a comparação do mensurando com a **unidade de medida**², indicando o número de vezes que a unidade de medida está contida dentro do mensurando (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008).

2.2.3 Calibração

Antes da apresentação do conceito de calibração, é importante ressaltar que todos os sistemas de medição possuem erros. Na verdade, em maior ou menor grau, os erros estarão sempre presentes, sejam eles de origem interna ao sistema de medição ou decorrentes da ação de influências externas. De fato, com o uso, há uma tendência do sistema de medição em degradar seu desempenho ao longo dos meses. Para manter os resultados das medições, o desempenho do sistema de medição deve ser verificado. A caracterização plena dos **erros sistemáticos**³ e dos **erros aleatórios**⁴, apresentados nas condições de uso do sistema de medição, é um aspecto necessário para que os resultados obtidos sejam mais confiáveis (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008).

A Calibração é uma operação que estabelece, em uma primeira etapa e sob condições especificadas, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões⁵ e as indicações correspondentes com as incertezas associadas, e em uma segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando à obtenção de um resultado de medição a partir de uma indicação (VIM, 2009). Com isso a calibração realiza a comparação entre os valores indicados por um instrumento de medição e os valores padrões. Este procedimento salvaguarda a qualidade de processos industriais, oferecendo uma série de vantagens tais como (BRAGA):

- Verifica o desempenho metrológico de um sistema de medição;

²Unidade de medida: grandeza escalar real, definida e adotada por convenção, com a qual qualquer outra grandeza do mesmo tipo pode ser comparada para expressar, na forma de um número, a razão entre as duas grandezas (VIM, 2009).

³Erro sistemático: componente do erro de medição que, em medições repetidas, permanece constante ou varia de maneira previsível (VIM, 2009).

⁴Erro aleatório: componente do erro de medição que, em medições repetidas, varia de maneira imprevisível (VIM, 2009).

⁵O valor padrão é a realização da definição de uma dada grandeza, com um valor determinado e uma incerteza de medição associada, utilizada como referência (VIM, 2009).

- Garante a rastreabilidade das medições;
- Permite a confiança nos resultados medidos;
- Reduz a variação das especificações técnicas dos produtos;
- Compatibiliza as medições.

2.2.4 Erro Sistemático – Tendência

Para se estimar o erro sistemático de uma medição devem ser efetuadas medições repetitivas de um mensurando cujo valor é conhecido. Entretanto, na prática, não se conhece o valor verdadeiro do mensurando e não se efetua infinitas medições. Desse modo, o que é calculado é uma estimativa aproximada do erro sistemático, denominada **tendência** (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008).

2.2.5 Erros Aleatórios – Incerteza e Repetitividade

O comportamento aleatório do erro de medição pode, em geral, ser representado por uma distribuição normal gaussiana. O desvio padrão de uma distribuição normal associada ao erro de medição é usado para caracterizar quantitativamente a intensidade da componente aleatória do erro de medição. **A incerteza padrão**, obtida geralmente de uma série de medições repetitivas do mesmo mensurando ou estimada por outros meios, é uma medida do erro aleatório do sistema de medição, determinada pelo desvio padrão (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008).

Para expressar a intensidade com que se manifestam os erros aleatórios em medições repetidas do mesmo mensurando, efetuadas sob as mesmas condições, é calculada a **repetitividade**. Ela é determinada com base no desvio padrão multiplicado pelo respectivo fator de abrangência⁶ (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008).

2.2.6 Erro Máximo Permissível

O **erro máximo permissível** ou incerteza máxima permitida é o valor extremo do erro de medição, com respeito a um valor de referência conhecido, aceito por especificações ou regulamentos para uma dada medição, instrumento de medição ou sistema de medição (VIM, 2009).

⁶Fator de abrangência: número maior do que um pelo qual uma incerteza padrão combinada é multiplicada para se obter uma incerteza de medição expandida (VIM, 2009).

2.2.7 Curva de Erros

A Figura 2.1 apresenta a curva de erros de um sistema de medição. Trata-se de um gráfico que representa os erros apresentados pelo sistema de medição em função de sua leitura.

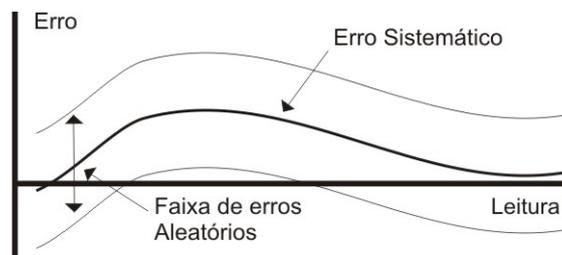


Figura 2.1: Curva de erro de um sistema de medição

Na Figura 2.1, observa-se a existência de uma linha central que representa os erros sistemáticos, e uma faixa que delimita as regiões onde são esperados os erros aleatórios. Na prática, não é possível determinar os valores destes erros. Por isso, a curva de erros é elaborada com base nos valores da tendência, da incerteza e da repetibilidade (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008).

2.2.8 Rastreabilidade Metrológica

As calibrações sempre envolvem comparações. O sistema de medição a calibrar ou a medida materializada são comparadas com os valores de referências padrões. Para que as diferenças encontradas possam ser atribuídas aos erros do sistema de medição calibrado, é necessário que a incerteza do padrão seja menor que o sistema calibrado⁷. Portanto, é estabelecida uma **cadeia de rastreabilidade**⁸ na qual são exibidos os relacionamentos hierárquicos dos sistemas de medição. Desse modo, os sistemas de medição são referenciados a padrões que, por sua vez, são referenciados a outros padrões de qualidade superior (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008). Diz-se de um

⁷A incerteza associada ao valor de referência deve ser dez vezes menor que a incerteza associada ao sistema a calibrar. Há casos em que os custos de um padrão com incerteza dez vezes menor é proibitivo. Porém, adota-se um padrão cuja incerteza seja apenas de um terço do sistema de medição a calibrar (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008)

⁸Cadeia de rastreabilidade: sequência de padrões e calibrações utilizada para relacionar um resultado de medição a uma referência (VIM, 2009).

sistema de medição que se insere nessa cadeia que sua calibração está **rastreada**⁹ aos padrões internacionais.

2.3 Cadeia de Rastreabilidade

O referenciamento de todos os sistemas de medição calibrados aos padrões internacionais garante uniformidade nas medições efetuadas em qualquer momento e lugar no planeta (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008). Assim, o metro brasileiro, o metro colombiano e o metro chinês são equivalentes. É por esta propriedade da cadeia de rastreabilidade que é possível encomendar uma peça de reposição de um motor de indução europeu a uma fábrica brasileira.

A pirâmide da Figura 2.2 representa a cadeia de rastreabilidade pela qual é possível equiparar os sistemas de medição usados na indústria e no comércio às definições do Sistema Internacional de unidades (SI) (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008). As relações hierárquicas dessa cadeia são estabelecidas com base nos níveis de incerteza envolvidos. De fato, o topo é constituído pelas definições fundamentais do SI (BIPM, 2008). No segundo nível, está o laboratório *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM). O BIPM é responsável pela administração das unidades legais do mundo e dos padrões do SI desde 1875 (SILVEIRA, 2005).



Figura 2.2: Cadeia de rastreabilidade do Sistema Metrológico

Além do BIPM, sendo ele um órgão internacional, existem vários laboratórios no mundo que trabalham em projetos de pesquisa e desenvolvimento nas áreas da metrologia científica e industrial. Pode-se citar como exemplo os seguintes laboratórios:

⁹A rastreabilidade metrológica: propriedade de um resultado de medição pela qual tal resultado pode ser relacionado a uma referência através de uma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição (VIM, 2009)

NIST - *National Institute of Standards and Technology* (USA);

PTB - *Physikalisch-Technische Bundesanstalt* (Alemanha);

NRC - *National Research Council* (Canadá);

NPL - *National Physical Laboratory* (Inglaterra);

NRLM - *National Research Laboratory of Metrology* (Japão);

CSIRO - *National Measurement Laboratory* (Austrália).

Cada país possui seu laboratório nacional, com o objetivo de manter, desenvolver e disseminar os padrões primários, assim como definir a política metrológica a ser aplicada na nação.

O Brasil tem no Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), o seu laboratório nacional. Já a política metrológica é regulamentada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO).

2.3.1 O Guia para Expressão da Incerteza de Medição (ISO-GUM)

Em 1977, reconhecendo a falta de consenso relativa à expressão da incerteza nas medições, o *Comité International des Poids et Mesures* (CIPM), a mais alta autoridade mundial em metrologia, solicitou ao BIPM que promovesse uma consulta junto a 32 institutos nacionais de metrologia, dentre os quais 21 ofereceram contribuições (ISO-GUM, 2008).

Com base nos resultados da consulta e das recomendações do grupo de trabalho estabelecido pelo BIPM, com a participação de especialistas de 11 laboratórios, o CIPM solicitou em 1981 que a *International Organization for Standardization* (ISO) promovesse a elaboração de um guia detalhado que fornecesse regras para a expressão da incerteza nas medições com o seguinte termo de referência: desenvolver um documento de orientação baseado nas recomendações do grupo de trabalho do BIPM, relativo à declaração da incerteza, e estabelecer regras referentes à expressão da incerteza de medições para uso em padronização, calibração, acreditação de laboratórios e serviços metrológicos (ISO-GUM, 2008).

Já em 1993, foi publicado e reimpresso, em versão corrigida em 2008, o *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements* (ISO-GUM), com o apoio e em nome de sete organizações, a saber, BIPM, *International Electrotechnical Commission* (IEC), *International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine* (IFCC), ISO, *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC); *International Union of Pure and Applied Physics* (IUPAP); *International Organization of Legal Metrology* (OIML), nos quais os objetivos principais são:

- Promover a informação completa sobre como se chegou à declaração da incerteza;
- Fornecer uma base para a comparação internacional de resultados de medições.

Anos depois em 1997, foi formado pelas mesmas organizações colaboradoras para o desenvolvimento da ISO-GUM, o *Joint Committee for Guides in Metrology* (JCGM). O JCGM é composto por dois grupos de trabalho que possuem objetivos diferentes. O primeiro grupo objetiva fomentar o uso da ISO-GUM e elaborar documentos que abordem esta aplicação. Já o segundo grupo tem a tarefa de revisar e de promover o uso do *vocabulary of basic and general terms in metrology* (VIM).

2.4 Procedimentos para a Expressão da Incerteza de Medição

O método apresentado a seguir tem o objetivo de estimar a curva linear de calibração pelo método dos mínimos quadrados, para assim expressar a incerteza de medição. Vale ressaltar que este procedimento é reconhecido pelo JCGM (ISO-GUM, 2008, Apêndice H).

Antes de se iniciar o procedimento para a expressão da incerteza, é fundamental que se conheça os valores das medições do sistema de medição a calibrar v_i e os seus respectivos valores padrões v_{Pi} , e fixar o valor de v_o (uma referência escolhida estrategicamente). O número total de amostras empregadas é denominado N .

2.4.1 Cálculo da Tendência

O primeiro passo para expressar a incerteza de medição, é calcular os valores da tendência observada e da tendência estimada. A tendência observada t_i é a diferença entre os valores das medições v_i , e os seus respectivos valores padrões v_{Pi} .

O cálculo da tendência estimada $t(v_i)$ é efetuado com base no uso da equação (2.1). A equação (2.1), representa a curva de calibração linear das amostras do aparelho em estudo, Figura 2.3.

$$t(v_i) = a_0 + a_1(v_i - v_o) \quad (2.1)$$

Onde:

$t(v_i)$ é a tendência estimada do mensurando;

v_i é o mensurando (medições do sistema de medição a calibrar);

a_0 é o coeficiente linear ;

a_1 é e o coeficiente angular da curva;

v_o é uma referência convenientemente escolhida.

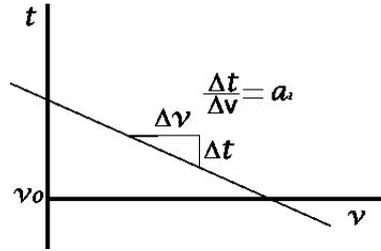


Figura 2.3: Modelo da tendência estimada $t(v_i)$

O cálculo dos valores de a_0 e a_1 baseia-se na aplicação do método dos mínimos quadrados para se efetuar o ajuste da tendência estimada. O método dos mínimos quadrados permite identificar o coeficiente angular a_0 , equação (2.2), o coeficiente linear a_1 , equação (2.3), as variâncias $s(a_0)$ e $s(a_1)$, as equações (2.5) e (2.6), e a correlação $r(a_0, a_1)$, equação (2.7). De posse destes valores, tem-se a curva da tendência.

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^N t_i \sum_{i=1}^N \theta_i^2 - \sum_{i=1}^N t_i \theta_i \sum_{i=1}^N \theta_i}{N \sum_{i=1}^N (\theta_i - \bar{\theta})^2} \quad (2.2)$$

$$a_1 = \frac{N \sum_{i=1}^N t_i \theta_i - \sum_{i=1}^N t_i \sum_{i=1}^N \theta_i}{N \sum_{i=1}^N (\theta_i - \bar{\theta})^2} \quad (2.3)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - t(v_i))^2}{N - 2} \quad (2.4)$$

$$s^2(a_0) = \frac{s^2 \sum_{i=1}^N \theta_i^2}{N \sum_{i=1}^N (\theta_i - \bar{\theta})^2} \quad (2.5)$$

$$s^2(a_1) = \frac{s^2}{\sum_{k=1}^N (\theta_i - \bar{\theta})^2} \quad (2.6)$$

$$r(a_0, a_1) = -\frac{\sum_{i=1}^N \theta_i}{\sqrt{N \sum_{i=1}^N \theta_i^2}} \quad (2.7)$$

Onde:

s é a incerteza geral da calibração;

$$\theta_i = v_i - v_o;$$

$$\bar{\theta} = \frac{\sum_{i=1}^N \theta_i}{N}.$$

Se a escolha de v_o é tal que $\sum_{i=1}^N \theta_i = \sum_{i=1}^N (v_i - v_o) = 0$, o coeficiente de correlação $r(a_0, a_1)$ será igual a 0, o que simplifica a determinação dos parâmetros da curva de calibração.

2.4.2 Cálculo da Incerteza Padrão Combinada

Os erros aleatórios são estimados com base no cálculo da incerteza padrão combinada $u_c(v_i)$, descrita na equação (2.8), obtida da junção da incerteza padrão da calibração linear $u_t(v_i)$ e a incerteza padrão u_B . A incerteza u_t pode ser obtida empregando a lei da propagação da incerteza na equação (2.1). Com isso, obtém-se a função (2.9). A incerteza u_B é determinada por meios diferentes daquele adotado para a avaliação da incerteza padrão da calibração linear u_t .

$$u_c^2(v_i) = u_t^2(v_i) + u_B^2 \quad (2.8)$$

$$u_t^2(v_i) = s^2(a_0) + (v_i - v_o)^2 s^2(a_1) + 2(v_i - v_o) s(a_0) s(a_1) r(a_0, a_1) \quad (2.9)$$

Onde:

u_c é a incerteza padrão combinada;

u_t é a incerteza padrão da calibração linear;

u_B é a incerteza padrão determinada por outros meios daquele adotado na avaliação da incerteza padrão u_t .

A estimação da incerteza padrão u_B é efetuada observando informações disponíveis que não são empregadas na avaliação da expressão da incerteza u_t , a saber;

- Dados de medições anteriores;
- Experiência ou conhecimentos gerais do comportamento dos instrumentos;

- Especificações do fabricante;
- Erros atribuídos a dados de referência provenientes de manuais ou publicações;
- Procedimentos operacionais;
- Os efeitos das condições ambientais;
- A classe de exatidão do instrumento de medição indicada pelo fabricante;

Com base nos erros das observações e julgamentos da medição (u_j), determina-se a incerteza u_B , dada pela equação (2.10).

$$u_B^2 = \sum u_j^2 \quad (2.10)$$

2.4.3 Cálculo da Incerteza Expandida

O parâmetro adicional de incerteza que atende ao requisito de fornecer um intervalo de repetitividade é denominado incerteza expandida (U). A incerteza U é obtida multiplicando a incerteza u_c pelo fator de abrangência k , conforme a equação (2.11).

$$U(v_i) = k(v_i) u_c(v_i) \quad (2.11)$$

Onde:

U é a incerteza expandida;

k é o fator de abrangência.

O valor do fator de abrangência k é determinado pelo coeficiente t de *Student*, extraído da tabela da distribuição desta estatística, apresentado no Apêndice F. Sua determinação requer o conhecimento do valor da probabilidade (abrangência) desejada e do número de graus de liberdade efetivos (v_{eff}) da incerteza u_c . O valor de probabilidade comumente utilizado é 95 %. O v_{eff} é calculado pela equação (2.12).

$$v_{eff}(v_i) = \left[\frac{u_c^4(v_i)}{\frac{u_t(v_i)}{v_t} + \frac{u_B}{v_B}} \right] \quad (2.12)$$

Onde:

v_{eff} é o número de graus de liberdade efetivos da incerteza u_c ;

v_t é o número de graus de liberdade da incerteza u_t , $v_t = N - 2$;

v_B é o número de graus de liberdade da incerteza u_B , geralmente infinito,

exceto quando as informações estabelecem outro valor.

2.4.4 Elaboração da Curva de Erros

Uma ferramenta prática para se observar o comportamento dos sistemas de medição é a curva de erros. A curva de erros é formada por três linhas, conforme mostra a Figura 2.4. A linha central é a tendência estimada, a linha superior é a tendência estimada mais a incerteza expandida, e a linha inferior é a tendência estimada menos a incerteza expandida.

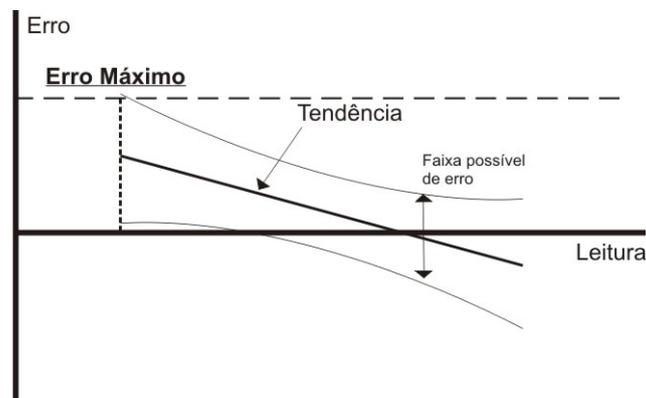


Figura 2.4: Modelo da Curva de Erros

A fim de exemplificar os procedimentos apresentados nesta seção, no Apêndice D, apresenta-se um exemplo da determinação da expressão da incerteza de medição.

2.5 Considerações Finais

Este capítulo apresentou os conceitos e as ferramentas a serem utilizadas ao longo deste trabalho. Vale ressaltar a seção 2.4 que expôs os procedimentos da expressão da incerteza de medição, os quais identificam o desempenho metrológico dos instrumentos de medição.

Os conhecimentos exibidos aqui são um resumo de uma grande série de trabalhos que abrangem a ciência da metrologia, cujas principais referências são o ISO-GUM (2008) e o VIM (2009).

Capítulo 3

Instrumentos de Medição da Qualidade da Energia Elétrica

3.1 Considerações Iniciais

O presente capítulo apresenta informações essenciais sobre os instrumentos voltados à medição dos parâmetros da QEE. Deste modo, inicia-se com a abordagem dos conceitos e das grandezas envolvidos na avaliação da qualidade da onda de tensão. Em seguida, são exibidas as diferentes classes de normas que abordam o tema da QEE. Os conceitos relacionados ao processo de monitoração da QEE são também explorados. O capítulo é então finalizado com a exposição da metodologia recomendada pela IEC para a quantificação dos parâmetros da QEE.

3.2 Qualidade da Energia Elétrica

A Qualidade da Energia Elétrica sempre foi objeto de preocupação por parte das concessionárias e também de seus consumidores (MERTENS *et al.*, 2009). Inicialmente, a preocupação restringia-se quase que exclusivamente aos níveis de continuidade do fornecimento de energia no sistema elétrico. Com a inovação das novas tecnologias, as cargas dos consumidores estão cada vez mais dependentes de circuitos digitais, o que as torna muito sensíveis às mínimas variações no fornecimento de eletricidade. Por esta razão, a abordagem de qualidade da energia tem-se diversificado. Varias fontes expressam diferentes conflitos entre as definições da QEE, por exemplo, a IEEE-100-1996 destaca que “a QEE é o conceito de alimentação e aterramento dos equipamentos ligados o sistema sobre uma abordagem da operação segura e adequada do equipamento em questão”. Contudo, este conceito está relacionado à performance do equipamento, impossibilitando uma avaliação da qualidade

da onda. Desse modo, objetivando quantificar e mensurar o desempenho do sistema de potência, a IEC 61000-4-30 exprime que “a QEE são características da eletricidade em um ponto do sistema elétrico, avaliadas em comparação a um conjunto de parâmetros técnicos de referência”.

3.2.1 Parâmetros da Qualidade da Energia Elétrica

Há alguns anos, certas grandezas foram reconhecidas como parâmetros da QEE. Estes parâmetros quantificam a QEE em um ponto de monitorização da rede. Diversas normas categorizam os parâmetros em duas categorias, a saber, regime permanente e regime transitório (BOLLEN; GU, 2006). Os parâmetros de regime permanente são fenômenos estacionários ou quase estacionários que requerem medição ininterrupta. Por outro lado, os parâmetros de regime transitórios são distúrbios repentinos com começo e fim, e capazes de alterar a características permanentes da forma de onda (AXELBERG, 2007). A seguir, têm-se os parâmetros da QEE (BOLLEN; GU, 2006):

- Parâmetros de Regime Permanente:
 - Frequência elétrica;
 - Magnitude da tensão elétrica;
 - Flutuação de tensão;
 - Cortes de Tensão;
 - Desequilíbrio de tensão;
 - Distorção na forma de onda.

- Parâmetros de Regime Transitório:
 - Interrupções;
 - Afundamentos;
 - Elevações;
 - Transitórios.

3.3 Normas da Qualidade da Energia Elétrica

As normas desenvolvidas no âmbito da QEE estão focadas nos seguintes objetivos (IGLESIAS; MCEACHERN, 2007):

- Exibição dos níveis de emissão e imunidade para diferentes classes de equipamentos (IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3)

- Descrição e categorização dos diferentes parâmetros (EN 50160, PRODIST módulo 8, etc.); ;
- Apresentação de técnicas e métodos de medição (IEC 61000-4-30).

Duas classes diferentes de normas são necessárias para a medição e a verificação da QEE: as normas de técnicas e métodos de medição e as normas de descrição e categorização dos diferentes parâmetros. A Figura 3.1 mostra a relação entre as normas de medição e as normas de verificação da QEE (AXELBERG, 2007).

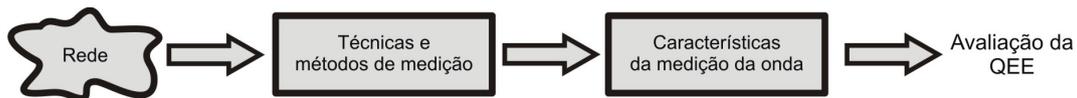


Figura 3.1: Classes das normas voltadas à QEE

As técnicas e métodos da medição mencionados na primeira etapa da Figura 3.1 estão relacionados à monitoração da QEE. Já as características da medição da onda avaliam sua qualidade. Para a padronização das técnicas e métodos da medição dos parâmetros da QEE, a *International Electrotechnical Commission* (IEC) oferece a norma IEC 61000-4-30, adotada no Brasil como NBR IEC 61000-4-30. Para a avaliação da características da onda, o Brasil não adota nenhuma norma internacional. Entretanto, tem-se homologado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), o módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST).

3.3.1 Sumário de Normas da QEE

A seguir, são apresentadas as normas mais representativas da QEE. O presente tópico é dividido em órgãos internacionais e órgãos brasileiros.

As normas/orgãos selecionadas para exposição nesta seção serão expostas segundo seus conteúdos. A ideia é itemizar de forma sucinta os aspectos abordados em cada órgão/documento.

3.3.1.1 Normalização Internacional

- **International Electrotechnical Commission – IEC Series 61000**

Parte 1: Geral;

Parte 2: Ambiente;

Parte 3: Limites;

Parte 4: Técnicas de medição e ensaio;

Parte 5: Instalação e técnicas de mitigação; e

Parte 6: Normas genéricas.

- **Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE**

519 – 1992 Recomendações práticas e requerimentos para controle de harmônicas na rede;

1159 – 1995 Recomendações práticas para a monitoração da QEE;

1159.1 Guia para requerimentos de gravação e aquisição de dados para a caracterização da QEE (em desenvolvimento);

1453 – 2004 Recomendações práticas para a medição e limites da flutuação da tensão associados à cintilação luminosa em sistemas de corrente alternada.

1959 – 2000 Definições padronizadas para a medição dos parâmetros da QEE sobre condições senoidais, não senoidais, equilibradas ou desequilibradas.

- **European Standardization in the area of Electrical Engineering – CENELEC**

EN 50160 Características da tensão elétrica aplicada em sistemas de distribuição.

3.3.1.2 Normalização Brasileira

- **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**

Modulo 8 Qualidade da Energia Elétrica

- **Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT**

NBR IEC 61000-4-30 Compatibilidade eletromagnética - parte 4-30: Técnicas de medição e ensaio - métodos de medição de qualidade da energia.

3.4 Monitoração da Qualidade da Energia Elétrica

Um processo de monitoração é constituído por diferentes etapas, que variam de acordo com a grandeza em investigação. O processo da monitoração da QEE é composto pelos estágios de dados, informação, conhecimento e entendimento (Vide Figura 3.2.) (BOLLEN; GU, 2006). Os dados tratam das amostras da forma de onda. A informação corresponde às características extraídas após o processamento dos

dados que, por sua vez, quantifica os parâmetros da QEE. Com a ajuda de ferramentas especializadas e da análise da rede, a informação torna-se conhecimento. E finalmente, a obtenção do conhecimento minimamente necessário, culmina em entendimento.

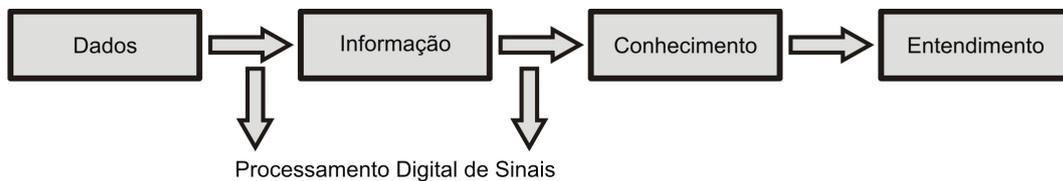


Figura 3.2: Processo da monitoração da QEE fonte (BOLLEN; GU, 2006)

O processo, descrito na Figura 3.2, envolve uma forma de processamento de sinais que até a poucos anos era caro e pretencioso para a monitoração da QEE (ALEX; ANDREAS, 2010). Hoje, dado o desenvolvimento tecnológico, diversas gamas de instrumentos voltados à monitoração da QEE são acessíveis ao consumidor (AIELLO *et al.*, 2004). Estes instrumentos, denominados neste trabalho de “analisadores da QEE”, realizam os dois primeiros passos do processo de monitoração da Figura 3.2. Restam ao avaliador das informações, as etapas de conhecimento e o entendimento.

3.4.1 Sistema de Medição da Qualidade da Energia Elétrica

O sistema de medição da QEE é constituído principalmente pela seguinte cadeia de elementos: transdutor, conversor análogo digital (A/D) e a unidade de processamento digital de sinais (PDS). Esta cadeia pode-se observada na Figura 3.3 (IEC 61000-4-30, 2008).

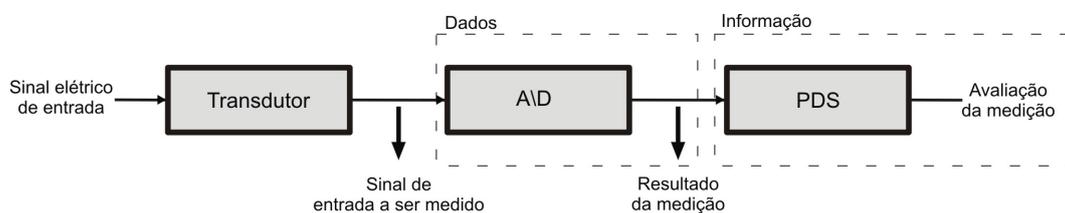


Figura 3.3: Sistema de medição da QEE

De modo geral, o transdutor é um equipamento alheio ao analisador da QEE, cuja função é prover uma tensão ou uma corrente adequada para o processamento do sinal. Este elemento pode ser eletromagnético, resistivo, capacitivo, etc., e deve ser escolhido em função da capacidade em refletir o sinal original (IEC-60044, 1931). O A/D e a unidade de PDS formam a estrutura básica da construção de qualquer

analisador da QEE, onde os métodos de medição são programados neste segundo estágio. Em um detalhamento da cadeia de medição da Figura 3.3, distingue-se que o elemento A/D e a unidade PDS realizam as etapas de dados e informação da monitoração da QEE, respectivamente.

3.5 Analisador da Qualidade da Energia Elétrica

A Figura 3.4 exibe um esquema do sistema de medição do analisador da QEE. Este sistema possui duas tarefas principais: a adaptação do sinal e a estimação dos parâmetros de regime permanente e transitório.

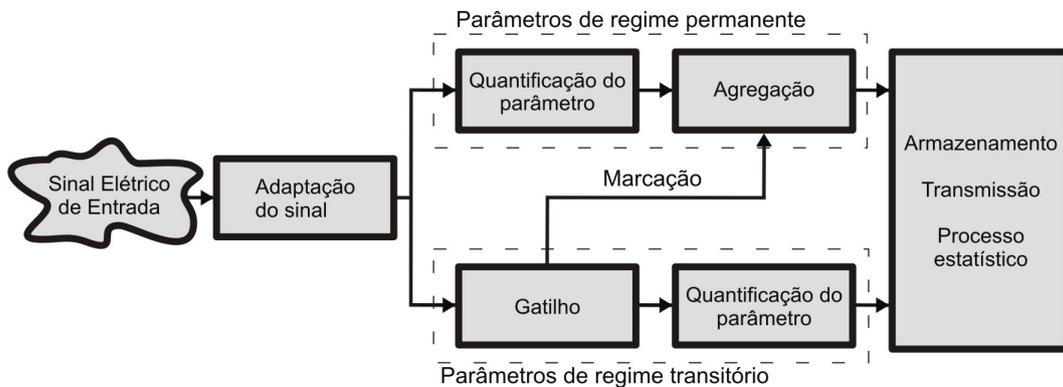


Figura 3.4: Sistema de medição do analisador da QEE

A primeira tarefa do analisador é a adaptação do sinal de entrada para o processamento. Esta tarefa é representada pelo primeiro bloco da Figura 3.4. Neste processo, estão incluídos os filtros analógicos, a amostragem, a digitalização e os filtros digitais (BOLLEN; GU, 2006). Já a segunda tarefa do analisador, no que diz respeito aos parâmetros de regime permanente, é composta por algoritmos para a quantificação e agregação das grandezas da QEE. Devido à natureza dos parâmetros de regime transitório, deve-se monitorar continuamente o sistema. Caso eles estejam presentes no sistema, devem ser adequadamente identificados, e em seguida, quantificados. Além disso, faz-se necessária a marcação de alguns parâmetros da QEE, pelas razões que serão mencionados a seguir no tópico marcação (3.6.1.3). O resultado desta monitoração culmina em dados e informações que caracterizam a rede elétrica. Alguns analisadores armazenam estes valores e outros os transmitem. Há também aqueles que oferecem a possibilidade de visualização de algumas estatísticas.

Os analisadores mais avançados realizam monitoração contínua da rede elétrica, e executam a medição simultânea dos parâmetros da QEE. Desse modo, eles pos-

suem protocolos de comunicação *online*, que abordam aspectos como o emprego de modem, ethernet, RS-485, etc., capazes de transmitir informação sem a necessidade de interromper a medição. Estas e outras características que dependem da especificidade do aparelho, não são abordados no presente trabalho.

O fato da monitoração da QEE estar se tornando uma prática cada vez mais comum e relevante, tanto para os operadores da rede como para os consumidores, tem incentivado as indústrias especializadas na produção de instrumentos de medição da energia elétrica a disponibilizar no mercado uma significativa quantidade de modelos de analisadores da QEE (IGLESIAS; MCEACHERN, 2007). Visando-se definir e padronizar as medições provenientes dos diversos analisadores, e em consequência, reduzir as discrepâncias entre suas leituras, a IEC publicou a IEC 61000-4-30 “*Part 4-30. Testing and measurement techniques - Power quality methods*” (NEUMANN, 2007).

3.6 Quantificação dos Parâmetros da QEE com base na IEC 61000-4-30

A IEC 61000-4-30 (2008) é o primeiro documento que abrange as técnicas e os métodos de medição da maioria dos parâmetros da QEE (AXELBERG, 2007). Nesse documento, têm-se descritos como devem ser os cálculos dos parâmetros da QEE.

Em função dos seus objetivos, a IEC 61000-4-30 é também composta por três capítulos que se destacam, a saber:

- Aspectos gerais: exhibe as técnicas para a medição dos parâmetros da QEE;
- Parâmetros da QEE: explica os algoritmos de cálculo das grandezas relacionadas ao tema, e expõe os requisitos metrológicos do analisador;
- Faixa de influência e verificação em regime permanente: a norma exhibe uma série de exigências e (ou) sugestões que culminam em uma série de recomendações para avaliação do desempenho dos analisadores.

Nas próximas seções, são apresentados os principais tópicos da mencionada norma para sistemas de alimentação em corrente alternada a 60 Hz.

3.6.1 Aspectos gerais

Neste capítulo, a norma estabelece conceitos e definições a serem empregados para a quantificação dos parâmetros da QEE. São eles:

- Conceitualização das diferentes classes de métodos de medição dos parâmetros da QEE, a saber, classe A, classe S e classe B;
- Declaração dos diferentes intervalos de tempo de medição: 12 ciclos, 180 ciclos, 10 minutos e 2 horas;
- Aplicação da ferramenta de marcação (*flagged*) nos parâmetros de regime permanente.

3.6.1.1 Métodos de medição Classe A, Classe S e Classe B

Para cada parâmetro da QEE medido, três classes são definidas (A, S, e B). Para cada classe, estabelece-se os métodos de medição e as exigências de desempenho.

Classe A. O método de medição classe A é usado onde medições exatas são necessárias, por exemplo, para aplicações contratuais que podem exigir soluções de disputas. A diretriz cita: “Qualquer medição de um parâmetro executada com dois instrumentos diferentes que obedecem as exigências da classe A, ao medir os mesmos sinais, deve produzir resultados iguais dentro da incerteza especificada para o parâmetro”.

Classe S. O método de medição classe S é usado para aplicações estatísticas, tais como pesquisas ou campanhas de medição. Embora, utilize intervalos equivalentes de medição da classe A, a os requisitos metrológicos destes analisadores são menores.

Classe B. O método classe B é definido com a finalidade de se evitar a continuidade da fabricação de projetos obsoletos de muitos instrumentos existentes. Esta classe é especificada pelas características oferecidas pelo fabricante. Neste trabalho, esta classe não é tratada.

Os fabricantes, para a comercialização dos seus analisadores, devem declarar a classe dos métodos que realiza o medidor, informando os requisitos e acessórios necessários para a atender a classe.

Devido às exigências dos métodos, observa-se que os analisadores classe A são superiores aos instrumentos classe S em refletir a realidade da QEE. Contudo, o valor

de equipamento não está estritamente ligado a esta aptidão, já que tarefas adicionais podem ser adicionadas ao equipamento, incrementando o preço do analisador.

3.6.1.2 Intervalos de medição

Os intervalos de medição adotados na norma são 12 ciclos, 180 ciclos, 10 minutos e 2 horas. Estes são diferenciados pelas seguintes especificações: agregação, lacuna e sincronização.

Agregação. Os algoritmos de agregação para o cálculo das medições dos intervalos de tempo de 180 ciclos, de 10 minutos e de 2 horas são descritos pelas equações (3.1), (3.2) e (3.3), respectivamente. Os valores de entrada destas agregações são as medições do intervalo de tempo de 12 ciclos.

$$C_{180} = \sqrt{\frac{1}{N_{180}} \sum_{i=1}^{N_{180}} C_{12(i)}^2} \quad (3.1)$$

$$C_{10min} = \sqrt{\frac{1}{N_{10min}} \sum_{i=1}^{N_{10min}} C_{12(i)}^2} \quad (3.2)$$

$$C_{2h} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} C_{10min(i)}^2} \quad (3.3)$$

Onde:

C é o valor do intervalo do tempo da medição;

N_{180} é o número de valores de entrada para a agregação dos 180 ciclos; e

N_{10min} é o número de valores de entrada para a agregação dos 10 minutos.

Os valores N_{180} e N_{10min} dependem das lacunas permitidas pela classe do instrumento. Observa-se que um algoritmo de agregação possível é a média aritmética dos valores de entrada. O porquê da adoção do algoritmo da média quadrática não é identificado na norma.

Lacunas. As lacunas representam o número mínimo de valores de entrada a serem utilizados no algoritmo de agregação. O método de medição classe A não permite lacunas. Isto implica que o valor de N_{180} da equação (3.1) é igual a 15, e o valor N_{10min} da equação (3.2) é igual ao número de intervalos de tempo de 12 ciclos inteiros da onda no período dos 10 minutos da agregação. Como o sistema não permanece constantemente a uma frequência de 60 Hz, N_{10min} é aproximadamente igual a três mil ($N_{10min} \cong 3000$). Entretanto, o método de medição classe S admite lacunas

para a quantificação dos parâmetros de desequilíbrio de tensão, harmônicas e inter-harmônicas. Estas lacunas devem contemplar no mínimo um intervalo de tempo de medição de 12 ciclos a cada 60 ciclos do sinal.

Sincronização. A norma requisita uma sincronização do tempo do intervalo de medição, dado que as leituras dos parâmetros são realizadas de acordo com a frequência do sistema, e os valores devem ser indicados em horários universais. Desta forma, a sincronização da classe A deve ser feita a cada 10 minutos do relógio do tempo real (RTC), com possibilidade de se ter sobreposição nos intervalos de tempo de 180 ciclos e 10 minutos. Tal sobreposição é dada pela variação da frequência do sistema. Já para o método classe S, a sincronização é permitida, mas não é exigida. O erro desta sincronização deve ser menor ou igual a 16 ms ou 1 s para um período de 24 h, isto é, independente do intervalo do tempo de medição.

3.6.1.3 Marcação (*flagged*)

Se há a presença de afundamentos, de elevações e de interrupções na medição, para obter resultados confiáveis, a marcação de algumas grandezas de QEE se faz necessária. O conceito de marcação evita que um único evento seja considerado mais de uma vez em diferentes parâmetros.

O conceito de marcação de dados é aplicado para os métodos de medição classe A e classe S, durante a medição de frequência, magnitude de tensão, flutuação de tensão (cintilação), desequilíbrio de tensão, tensões harmônicas, tensões inter-harmônicas, sinais de comunicação e medição de parâmetros de desvio superior e inferior. As amostras destes parâmetros sinalizadas pela ferramenta de marcação, não devem ser excluídas dos algoritmos de agregação.

3.6.2 Parâmetros da Qualidade da Energia Elétrica

A IEC 61000-4-30, em sua segunda edição, exhibe os métodos e as técnicas de medição de 12 diferentes parâmetros associados à QEE. Estes parâmetros são:

- Frequência elétrica;
- Magnitude da tensão elétrica;
- Cintilação (*Flicker*);
- Afundamentos e elevações de tensão
- Interrupções de tensão;
- Tensões transitórias;
- Desequilíbrio de tensão;

- Tensões harmônicas;
- Tensões inter-harmônicas;
- Comunicação de sinais em tensão através da rede elétrica;
- Mudanças rápidas de tensão;
- Medições de parâmetros de desvio superior e desvio inferior.

No entanto, os parâmetros de tensões transitórias e de mudanças rápidas de tensão, são tratados pela norma em seções informativas.

A seguir, são exibidos as técnicas e os métodos fundamentais para a medição dos parâmetros compreendidos na mencionada norma.

3.6.2.1 Frequência Elétrica

A medição da frequência elétrica é definida como o número de ciclos inteiros contados durante o intervalo de 10 s, dividido pela duração total dos ciclos inteiros. Este método, o qual não difere entre as classes A e S, deve contemplar os seguintes requisitos:

- A frequência deve ser obtida a cada 10 segundos;
- Tensões harmônicas e inter-harmônicas devem ser atenuadas;
- Cada medição deve começar a cada 10 s do RTC. O erro de tempo do início da medição deve ser menor ou igual a 16 ms.
- A incerteza máxima permitida é igual a 10 mHz e 50 mHz na faixa de medição de 51 a 69 Hz para as classes A e S, respectivamente;
- Para medições em sistemas polifásicos, deve-se designar o canal de referência.

Para uma frequência de 60 Hz no período de 10 s, empregando-se este método de medição, têm-se 600 ciclos. Se a frequência fosse igual a 59,99 Hz obtém-se 599 ciclos inteiros no intervalo dos 10 s, com uma duração total igual a 9,984 997 s. Então, para se determinar o valor da frequência, deve-se desenvolver a equação (3.4).

$$f = \frac{N_c}{T_c} = \frac{599}{9,984\,997} = 59,99 \text{ Hz} \quad (3.4)$$

Onde:

N_c é o número de ciclos inteiros no intervalo dos 10 s;

T_c é o tempo de duração dos N_c .

3.6.2.2 Magnitude de Tensão elétrica

O método de medição da magnitude da tensão elétrica é o valor eficaz das amostras extraídas do intervalo de tempo dos 12 ciclos, contemplando-se os seguintes requisitos:

- O método não difere entre as classes A e S;
- Cada intervalo de tempo de 12 ciclos deve ser contíguo e não sobrepor os intervalos adjacentes, com exceção à sincronização dos intervalos;
- O valor eficaz inclui, por definição, harmônicas, inter-harmônicas, sinas de telecomando, etc.;
- Devem ser efetuados os algoritmos de agregação sem lacunas para as duas classes;
- A incerteza máxima permitida para a classe A é igual a 0,1 % da tensão declarada de alimentação (U_{din}) na faixa de medição de 10 % a 150 % da U_{din} ;
- A incerteza máxima permitida para a classe S é igual a 0,5 % da U_{din} na faixa de medição de 20 % a 120 % da U_{din} ;

Vale ressaltar que a norma não menciona a quantidade de amostras que devem ser extraídas por intervalo de tempo (taxa de amostragem).

3.6.2.3 Flutuação de Tensão (Cintilação)

A técnica utilizada para medição da cintilação está na norma IEC 61000-4-15 (2002). O método baseia-se em modelos estatísticos da percepção humana frente a flutuações de tensão. Ele é composto por cinco estágios, a saber:

Estágio 1: adaptação da tensão de entrada;

Estágio 2: demodulação do sinal de entrada;

Estágio 3: ponderação de frequência;

Estágio 4: média quadrática;

Estágio 5: tratamento estatístico.

Existem três indicadores de severidade da cintilação. O primeiro é o denominado *Output 5*, representa a sensação instantânea da cintilação. O *Pst* (*short-term probability*), o segundo indicador, é um cálculo estatístico que apresenta uma leitura

a cada 10 minutos, cujo valor de entrada é o indicador *Output 5*. Já o terceiro indicador é o Plt (*long-term probability*). Trata-se de uma média cúbica de 12 valores consecutivos de Pst, calculada a cada janela de tempo de 2 horas.

A incerteza máxima permitida desta grandeza é igual ao 5 % da medição, para ambas as classes. No entanto, a faixa de avaliação exigida para a classe A é de 0,2 até 10 Pst, e de 0,4 até 4 Pst para a classe S.

3.6.2.4 Afundamentos e Elevações de Tensão

Segundo a IEC 61000-4-30, um afundamento de tensão inicia quando a tensão eficaz (U_{rms}) está abaixo do limiar de preestabelecido para afundamento, e termina quando a U_{rms} for igual ou superior ao mesmo mais a tensão de histerese. Uma elevação tem início quando a U_{rms} ultrapassa o limiar de elevação de tensão e termina quando a U_{rms} for igual ou menor ao referido patamar menos a tensão de histerese. Para o método de medição classe A, a U_{rms} é definida como o valor eficaz de tensão atualizado a cada meio-ciclo ($U_{rms(1/2)}$). Para o método classe S, a U_{rms} pode ser determinada de forma semelhante à classe A, ou ainda, permite-se que o critério do valor eficaz de tensão seja atualizado a cada ciclo ($U_{rms(1)}$).

O $U_{rms(1/2)}$ é o valor eficaz da tensão de 1 ciclo, começando no cruzamento por zero da componente fundamental, e atualizado a cada meio-ciclo. O cálculo do $U_{rms(1)}$ é determinado e atualizado a cada 1 ciclo. No entanto, a norma não especifica o início deste ciclo.

Os afundamentos e as elevações de tensão são caracterizados pelas grandezas da duração e da amplitude da tensão. A duração é a diferença entre o início e o final do parâmetro, com uma incerteza máxima permitida de 1 ciclo para a classe A, e de 2 ciclos para a classe S. A amplitude será o U_{rms} mínimo ou máximo do afundamento ou da elevação, respectivamente. A incerteza máxima permitida para esta grandeza é igual a 0,2 % da U_{din} para a classe A, e 1,0 % da U_{din} para o método classe S.

3.6.2.5 Interrupção de Tensão

Segundo a IEC 61000-4-30, uma interrupção de tensão inicia quando a U_{rms} decresce abaixo do limiar de interrupção e termina quando a U_{rms} for igual ou superior ao mesmo mais a tensão de histerese. O valor da U_{rms} é calculado com base aos valores de $U_{rms(1/2)}$ e de $U_{rms(1)}$, conforme o estabelecido no tópico anterior.

A interrupção de tensão é caracterizada pela sua duração. O valor da duração é a diferença entre o início e o final da interrupção, com uma incerteza máxima permitida de 1 ciclo para a classe A, e de 2 ciclos para a classe S.

3.6.2.6 Desequilíbrio de Tensão

O desequilíbrio de tensão é caracterizado pelos fatores de desequilíbrio de sequência negativa (u_-) e de sequência zero (u_o), determinados pelas equações (3.5) e (3.6), respectivamente. Os valores de sequência positiva (U_+), negativa (U_-) e zero (U_o), necessários para se determinar os fatores de desequilíbrio, são calculados usando o método das componentes simétricas, equação (3.7). Os fasores de tensão (V_a , V_b e V_c) a serem empregados no método das componentes simétricas, são as componentes fundamentais das tensões de entradas fase-neutro. Estas são determinadas considerando o intervalo de tempo de 12 ciclos. Caso as tensões de entrada sejam fase-fase, é permitido utilizar o método do CIGRE. Porém, neste caso, não será utilizado o fator u_o . As incertezas permitidas para os fatores u_- e u_o são iguais a 0,15 % e 0,3 % para a classe A e S, respectivamente, para a faixa de medição de 1 % até o 5 %. Por último, a norma cita: “se o método de medição utilizado é classe S, o cálculo do fator u_o é facultativo e não mandatório”.

$$u_- = \left| \frac{U_-}{U_+} \right| \times 100 \quad (3.5)$$

$$u_o = \left| \frac{U_o}{U_+} \right| \times 100 \quad (3.6)$$

$$\begin{bmatrix} U_o \\ U_+ \\ U_- \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Onde:

a é o operador de *fortescue* ($a = 1 \angle 120^\circ$).

3.6.2.7 Tensões Harmônicas

A técnica utilizada para a medição das tensões harmônicas é a norma IEC 61000-4-7 (2002). O método baseia-se na transformada discreta de Fourier (DTF). Trata-se de agrupações dos valores dos coeficientes de Fourier determinados com uma base de tempo igual a 12 ciclos da frequência do sistema. Na verdade, a norma IEC 61000-4-7 (2002) descreve dois algoritmos de agrupações. Um é para os subgrupos de harmônicas ($G_{sg,n}$) e o outro é para os grupos de harmônicas ($G_{g,n}$). Estes algoritmos de agrupação são utilizados de acordo com a classe do método empregado na quantificação das tensões harmônicas.

Classe A. A quantificação das tensões harmônicas deve ser feita pelo algoritmo voltado para os $G_{sg,n}$, até pelo menos a 50ª harmônica. A incerteza máxima permitida (u_{max}) encontra-se especificada pela equação (3.8). A faixa de medição deve estar compreendida entre 10 % e 200 % do nível de compatibilidade da classe 3, declarado na norma IEC 61000-2-4 (2002). A distorção harmônica total (DHT) deve ser determinada com base nos valores $G_{sg,n}$. No entanto, antes de aplicar o algoritmo da quantificação das tensões harmônicas, o sistema de medição deve possuir um filtro *anti-aliasing* com as características detalhadas pela norma IEC 61000-4-7 (2002).

$$u_{max} = \begin{cases} 5 \% U_m & \text{se } U_m \geq 1 \% U_{din} \\ 0,05 \% U_{din} & \text{se } U_m < 1 \% U_{din} \end{cases} \quad (3.8)$$

Onde:

U_m é a tensão da m-ésima ordem harmônica.

Classe S. A quantificação das tensões harmônicas deve ser feita para os $G_{sg,n}$ ou para os $G_{g,n}$, até pelo menos a 40ª harmônica. A incerteza máxima permitida (u_{max}) encontra-se especificada pela equação (3.9). A faixa de medição deve estar compreendida entre 10 % e 100 % do nível de compatibilidade da classe 3, declarado na norma IEC 61000-2-4 (2002). A DHT deve ser determinada com base nos valores $G_{sg,n}$ ou $G_{g,n}$. Neste método, a utilização do filtro *anti-aliasing* é opcional.

$$u_{max} = \begin{cases} 10 \% U_m & \text{se } U_m \geq 3 \% U_{din} \\ 0,30 \% U_{din} & \text{se } U_m < 3 \% U_{din} \end{cases} \quad (3.9)$$

3.6.2.8 Tensões Inter-Harmônicas

A técnica utilizada para a medição das tensões inter-harmônicas é a norma IEC 61000-4-7 (2002). A base desta técnica não difere ao método de quantificação usado nas tensões harmônicas para a classe A. No entanto, a norma não especifica o algoritmo de quantificação desta grandeza na classe S.

3.6.2.9 Sinais de Comunicação Através da Rede Elétrica

Somente a classe A exhibe uma técnica para a quantificação desta grandeza. Trata-se de uma verificação do nível de tensão do sinal de comunicação para uma frequência portadora especificada pelo usuário. Se esta frequência está acima de 3 kHz, deve-se observar a norma IEC 61000-3-8. Deve-se quantificar o valor eficaz da tensão do sinal de comunicação à frequência escolhida de transmissão. O usuário deve ter a facilidade de selecionar um limiar de detecção acima de 0,3 % da U_{din} , bem como, um

tempo de monitoração de até 120 s. A faixa de medição deve estar compreendida entre 0 % e o 15 % da U_{din} . A incerteza máxima permitida (u_{max}) encontra-se especificada pela equação (3.10).

$$u_{max} = \begin{cases} 5 \% \times U_t & \text{se } 3 \% \leq U_t \leq 15 \% \times U_{din} \\ 0,15 \% \times U_{din} & \text{se } 1 \% \leq U_t < 3 \% \times U_{din} \\ \infty & \text{se } U_t < 1 \% \times U_{din} \end{cases} \quad (3.10)$$

Onde:

U_t é o valor do sinal de comunicação transmitida.

3.6.2.10 Parâmetros de desvio superior e desvio inferior

A técnica exibida para a quantificação destes parâmetros é somente estabelecida nos métodos de medição classe A. Os parâmetros de desvio superior (U_{sup}) e de desvio inferior (U_{inf}) são quantificados conforme as equações (3.11) e (3.12), respectivamente, para os diferentes intervalos de tempo. Os valores de $U_{rms-sup(i)}$ e $U_{rms-inf(i)}$, necessários para calcular os valores de U_{sup} e U_{inf} , são determinados pelas as equações (3.13) e (3.14). A incerteza e a faixa de medição dos parâmetros de U_{sup} e U_{inf} são congruentes com os requisitos metrológicos exigidos na grandeza da magnitude da tensão elétrica.

$$U_{sup} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N U_{rms-sup(i)}^2}{N}} - U_{din}}{U_{din}} \times 100 \text{ [%]} \quad (3.11)$$

$$U_{inf} = \frac{U_{din} - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N U_{rms-inf(i)}^2}{N}}}{U_{din}} \times 100 \text{ [%]} \quad (3.12)$$

$$U_{rms-sup(i)} = \begin{cases} U_{din} & \text{se } U_{12(i)} < U_{din} \\ U_{12(i)} & \text{se } U_{12(i)} \geq U_{din} \end{cases} \quad (3.13)$$

$$U_{rms-inf(i)} = \begin{cases} U_{din} & \text{se } U_{12(i)} > U_{din} \\ U_{12(i)} & \text{se } U_{12(i)} \leq U_{din} \end{cases} \quad (3.14)$$

Onde:

U_{12} é o valor da magnitude da tensão quantificado no intervalo do tempo de 12 ciclos; e

N é o número total de intervalos de tempo de 12 ciclos durante o intervalo de agregação.

3.6.3 Faixa das Grandezas de Influência e Verificação em Regime Permanente

Conforme mencionado no início desta seção, o último capítulo da norma expõe os requisitos metrológicos dos sistema de medição da QEE sob a “influência” de outras grandezas, e realiza uma série de recomendações para verificar o desempenho dos analisadores da QEE na medição dos parâmetros em regime permanente.

Faixa das grandezas de Influência. A medição de uma parâmetro específico pode ser gravemente afetada pela ocorrência de uma perturbação (grandezas de influência) no sinal elétrico de entrada. O resultado do parâmetro em medição deve estar dentro da incerteza de medição especificada na Tabela 3.1, quando todos os demais parâmetros estão dentro de sua faixa da grandeza de influência, dada na Tabela 3.2.

Verificação do desempenho em regime permanente. Nesta seção da IEC 61000-4-30, são abordados ensaios que têm como objetivo verificar o desempenho dos sistemas de medição nos parâmetros de regime permanente da QEE. Apesar disso, a norma sugere a elaboração e a execução de testes adicionais.

3.7 Considerações Finais

Este capítulo iniciou com uma síntese sobre o conceito da QEE e os critérios para a monitoração da mesma em função de seus parâmetros de regime permanente e transitório. Em seguida, foi realizado um resumo das principais normas nacionais e internacionais que abrangem os temas de caracterização dos fenômenos associados à energia elétrica, e apresentação dos métodos de medição dos parâmetros da QEE. Para este último tópico, a nível mundial, é utilizada a IEC 61000-4-30 reconhecida no Brasil como a NBR IEC 61000-4-30.

Tabela 3.1: Requisitos metrológicos dos parâmetros da QEE conforme IEC

Parâmetro	Classe	Faixa	Incerteza
Frequência Elétrica	A	51 Hz ~ 69 Hz	10 mHz
	S	51 Hz ~ 69 Hz	50 mHz
Magnitude da Tensão Elétrica	A	10 % ~ 150 % U_{din}	0,1 % U_{din}
	S	20 % ~ 120 % U_{din}	0,5 % U_{din}
Flutuação da Tensão Elétrica	A	0,2 ~ 10 Pst	5 % da Leitura
	S	0,4 ~ 4 Pst	5 % da Leitura
Afundamentos e Elevações de Tensão	A	NA	Amplitude - 0,2 % da U_{din}
			Duração - 1 ciclo
	S	NA	Amplitude - 1 % da U_{din}
			Duração - 2 ciclos
Interrupções	A	NA	Duração - 1 ciclo
	S	NA	Duração - 2 ciclos
Desequilíbrio de Tensão Elétrica	A	1 % ~ 5 % da u_-	0,15 %
		1 % ~ 5 % da u_o	
	S	1 % ~ 5 % da u_-	0,30 %
		1 % ~ 5 % da u_o^1	
Tensões Harmônicas	A	10 % ~ 200 % Classe 3 IEC 61000-2-4	5 % U_m se $U_m \geq 1 \% U_{nom}$ 0,05 % U_{nom} se $U_m < 1 \% U_{nom}$
	S	10 % ~ 100 % Classe 3 IEC 61000-2-4	10 % U_m se $U_m \geq 3 \% U_{nom}$ 0,30 % U_{nom} se $U_m < 3 \% U_{nom}$
Tensões Inter-Harmônicas	A	10 % ~ 200 % Classe 3 IEC 61000-2-4	5 % U_m se $U_m \geq 1 \% U_{nom}$ 0,05 % U_{nom} se $U_m < 1 \% U_{nom}$
	S	EPF	EPF
Sinais de Comunicação Através da Rede	A	0 % ~ 15 % U_{din}	veja equação (3.10)
	S	EPF	EPF
Parâmetros Desvio Superior e Inferior	A	NA	0,1 %
	S	NR	NR

¹ A medição de sequência zero é opcional para instrumentos Classe S.

NA = Não aplica.

EPF = Especificado pelo fabricante.

NR = Não requerido.

Tabela 3.2: Faixas das grandezas de influência sobre os parâmetros da QEE conforme a IEC

Parâmetro	Classe	Faixa das grandezas de influência
Frequência Elétrica	A	51 Hz ~ 69 Hz
	S	51 Hz ~ 69 Hz
Magnitude da Tensão Elétrica	A	10 % ~ 200 % U_{din}
	S	10 % ~ 150 % U_{din}
Flutuação da Tensão Elétrica	A	0 ~ 20 Pst
	S	0 ~ 10 Pst
Afundamentos e Elevações	A	NA
	S	NA
Interrupções	A	NA
	S	NA
Desequilíbrio de Tensão Elétrica	A	0 % ~ 5 % da u_- , 0 % ~ 5 % da u_o
	S	0 % ~ 5 % da u_-
Tensões Harmônicas	A	200 % da classe 3 da IEC 61000-2-4
	S	200 % da classe 3 da IEC 61000-2-4
Tensões Inter-Harmônicas	A	200 % da classe 3 da IEC 61000-2-4
	S	200 % da classe 3 da IEC 61000-2-4
Sinais de comunicação Através da rede elétrica	A	0 % ~ 15 % da U_{din}
	S	0 % ~ 15 % da U_{din}
Parâmetros de Desvio Superior / Inferior	A	NA
	S	NA
Transitórios IEC 61180	A	6 kV pico
	S	NR
Transitórios Rápidos IEC 61000-4-4	A	4 kV pico
	S	NR

NA = Não aplica.

NR = Não requerido.

Capítulo 4

Metodologia para Avaliação do Desempenho Funcional de Instrumentos de Medição da Qualidade da Energia Elétrica

4.1 Considerações Iniciais

Para obter uma medida confiável e comparável é necessário estabelecer um processo de medição que apresente um erro plausível, e usar os métodos de quantificação indicados por normas e diretrizes. No cálculo dos parâmetros da QEE, esses aspectos técnicos e metrológicos são expostos na IEC 61000-4-30 (2008). Contudo, a correta implementação desses requerimentos nos medidores voltados para este emprego deve ser verificada. Desta forma, neste capítulo propõe-se uma metodologia para avaliação do desempenho funcional de instrumentos de medição da QEE com base no mencionado documento. Nesta metodologia é utilizado o ISO-GUM (2008) como ferramenta de avaliação. Este guia, reconhecido a nível mundial, exhibe os mecanismos matemáticos para a quantificação do desempenho metrológico de quaisquer sistema de medição.

A metodologia proposta é composta por testes de desempenho, questionários e ensaios laboratoriais que expressam a performance do instrumento de medição sob avaliação (IMA) para cada requerimento citado pela IEC 61000-4-30. Contudo, com o intuito de prover repetibilidade nos resultados, quatro cadernos são elaborados com os procedimentos de execução da mencionada metodologia.

4.2 Testes de Desempenho Funcional de Instrumentos de Medição da QEE

A IEC 61000-4-30 é dividida em capítulos, seções e subseções. Nesta norma, as subseções dos capítulos 4 e 5 representam aspectos a serem implementados ou respeitados na medição dos parâmetros da QEE. No presente trabalho, estes aspectos estão descritos e classificados como técnicos e metrológicos, conforme exposto na Tabela 4.1. Ressalta-se que os aspectos técnicos podem ser ou não diretamente relacionados com as grandezas da energia elétrica.

Na Tabela 4.1, observa-se um total de 32 aspectos solicitados pela norma para a medição dos 10 parâmetros da QEE. Dentre eles encontra-se o parâmetro “aspectos gerais”, que agrupa alguns requisitos empregados para a quantificação dos parâmetros da QEE.

Os aspectos solicitados pela IEC 61000-4-30 são avaliados em três tipos de testes, a saber, testes tipo Q (Questionários), testes tipo V (Verificação) e testes tipo C (Calibração).

4.2.1 Testes Tipo Q

Estes testes avaliam os aspectos técnicos que **não** estão relacionados diretamente com as grandezas da energia elétrica. Tais aspectos são verificados por meio de perguntas objetivas elaboradas segundo as exigências da norma.

4.2.2 Testes Tipo V

Os testes tipo V têm como objetivo verificar os aspectos técnicos relacionados diretamente com as grandezas da energia elétrica. Trata-se de comparações entre os resultados das medições do IMA e do sistema de medição padrão (SMP), quando o IMA é submetido a diversos sinais. Com base nas características dos sinais empregados, verifica-se se o IMA faz uso dos métodos e das técnicas de medição exigidas pela norma. Os sinais mudam de acordo com a avaliação em curso.

Os seguintes ensaios compõem os testes tipo V:

Tensões transitórias: Este teste objetiva avaliar a suportabilidade do IMA a tensões transitórias. Para isso, o IMA é exposto a ensaios com base nas indicações das normas IEC 61180 e IEC 61000-4-4.

Tabela 4.1: Aspectos técnicos e metrológicos solicitados pela IEC 61000-4-30 (2008)

Parâmetro	Aspecto	Item da norma	ATN	ATR	AM
Aspectos Gerais	Algoritmos de Agregação	4.4 e 4.5	–	–	✓
	Lacunas	4.5.3	–	–	✓
	Sincronização	4.5.3, 4.5.4 e 4.6	✓	–	–
	Marcação	4.7	✓	–	–
	Grandezas de influencia	6.1	–	–	✓
Frequência Elétrica	Atenuação de harmônicas	5.1.1	–	✓	–
	Intervalos de medição	5.1.1	✓	–	–
	Algoritmo de medição	5.1.1	–	✓	–
	Canal de referência	5.1.3	–	✓	–
	Faixa e incerteza de medição	5.1.2	–	–	✓
Magnitude da tensão elétrica	Intervalos de medição	5.2.1 e 5.2.4	✓	–	–
	Medição da Tensão eficaz	5.2.1	–	✓	–
	Faixa e incerteza de medição	5.2.2	–	–	✓
Flutuação de tensão	Intervalos de medição	5.3.1 e 5.3.2	✓	–	–
	Faixa e incerteza de medição	5.3.2	–	–	✓
Afundamentos e elevações de tensão	Método do cálculo do valor U_{rms}	5.4.1	–	✓	–
	Detecção do afundamento e da elevação	5.4.2.1 e 5.4.3.1	–	✓	–
	Indicação do valor da amplitude e da duração	5.4.2.2 e 5.4.3.2	✓	–	–
	Cálculo da tensão deslizante	5.4.4	✓	–	–
	Incerteza da medição da amplitude e da duração	5.4.5	–	–	✓
Interrupções de tensão	Método do Cálculo do valor U_{rms}	5.5.1	–	✓	–
	Detecção da interrupção	5.5.2	–	✓	–
	Indicação do valor da duração	5.5.2	✓	–	–
	Incerteza da medição da duração	5.4.5	–	–	✓
Desequilíbrio de tensão	Cálculo do fatores u_- e u_o	5.7.1	✓	–	–
	Cálculo por componentes simétricas	5.7.1	–	✓	–
	Intervalos de medição	5.7.1 e 5.7.4	✓	–	–
	Faixa e incerteza de medição	5.7.2	–	–	✓
Tensões harmônicas	Filtro <i>anti-aliasing</i>	5.8.1	–	✓	–
	Intervalos de medição	5.8.1 e 5.8.4	✓	–	–
	Faixa e incerteza de medição	5.8.2	–	–	✓
Tensões inter-harmônicas	Intervalos de medição	5.9.1 e 5.9.4	✓	–	–
	Faixa e incerteza de medição	5.9.2	–	–	✓
Sinais de comunicação através da rede elétrica	Métodos de medição	5.10.1	–	✓	–
	Tempo mínimo de gravação	5.10.1	✓	–	–
	Tensão limiar	5.10.1	✓	–	–
	Frequência de comunicação ajustável	5.10.1	✓	–	–
	Faixa e incerteza de medição	5.10.2	–	–	✓
Parâmetros de desvio superior ou inferior	Cálculo dos desvios superior e inferior	5.12.1	✓	–	–
	Algoritmo de cálculo	5.12.1	–	✓	–
	Intervalos de medição	5.12.1 e 5.12.3	✓	–	–
	Faixa e incerteza de medição	5.12.2	–	–	✓

ATN: Aspecto técnico não diretamente relacionado com as grandezas da energia elétrica

ATR: Aspecto técnico diretamente relacionado com as grandezas da energia elétrica

AM: Aspecto Metrológico

Atenuação de harmônicas: Este teste objetiva avaliar a atenuação de componentes harmônicas na medição da frequência elétrica. Para isso, submete-se o IMA a sinais com tensões harmônicas. Esses sinais possuem três ou mais cruzamentos por zero durante seu ciclo da f_{nom} .

Valor eficaz verdadeiro: Este teste tem como objetivo avaliar se o algoritmo implementado no cálculo da magnitude da tensão é o valor eficaz verdadeiro. Para isso, o IMA é submetido a formas de ondas não senoidais (ondas quadradas, triangulares, retificadas, etc.).

Componentes simétricas: Este teste tem o objetivo de avaliar se o algoritmo implementado no cálculo do desequilíbrio de tensão é o método das componentes simétricas ou do CIGRE. Para isso, o IMA é submetido a sistemas trifásicos que evidenciam, através dos resultados encontrados, se o método empregado para a quantificação do desequilíbrio é um dos exigidos pela norma.

Filtro anti-aliasing: Este teste tem o objetivo avaliar o filtro *anti-aliasing*. Para isso, o IMA é submetido a tensões harmônicas de ordem superior àquelas que ele consegue medir. Ressalta-se que o instrumento deve, pelo menos, fornecer leituras de até 50^a ordem para instrumentos classe A, e de até a 40^a ordem para a classe S.

Medição dos sinais de tensão da comunicação: Este método mede o nível do sinal de tensão em frequências portadoras especificadas pelo usuário. Para isso, o IMA é submetido a sinais de comunicação em diferentes frequências.

Medição de parâmetros de desvio superior e desvio inferior: Este teste tem o objetivo de verificar os métodos de medição dos parâmetros de desvio superior e desvio inferior. Para isso, o IMA é submetido a vários níveis de tensão acima e abaixo da U_{din} .

4.2.3 Testes Tipo C

Os testes tipo C têm o objetivo de verificar os requerimentos metrológicos. Trata-se da estimação dos erros de medição de acordo com os procedimentos de calibração, quando da quantificação de um determinado parâmetro da QEE. Os erros são determinados na faixa de medição requerida pela norma.

As características dos sinais aplicados sobre o IMA permitem identificar o seu desempenho metrológico em três condições diferentes da forma de onda de tensão.

Estas condições, apresentadas na Tabela 4.2, referem-se ao desvio de frequência, grau de flutuação, grau de desequilíbrio e grau de distorção harmônica do sinal (IEC 61000-4-30, 2008).

Os testes tipo C são divididos em:

Tabela 4.2: Condições da tensão nos testes tipo C

Grandezas de influência	Condição 1	Condição 2	Condição 3
Frequência	$f_{nom} \pm 0,5$ Hz	$f_{nom} + 1 \pm 0,5$ Hz	$f_{nom} - 1 \pm 0,5$ Hz
Magnitude de tensão	$U_{din} \pm 1$ %	Determinada pela flutuação, desequilíbrio, distorção	Determinada pela flutuação, desequilíbrio, distorção
Flutuação	Pst < 0,1	Pst = $1 \pm 0,1$; variação retangular a 19 mudanças por minuto	Pst = $4 \pm 0,1$; variação retangular a 110 mudanças por minuto
Desequilíbrio de tensão	100 % $\pm 0,5$ % da U_{din} em todas as fases. Todos os ângulos de fase a 120°	73 % $\pm 0,5$ % da U_{din} Fase 1 80 % $\pm 0,5$ % da U_{din} Fase 2 87 % $\pm 0,5$ % da U_{din} Fase 3 Todos os ângulos de fase a 120°	152 % $\pm 0,5$ % da U_{din} Fase 1 140 % $\pm 0,5$ % da U_{din} Fase 2 128 % $\pm 0,5$ % da U_{din} Fase 3 Todos os ângulos de fase a 120°
Tensões harmônicas	0 % a 3 % da U_{din}	10 % ± 3 % da U_{din} 3 rd at 0° 5 % ± 3 % da U_{din} 5 th at 0° 5 % ± 3 % da U_{din} 29 th at 0°	10 % ± 3 % da U_{din} 7 th at 180° 5 % ± 3 % da U_{din} 13 th at 0° 5 % ± 3 % da U_{din} 25 th at 0°
Tensões inter-harmônicas	0 % a 0,5 % da U_{din}	1 % $\pm 0,5$ % da U_{din} em 7,5 f_{nom}	1 % $\pm 0,5$ % da U_{din} em 3,5 f_{nom}

Valores constantes: Trata-se de ensaios que verificam o desempenho metrológico do IMA quando as características do parâmetro em medição são mantidas constantes no tempo. Estes testes estão presentes na avaliação da frequência elétrica, da magnitude da tensão, da flutuação, do desequilíbrio de tensão, das tensões harmônicas, das tensões inter-harmônicas e dos sinais de comunicação. Cada parâmetro em avaliação é aplicado sobre o IMA, separadamente, considerando-se as três condições citadas na Tabela 4.2.

Valores variáveis: Trata-se de ensaios que verificam o desempenho metrológico do IMA quando as características do parâmetro mudam no tempo. Estes testes estão presentes na avaliação da frequência elétrica, da magnitude da tensão, do desequilíbrio de tensão e das tensões harmônicas, todos somente na condição 1 da Tabela 4.2. Cada parâmetro em avaliação é aplicado sobre o IMA tal que as características sob análise variem ciclicamente por um período igual a um intervalo de tempo de agregação.

Eventos: Estes ensaios têm como objetivo verificar o desempenho metrológico do IMA na caracterização dos afundamentos, das elevações e das interrupções de tensão:

Amplitude: Esta grandeza é analisada com base na aplicação, sobre o IMA, de afundamentos e de elevações com diversas amplitudes e a mesma duração, considerando-se a condição 1 da Tabela 4.2. A amplitude da tensão pré-evento deve ser igual U_{din} .

Duração: Esta grandeza é analisada com base na aplicação, sobre o IMA, de afundamentos, elevações e interrupções de tensão com a amplitude constante e com diferentes durações, considerando-se a condição 1 da Tabela 4.2. A amplitude da tensão pré-evento deve ser igual a U_{din} .

No total, são 52 testes de desempenho funcional divididos em 11 questionários e 41 ensaios laboratórias que avaliam, para cada parâmetro da QEE, os aspectos requisitados pela IEC 61000-4-30, conforme apresentado na Tabela 4.3. Desta tabela, é possível notar que, para a avaliação dos analisadores classe S, são demandados 8 questionários e 25 ensaios.

4.2.4 Execução dos Testes Tipo V e Tipo C

A execução dos testes tipo V e tipo C demanda um sistema capaz de gerar os sinais propostos com uma incerteza de medição plausível. O Coombes discute sobre os diferentes métodos admissíveis para cumprir estes requisitos. Um método aceitável é a utilização, em conjunto, de instrumentos de medição de referência e de fontes trifásicas de tensão. Desta forma, o sistema de medição padrão, esquematizado na Figura 4.1, é composto por dois equipamentos principais. São eles:

- Fonte trifásica de geração de distúrbios relacionados ao fornecimento da energia elétrica;
- Instrumento de medição de referência.

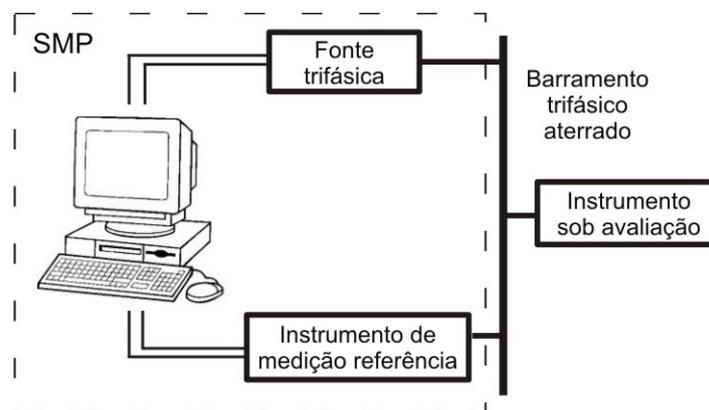


Figura 4.1: Sistema de medição padrão implementado

Tabela 4.3: Testes de desempenho funcional em instrumentos de medição da QEE

Parâmetro	Teste	TT	CA	Aspecto (Item IEC 61000-4-30)
Aspectos Gerais	Questionário	Q	A e S	4.6 e 4.7
	Transitórios da IEC 61180	V	A	6.1
	Transitórios rápidos da IEC 61000-4-4	V	A	
Frequência Elétrica	Questionário	Q	A e S	5.1.1
	Atenuação de harmônicas	V	A e S	5.1.1
	Frequência elétrica constante - condições 1	C	A e S	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.4 e 6.1
	Frequência elétrica constante - condições 2	C	A e S	
	Frequência elétrica constante - condições 3	C	A e S	
	Frequência elétrica variável	C	A e S	
Magnitude da tensão elétrica	Questionário	Q	A e S	5.2.1 e 5.2.4
	Valor eficaz verdadeiro - sinal 1 e 2	V	A e S	5.2.1
	Magnitude de tensão constante - condições 1	C	A e S	5.2.1, 5.2.2, 5.1.4 e 6.1
	Magnitude de tensão constante - condições 2	C	A e S	
	Magnitude de tensão constante - condições 3	C	A e S	
	Magnitude variável	C	A e S	
Flutuação de tensão	Questionário	Q	A e S	5.3.1 e 5.3.4
	Flutuação de tensão constante - condições 1	C	A e S	5.3.2 e 6.1
	Flutuação de tensão constante - condições 2	C	A e S	
	Flutuação de tensão constante - condições 3	C	A e S	
Afundamentos e elevações de tensão	Questionário	Q	A e S	5.4.2.1 e 5.4.3.1
	Amplitude do afundamento	C	A e S	5.4.2.2, 5.3.2.2, 5.4.5.1 e 5.4.5.2
	Duração do afundamento	C	A e S	
	Amplitude da elevação	C	A e S	
	Duração da elevação	C	A e S	
Interrupções de tensão	Questionário	Q	A e S	5.2.2
	Duração da interrupção	C	A e S	5.5.1, 5.5.2 e 5.5.3
Desequilíbrio de tensão	Questionário	Q	A e S	5.5.1 e 5.5.4
	Componentes simétricas sequencia negativa	V	A e S	5.7.1
	Componentes simétricas sequencia zero	V	A	
	Desequilíbrio de tensão constante - condições 1	C	A e S	5.7.2, 5.7.4, e 6.1
	Desequilíbrio de tensão constante - condições 2	C	A e S	
	Desequilíbrio de tensão constante - condições 3	C	A e S	
	Desequilíbrio variável	C	A	
Tensões Harmônicas	Questionário	Q	A e S	5.8.1 e 5.8.4
	<i>Filter anti-aliasing</i>	V	A	5.8.1
	Tensões harmônicas constantes - condições 1	C	A e S	5.8.1, 5.8.2, 5.8.3 e 6.1
	Tensões harmônicas constantes - condições 2	C	A e S	
	Tensões harmônicas constantes - condições 3	C	A e S	
	Tensões harmônicas variáveis	C	A	
Tensões Inter-Harmônicas	Questionário	Q	A	5.9.1 e 5.9.4
	Tensões inter-harmônicas constantes - condições 1	C	A	5.9.1, 5.9.2, 5.9.3 e 6.1
	Tensões inter-harmônicas constantes - condições 2	C	A	
	Tensões inter-harmônicas constantes - condições 3	C	A	
Sinais de comunicação através da rede elétrica	Questionário	Q	A	5.10.1
	Primeiro método	V	A	5.10.1
	Segundo método	V	A	
	Sinais de comunicação constantes - condições 1	C	A	5.10.1, 5.10.2 e 6.1
	Sinais de comunicação constantes - condições 2	C	A	
	Sinais de comunicação constantes - condições 3	C	A	
Parâmetros de desvio superior ou inferior	Questionário	Q	A	5.12.2
	Parâmetro de desvio superior	V	A	5.12.1 e 5.12.2
	Parâmetro de desvio inferior	V	A	

TT: Tipo do teste

CA: Classe de analisador

As fontes trifásicas possuem diversos protocolos de comunicação e programação com o propósito de gerar ondas de tensão com os diferentes fenômenos associados à QEE (TEIXEIRA, 2003).

O instrumento de medição de referência tem a finalidade de garantir uma incerteza de medição do SMP menor que a exigida do IMA. Esta deve ser pelo menos duas vezes menor que a incerteza do parâmetro em avaliação (DEAVER).

4.3 Execução da Metodologia Desenvolvida

Com o objetivo de garantir repetitividade nos resultados da aplicação da metodologia, os procedimentos desta são organizados em três cadernos que culminam no relatório técnico do IMA. Para tanto, a metodologia é executada na sequência dos seguintes documentos:

1. Caderno Representante;
2. Guia dos Testes de Desempenho;
3. Caderno Avaliação;
4. Relatório Técnico.

4.3.1 Caderno Representante

Este caderno apresenta o IMA para o executor dos testes de desempenho. É um documento constituído por perguntas a serem respondidas pelo fabricante do instrumento que indagam sobre as características singulares do IMA. As informações demandadas no questionário são as tensões máximas admissíveis, os protocolos de comunicação, a classe do analisador, etc. O caderno é apresentado no Apêndice A.

4.3.2 Guia dos Testes de Desempenho

Este caderno exhibe os testes de desempenho funcional de instrumentos de medição da QEE, exibidos na seção 4.2. O caderno é um guia que contempla as rotinas para a execução dos ensaios e as características dos sinais que devem ser gerados pelo SMP. O guia dos testes é apresentado no Apêndice B do presente trabalho.

4.3.3 Caderno Avaliação

Neste caderno são ilustradas as estratégias empregadas para a avaliação. Trata-se da elaboração do laudo do IMA, que indica se os aspectos técnicos e metrológicos do IMA estão em concordância com as exigências da norma IEC 61000-4-30. Desta forma, os resultados provenientes dos testes de desempenho são avaliados, qualitativamente, em função do tipo de teste (tipo Q, V e C), conforme descrito a seguir:

- **Conforme:** o resultado do teste está de acordo com o demandado pela norma;
- **Não Conforme:** o resultado do teste não está de acordo com o demandado pela norma.

4.3.3.1 Laudo dos Testes Tipo Q

Conforme estabelecido na seção 4.2.1, os testes tipo Q representam uma série de questionamentos relacionados aos aspectos técnicos do IMA, mas que **não** possuem correlação direta com as grandezas da energia elétrica. Caso o IMA contemple as capacidades demandadas, o laudo será “ Conforme”. Caso contrário, ele será “ Não Conforme”.

4.3.3.2 Laudo dos Testes Tipo V

Após a execução de um teste tipo V, o IMA exibe uma medida que é utilizada para o cálculo do erro tipo V (E_V), dado pela equação (4.1). Se o E_V é menor ou igual a incerteza máxima permitida pela norma, o laudo é “ Conforme”. Caso contrário, ele é “ Não Conforme”.

$$E_V = |V_{IMA} - V_{SMP}| \quad (4.1)$$

Onde:

V_{IMA} é o resultado da medição do IMA;

V_{SMP} é o resultado da medição do SMP.

4.3.3.3 Laudo dos Testes Tipo C

Após a execução de um teste tipo C, o IMA exibe um conjunto de medições que são utilizadas para avaliar o seu desempenho metrológico em função dos erros de medição. Estes erros são determinados de acordo com o ISO-GUM (2008). Desse modo, é executado o procedimento para expressão da incerteza de medição, apresentado na seção 2.4, com base nas medições do IMA e nos valores padrões provenientes do SMP, para determinar a tendência estimada (t) e a incerteza expandida (U). A

t e a U são empregadas na equação (4.2) para o cálculo do erro de avaliação tipo C (E_c). Se o E_c for menor ou igual a incerteza máxima permitida pela norma, o laudo é “Conforme”. Caso contrário, ele é “ Não Conforme”.

$$E_c = \max(|t| + U) \quad (4.2)$$

4.3.3.4 Laudo Final do IMA

Os testes exibidos neste trabalho avaliam, individualmente, o desempenho do IMA na medição dos parâmetros da QEE. Logo, o laudo do IMA de um determinado parâmetro é “ Conforme”, se todos os laudos dos testes relacionados àquele parâmetro são “ Conforme”. Caso contrário, o laudo é “ Não Conforme”. O laudo final do IMA é “ Conforme”, se todos os laudos dos parâmetros forem “ Conforme”. Caso contrário, o laudo final é “ Não Conforme”.

4.3.4 Relatório Técnico

O relatório técnico expõe os resultados da aplicação da metodologia sobre um instrumento em avaliação. Ele apresenta informações específicas do IMA e do laboratório executor, uma síntese do procedimento utilizado, as medições coletadas e o parecer atribuído em cada teste de desempenho. Este relatório é estruturado em quatro partes.

1. A primeira parte exhibe as especificações do IMA, com o propósito de permitir a identificação do equipamento e das condições gerais de aplicação da metodologia. As seguintes informações devem estar disponibilizadas na primeira folha do relatório:
 - Número único do relatório emitido;
 - Identificação do IMA - nome do fabricante, o modelo, o número de série, a data de recebimento e a data de execução da metodologia;
 - Nome completo do laboratório responsável e as informações para contato;
 - Condições ambientais;
 - Normas e (ou) instruções técnicas utilizadas;
 - Especificações dos equipamentos principais que constituem o SMP;
 - Data de emissão do relatório.
2. A seguir, devem ser apresentadas considerações necessárias para o entendimento geral do relatório. Esta parte é composta por um sumário, as siglas

empregadas e uma síntese da metodologia. A síntese deve ressaltar os valores das incertezas máximas utilizadas para a atribuição dos laudos e a faixa de abrangência estabelecida para o cálculo da incerteza;

3. Nesta parte, expõe-se a avaliação final do IMA. Para tanto, apresentam-se o laudo final e os laudos concedidos na medição de cada parâmetro da QEE.
4. A última parte do relatório é intitulada Laudo Detalhado do IMA. Nesta parte devem ser exibidas as medidas coletadas do IMA e do SMP, as observações realizadas e os laudos em cada teste. Para os testes tipo C, revelam-se os valores calculados das tendências estimadas, dos graus de liberdade, dos fatores de abrangência e das incertezas expandidas.

4.4 Considerações Finais

Este capítulo apresentou uma nova metodologia para avaliação do desempenho funcional de instrumentos de medição da QEE. Esta compõe-se de um conjunto de testes que identificam os aspectos técnicos e metrológicos irregulares dos analisadores da QEE com base nas exigências da IEC 61000-4-30.

A metodologia foi estruturada em três etapas dispostas em forma de cadernos. Tal procedimento foi adotado com a finalidade de garantir repetitividade nos resultados e elaborar um relatório técnico que evidencie, detalhadamente, o desempenho do instrumento avaliado para a medição dos parâmetros da QEE.

Capítulo 5

Exemplo de Aplicação da Metodologia Proposta

5.1 Considerações Iniciais

Este capítulo tem como objetivo a aplicação da metodologia proposta sobre um analisador da QEE classe S. Desse modo, os procedimentos estabelecidos nos 4 cadernos expostos na seção 4.3 foram aplicados sobre um medidor que, segundo o fabricante, foi elaborado com base na norma IEC 61000-4-30. Além disso, é analisado o desempenho do medidor em função dos resultados obtidos, com o propósito de ilustrar os benefícios da metodologia.

5.2 Caderno Representante - Análise Inicial

A metodologia é iniciada com a disponibilização do Caderno Representante ao fabricante do IMA. Este deve ser retornado ao executor dos testes, devidamente preenchido, para se prestar como um manual do medidor durante a execução dos testes. A seguir são apresentadas informações relevantes retiradas do mencionado caderno:

- Classe do analisador: S;
- Tensão máxima eficaz em regime permanente tolerável: 400 V fase-neutro;
- Suportabilidade a transitórios de tensão, tipo IEC 61180 e IEC 61000-4-4: não declarada;
- Parâmetros mensuráveis: frequência elétrica, magnitude de tensão, flutuação de tensão, afundamentos, elevações, interrupções, desequilíbrio de tensão e

tensões harmônicas;

- Fase de referência: A;
- Intervalos de agregações disponíveis: 12 ciclos, 180 ciclos, 10 s, 10 minutos e 2 horas;
- Forma de caracterização dos eventos de tensão: na ocorrência de um afundamento, de uma elevação e de uma interrupção são disponibilizadas, para cada fase, a amplitude e a duração.

5.3 Guia dos Testes de Desempenho

Antes de executar o guia de testes, é necessário avaliar as condições e as técnicas a serem empregadas para a geração dos sinais no laboratório executor.

5.3.1 Condições Elétricas de Avaliação e SMP

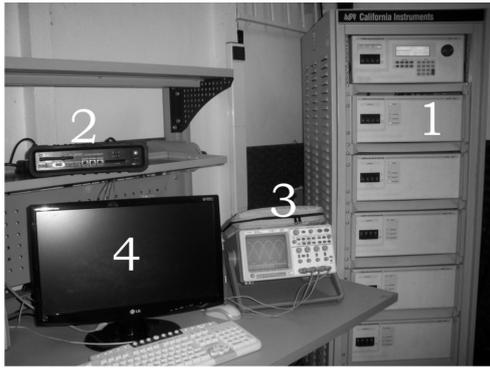
A avaliação foi realizada em um sistema trifásico estrela aterrado com U_{din} igual a 127 V a f_{nom} de 60 Hz.

O SMP exibido na Figura 5.1, empregado para a geração dos sinais, é composto pelos seguintes equipamentos:

- Uma fonte trifásica de potência da *California instruments* modelo 30001 *ix*, cujos protocolos de comunicação e programação são *General Purpose Interface Bus* (GPIB) e *Standard Commands for Programmable Instruments* (SCPI), respectivamente;
- Um analisador *ELSPEC*, modelo *G4500*, que, em função das suas incertezas declaradas, atende às condições necessárias para se estabelecer como instrumento de medição de referência. Estas incertezas estão disponibilizadas no Apêndice D;
- Um computador e um osciloscópio empregados para apoio técnico e visual.

5.3.2 Execução dos Testes de Desempenho

Sob as disposições mencionadas no tópico anterior, foram executados, em função da classe do IMA (classe S), 8 questionários de inspeção e um total de 25 ensaios



1. Fonte da *California instruments*;
2. Analisador da QEE do *ELSPEC G4500 BlackBox*;
3. Osciloscópio;
4. Computador.

Figura 5.1: Sistema de medição padrão empregado

laboratoriais, conforme estipulado no guia dos testes de desempenho (vide Apêndice B).

Para a execução dos testes tipo V, o IMA foi submetido no seu canal de referência a 4 sinais de tensão diferentes. As medições foram realizadas fazendo-se uso do intervalo de tempo de 12 ciclos, à exceção da frequência elétrica, para a qual o intervalo de tempo utilizado foi de 10 s.

Os testes tipo C foram executados sobre as três fases do IMA, à exceção do caso dos testes da frequência elétrica, onde foi empregado o canal de referência. O intervalo de agregação empregado foi de 10 s para a frequência e 10 minutos para a magnitude da tensão, a flutuação de tensão, o desequilíbrio e as tensões harmônicas. Os afundamentos, as elevações e as interrupções possuem duração menor que 3 s e amplitude entre 0 % e 150 % da U_{din} .

A Tabela 5.1 mostra o resumo da execução dos testes de desempenho. Nesta tabela observa-se que a avaliação é feita para 7 parâmetros da QEE em função das 812 medições provenientes do IMA e SMP.

5.4 Caderno Avaliação - Elaboração do Laudo

Conforme descrito na seção 4.3.3, o Caderno Avaliação apresenta os procedimentos para a avaliação do IMA com base nas observações e nas medições realizadas nos testes de desempenho. Desse modo, nos seguintes tópicos é exemplificada a atribuição do laudo para cada tipo de teste (Q, V e C).

Tabela 5.1: Testes de desempenho funcional executados no exemplo de aplicação

Parâmetro	Teste	Medições
Aspectos Gerais	Questionário	–
Frequência Elétrica	Questionário	–
	Atenuação de harmônicas	1
	Frequência elétrica constante - condições 1	9
	Frequência elétrica constante - condições 2	9
	Frequência elétrica constante - condições 3	9
	Frequência elétrica variável	9
Magnitude da tensão elétrica	Questionário	–
	Valor eficaz verdadeiro - sinal 1 e 2	2
	Magnitude de tensão constante - condições 1	30
	Magnitude de tensão constante - condições 2	30
	Magnitude de tensão constante - condições 3	30
	Magnitude variável	30
Flutuação de tensão	Questionário	–
	Flutuação de tensão constante - condições 1	12
	Flutuação de tensão constante - condições 2	12
	Flutuação de tensão constante - condições 3	12
Afundamentos e elevações de tensão	Questionário	–
	Amplitude do afundamento	27
	Duração do afundamento	30
	Amplitude da elevação	27
	Duração da elevação	30
Interrupções de tensão	Questionário	–
	Duração da interrupção	10
Desequilíbrio de tensão	Questionário	–
	Componentes simétricas sequencia negativa	1
	Desequilíbrio de tensão constante - condições 1	5
	Desequilíbrio de tensão constante - condições 2	5
	Desequilíbrio de tensão constante - condições 3	5
Tensões Harmônicas	Questionário	–
	Tensões harmônicas constantes - condições 1	24
	Tensões harmônicas constantes - condições 2	24
	Tensões harmônicas constantes - condições 3	24
Total de Medições		406

5.4.1 Exemplo da Elaboração do Laudo Testes Tipo Q

Considere a seguinte questão: “O instrumento fornece indicações da amplitude da tensão a cada 10 minutos do tempo absoluto do RTC conforme o item 4.5.3 da norma IEC 61000-4-30?”.

Para que esta pergunta seja respondida, é necessário um arquivo do IMA com as medições de tensão a cada 10 minutos. A Tabela 5.2 apresenta parte desse arquivo.

Avaliação. Para iniciar a análise da questão supracitada, deve-se observar a coluna da hora do arquivo de dados, Tabela 5.2. Neste caso, é possível identificar que o arquivo exhibe as medições a cada 10 minutos, conforme exigido pela norma.

Entretanto, as medições não foram registradas a cada 10 minutos do tempo absoluto do relógio do tempo real (RTC). Logo, as medições não são disponibilizadas de forma válida. Portanto, o laudo é “**Não Conforme**”. A Tabela 5.3 expõe um registro conforme demandado pela norma.

Tabela 5.2: Arquivo de registro do IMA das medições de tensão

Magnitude de fase da Tensão [V]			
Hora	Fase A	Fase B	Fase C
12:12	127,1	127,1	127,1
12:22	127,2	127,2	127,3
12:32	127,1	127,0	127,1

Tabela 5.3: Exemplo de registro correto das medições de tensão

Magnitude de fase da Tensão [V]			
Hora	Fase A	Fase B	Fase C
12:10	127,1	127,1	127,1
12:20	127,2	127,2	127,3
12:30	127,1	127,0	127,1

5.4.2 Exemplo de Elaboração do Laudo Testes Tipo V

Com base à aplicação do sinal descrito pela equação (5.1), executou-se o teste “*Filter Anti-Aliasing*”, com o IMA realizando uma medição da distorção harmônica total igual a dez por cento ($V_{IMA} = 10\%$). Deve-se ressaltar que, segundo as especificações do fabricante, o IMA consegue realizar medições até a 40ª ordem harmônica.

$$v(t) = \sqrt{2}U_{din} \cdot \cos(2\pi \cdot 60t) + 0,10\sqrt{2}U_{din} \cdot \cos(2\pi \cdot 60 \cdot 60t) \quad V \quad (5.1)$$

Avaliação. O valor do gabarito para este caso é igual a zero ($V_{SMP} = 0\%$). Substituindo os valores V_{IMA} e V_{SMP} na equação (4.2), determina-se um E_v igual a 10%. Comparando este erro com a incerteza máxima permitida pela norma IEC 61000-4-30, é possível observar que o E_v está acima do limite permitido. Portanto, o laudo é “**Não Conforme**”.

5.4.3 Exemplo de Elaboração do Laudo Testes Tipo C

Com a execução do teste “*Frequência Constante - Condições 1*”, foram coletadas medições oriundas do IMA ($v_{i,IMA}$) e do SMP ($v_{i,SMP}$), as quais são apresentadas na

segunda e na terceira coluna da Tabela 5.4. De posse destas medições, determinam-se os valores da $t(v_{i,IMA})$ e da $U_{95\%}(v_{i,IMA})$ ¹, com base no procedimento exposto na seção 2.4.

Tabela 5.4: Exemplo de medições da execução de testes tipo C

Amostra	v_{IMA} [Hz]	v_{SMP} [Hz]	t [Hz]	$U_{95\%}$ [Hz]
1	52,00	52,0046	-0,0030	0,0070
2	54,00	54,0042	-0,0035	0,0066
3	56,00	56,0028	-0,0040	0,0063
4	58,00	58,0038	-0,0045	0,0061
5	60,00	60,0022	-0,0050	0,0061
6	62,00	62,0064	-0,0055	0,0061
7	64,00	64,0024	-0,0060	0,0063
8	65,99	66,0032	-0,0065	0,0066
9	68,00	68,0050	-0,0070	0,0070

Avaliação. Os valores da t e da $U_{95\%}$, utilizados na equação (4.2), culminam em um E_C igual a 14 mHz. Por ser o IMA um analisador classe S, a incerteza máxima permitida é igual a 50 mHz (incerteza máxima permitida pela norma IEC 61000-4-30). Comparando esta incerteza com E_C , é possível observar que o erro é inferior ao limite máximo aceitável. Portanto, o laudo é “**Conforme**”. Ressalta-se que se o analisador fosse classe A, a incerteza máxima permitida seria igual a 10 mHz, e com isso, o parecer seria “**Não Conforme**”.

5.5 Relatório Técnico - Resultados da Avaliação

O relatório começa com a folha de identificação do IMA, Figura 5.2, que apresenta o número único do relatório, as informações do representante e do laboratório executor, os equipamentos que compõem o SMP, a documentação técnica utilizada, as condições ambientais e as características do sistema elétrico utilizado nos ensaios.

Conforme descrito na seção 4.3.4, o relatório deve possuir um sumário, um índice das siglas empregadas e uma síntese sobre a metodologia. A síntese, como pode ser observado na Figura 5.3, deve manifestar os valores das incertezas empregadas para

¹A incerteza combinada ($U_{95\%}$) foi determinada com uma faixa de abrangência de 95 %. Com o propósito de facilitar o entendimento de como se proceder para se alcançar os resultados necessários para a avaliação, tem-se no Apêndice D um exemplo prático da estimação dos erros de medição.

 Universidade de Brasília	
RELATÓRIO TÉCNICO	Nº RTxxxx2012
Número de páginas: 25,	Anexo: Curva de erros de medição.
Representante do item avaliado:	
Cidade: Bucaramanga - Co	
Contato: Andres Santiago	
Telefone: 57-7-634-0297	
e-mail: carsrodriguez@unb.br	
Identificação do item:	
Fabricante: Analisador Classe S	
Modelo: xxxxx	
Nº de série: N°xxxxx	
Data de recebimento do item: dd/mm/aaaa;	Data de execução do serviço: dd/mm/aaaa
Laboratório responsável: Laboratório de Qualidade da Energia Elétrica - UnB	
Condições ambientais:	
Registro de Temperatura: (23 ± 2) °C; Registro de umidade: (50 ± 5) %	
Norma ou instrução técnica utilizada:	
– Testes de Desempenho Funcional em Instrumentos de Medição da Qualidade da Energia Elétrica voltados para a campanha de medição.	
Padrões ou instrumentos utilizados:	
– Padrão instrumento de medição da qualidade da energia elétrica, ELSPEC, Modelo G4500 BLACKBOX.	
– Fonte de Tensão, California Instruments, Modelo 3000ix.	
Informações Adicionais:	
– A avaliação do instrumento foi efetuada em um sistema estrela aterrada com frequência de entrada declarada de 60 Hz e tensão alimentação declarada de 127 V fase-neutro .	
– Os resultados apresentados neste relatório referem-se somente ao item acima identificado.	
Data de emissão do certificado: dd/mm/aaaa	
Laboratório da Qualidade da Energia Elétrica Prédio SG-11, Departamento de Engenharia Elétrica Campus Universitário Darcy Ribeiro, Av. L3, Asa Norte CEP: 70910-970, Brasília – DF, Brasil. Telefone: (61) 3107-1043	

Figura 5.2: Folha de apresentação do relatório

a atribuição do laudo e a faixa de abrangência estipulada para o cálculo da U .

Síntese
<ul style="list-style-type: none"> ● A avaliação do IMA foi efetuada conforme o exposto nos quatro cadernos pertencentes à metodologia para a avaliação do desempenho funcional de instrumentos de medição da QEE, apresentados no capítulo 4; ● A U foi determinada com um fator de abrangência correspondente a 95 %, com base no procedimento descrito no seção 2.4 do presente trabalho; ● A análise do laudo foi realizada com base nas incertezas máximas permitidas estabelecidas na norma IEC 61000-4-30 (2008) para analisadores da QEE classe S;

Figura 5.3: Síntese elaborada para o relatório técnico

O laudo final do IMA junto às avaliações dos parâmetros da QEE dispõe-se em forma de tabela, conforme mostra a Figura 5.4. Observa-se deste laudo que o instrumento submetido à metodologia obteve resultados satisfatórios nos testes da magnitude da tensão, dos afundamentos, das elevações, das interrupções, do desequilíbrio de tensão e das tensões harmônicas. Verifica-se ainda que as grandezas frequência e flutuação da tensão apresentaram parecer **Não conforme**. No entanto, com o objetivo de possibilitar a identificação das irregularidades do IMA, o laudo

detalhado deve ser acrescentado no relatório respeitando as indicações da seção 4.3.4. O Relatório Técnico, na sua totalidade, é apresentado no apêndice C.

Laudo Final do IMA	
Grandeza	Laudo
Aspectos Gerais	Conforme
Frequência Elétrica	Não Conforme
Magnitude de Tensão Elétrica	Conforme
Flutuação de Tensão Elétrica (Cintilação)	Não Conforme
Afundamentos e Elevações de Tensão	Conforme
Interrupções de Tensão	Conforme
Desequilíbrio de Tensão Elétrica	Conforme
Tensões Harmônicas	Conforme
Laudo Final	Não Conforme

Figura 5.4: Laudo final do IMA

5.6 Análise de Resultados

A seguir, são exibidas algumas observações relacionadas ao desempenho do IMA com base na execução dos testes de desempenho, na curva de erros e no laudo final.

5.6.1 Resultados da Execução dos Testes Tipo Q

Com a execução dos testes tipo Q, identificou-se:

- O IMA executa medições da frequência elétrica a cada 10 s;
- Ele fornece medições nos quatro intervalos de tempo ressaltados pela IEC 61000-4-30 (2008) (12 ciclos, 180 ciclos, 10 minutos e 2 horas) para os parâmetros da magnitude, do desequilíbrio de tensão e das tensões harmônicas;
- O IMA realiza as medições do flicker (Pst e Plt);
- São disponibilizadas medições até a 40^a ordem harmônica;
- O IMA exibe o *flagged* quando da ocorrência de afundamentos, elevações e interrupções de tensão;
- São disponibilizados, para os parâmetros de afundamentos, elevações e interrupções de tensão, as medições da amplitude e da duração do evento.

5.6.2 Resultados da Execução dos Testes Tipo V

Observando-se os resultados da execução dos testes tipo V (Tabela 5.5), nota-se que o IMA apresenta, para todos os testes, erros menores do que as incertezas permitidas para os analisadores classe S (U_s). Desse modo, pode-se afirmar que os métodos de medição implementados no IMA estão em concordância com os requisitados pela IEC 61000-4-30.

Tabela 5.5: Laudo da aplicação dos testes classe V - Analisador B

Teste	E_v	U_s	Laudo
Atenuação de harmônicas	0,001 Hz	0,050 Hz	Conforme
Valor eficaz verdadeiro - sinal 1	0,05 V	0,63 V	Conforme
Valor eficaz verdadeiro - sinal 2	0,14 V	0,63 V	Conforme
Componentes Simétricas Sequência Negativa	0,04 %	0,30 %	Conforme

E_v : Erro avaliação do teste tipo V.

U_s : Incerteza máxima permitida para analisadores da QEE classe S.

5.6.3 Resultados da Execução dos Testes Tipo C

Analisando-se os resultados dos testes tipo C, expostos na Tabela 5.6 junto com a U_s , observou-se os seguintes aspectos:

Valores constantes: o IMA exibe erros menores do que os permitidos para os parâmetros da frequência, da magnitude e do desequilíbrio de tensão. Contudo, os E_c determinados para a flutuação de tensão são superiores aos valores máximos aceitáveis pela norma;

Valores variáveis: No teste da frequência variável, identifica-se E_c acima do permitido. Além disso, o E_c determinado é 14,6 vezes maior que o E_c encontrado no teste da frequência de valores constantes. Os demais parâmetros estão abaixo dos limiares estabelecidos pela norma;

Eventos: Neste caso, os E_c calculados cumprem os requerimentos metrológicos exigidos pela norma.

5.6.4 Análise da Curva de Erros

Em alguns casos, a visualização da curva de erros permite identificar porquê o IMA apresenta avaliações “**Não Conforme**”. Por esta razão, no relatório técnico é possível observar 54 curvas de distribuição dos erros ao longo da faixa de medição,

Tabela 5.6: Laudo da aplicação dos testes tipo C

Teste	E_c	U_s	Laudo
Frequência Elétrica Constante - Condições 1	0,014 Hz	0,050 Hz	Conforme
Frequência Elétrica Constante - Condições 2	0,015 Hz	0,050 Hz	Conforme
Frequência Elétrica Constante - Condições 3	0,014 Hz	0,050 Hz	Conforme
Frequência Elétrica Variável	0,21 Hz	0,050 Hz	Não Conforme
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 1	0,17 V	0,63 V	Conforme
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 2	0,19 V	0,63 V	Conforme
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 3	0,18 V	0,63 V	Conforme
Magnitude de Tensão Elétrica Variável	0,17 V	0,63 V	Conforme
Flutuação de Tensão Elétrica Constante - Condições 1	0,10 Pst	0,02 Pst	Não Conforme
Flutuação de Tensão Elétrica Constante - Condições 2	0,08 Pst	0,02 Pst	Não Conforme
Flutuação de Tensão Elétrica Constante - Condições 3	0,14 Pst	0,02 Pst	Não Conforme
Amplitude do Afundamento	0,31 V	1,27 V	Conforme
Duração do Afundamento	0,008 s	0,032 s	Conforme
Amplitude da Elevação	0,28 V	1,27 V	Conforme
Duração da Elevação	0,015 s	0,032 s	Conforme
Duração da Interrupção	0,006 s	0,032 s	Conforme
Desequilíbrio de Tensão Constante - Condições 1	0,02 %	0,30 %	Conforme
Desequilíbrio de Tensão Constante - Condições 2	0,03 %	0,30 %	Conforme
Desequilíbrio de Tensão Constante - Condições 3	0,04 %	0,30 %	Conforme
Tensões Harmônicas Constantes - Condições 1	0,07 %	0,50 %	Conforme
Tensões Harmônicas Constantes - Condições 2	0,11 %	0,50 %	Conforme
Tensões Harmônicas Constantes - Condições 3	0,07 %	0,50 %	Conforme

E_c : Erro avaliação do teste tipo C.

U_s : Incerteza máxima permitida para analisadores da QEE classe S.

as quais contemplam todos os testes tipo C. A Figura 5.5 exhibe a curva de erro da flutuação de tensão da fase 2 decorrente da aplicação do teste a valores constantes - condição 1. Esta curva é formada pela linha central, que representa a tendência estimada, e pelas linhas superior e inferior, que ilustram a tendência estimada mais e menos a incerteza expandida. São ainda apresentadas duas linhas tracejadas que representam a U_s .

Da análise da Figura 5.5, observa-se que o IMA exhibe um desempenho metroológico aceitável para leituras maiores que 1,3 Pst. Entretanto, para valores de Pst abaixo de 1,3, os limites impostos pela IEC 61000-4-30 foram transgredidos. Por esta razão, o laudo deste teste é “Não conforme”.

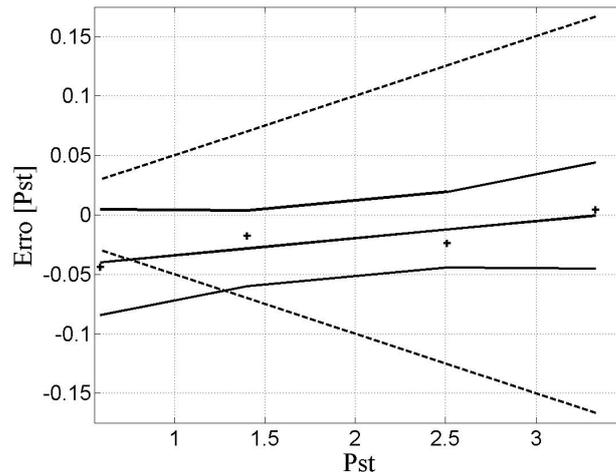


Figura 5.5: Curva do erro da flutuação de tensão - teste valores constantes - condição 1

5.6.5 Resultado Final da Avaliação - Laudo Final

Da análise do laudo final, Figura 5.4, verifica-se que o IMA cumpre a maioria dos requisitos demandados pela IEC 61000-4-30. Contudo, como ele não atende a todas as exigências da norma, o IMA não pode ser classificado como analisador classe S.

5.7 Considerações Finais

Este capítulo apresentou um exemplo do emprego da metodologia proposta. Para isso, um analisador, denominado pelo fabricante como classe S, foi submetido às três etapas da metodologia apresentada, que objetivam a exploração e a avaliação do IMA, além da execução dos testes de desempenho. O resultado foi um relatório com que contém o desempenho do IMA ilustrado em 8 questionários, 26 ensaios laboratoriais, 406 medições e 54 curvas de erros de medição. Com isto, observou-se a aplicabilidade dos testes de desempenho. Além disso, demonstrou-se, por meio da análise dos dados obtidos, a facilidade de constatação das deficiências e das irregularidades, assim como das qualidades e dos atributos do medidor avaliado.

Capítulo 6

Conclusões

Neste trabalho propus-se uma metodologia para a avaliação do desempenho funcional de instrumentos de medição da QEE, com o propósito de verificar os métodos e as técnicas de quantificação dos parâmetros da QEE implementados nestes instrumentos. Para tanto, duas áreas do conhecimento foram estudadas, a metrologia e a qualidade da energia elétrica. Esse estudo visa proporcionar universalidade e suportabilidade técnica à metodologia proposta.

O capítulo 2 apresentou uma série de definições, conceitos e procedimentos relacionados à ciência da metrologia. O principal procedimento abordado foi o guia para a expressão da incerteza de medição (ISO-GUM, 2008) publicado pelo JCGM. Esse guia, além de ser empregado por 7 organizações científicas internacionais, é utilizado para fins de uso de padronização, calibração, acreditação de laboratórios e serviços metrológicos. Desta forma, o ISO-GUM, por ser empregado na metodologia proposta, oferece métodos de reconhecimento mundial no processo de avaliação do instrumento.

O capítulo 3 expôs a IEC 61000-4-30 (2008) que tem como objetivo obter medições confiáveis e comparáveis entre os diferentes modelos de medidores da QEE. Nela são encontrados os aspectos necessários à elaboração destes instrumentos, impondo sobre eles os métodos, as técnicas, os algoritmos, os conceitos, as ferramentas, as faixas e as incertezas de medição a serem respeitados no cálculo dos parâmetros da QEE. Deste modo, tal norma torna-se a base técnica da metodologia desenvolvida, empregando esses aspectos na avaliação do medidor.

Conforme mostrou o capítulo 4, os requerimentos da IEC 61000-4-30 para a quantificação dos parâmetros da QEE foram classificados em aspectos técnicos não

elétricos, técnicos elétricos e metrológicos. Logo, para avaliar os instrumentos de medição da QEE com base nesses aspectos, estruturaram-se testes de desempenho que estão divididos em três tipos, a saber, tipo Q (Questionamento), tipo V (Verificação) e tipo C (Calibração). Os testes tipo Q e V determinam se o instrumento foi elaborado conforme as diretrizes da IEC 61000-4-30, por meio de perguntas objetivas e de sinais singulares aplicados sobre o instrumento, verificando os aspectos técnicos não elétricos e técnicos elétricos, respectivamente. Já os testes tipo C, com o uso do ISO-GUM, exploram a performance metrológica do instrumento. Desse modo, os 52 testes elaborados expressam o desempenho do medidor e tornam possível a identificação das aptidões e das deficiências do mesmo, segundo a IEC 61000-4-30.

A metodologia aqui proposta foi estruturada quatro etapas dispostas em cadernos que apresentam os procedimentos de execução da mesma. A primeira etapa oferece um conhecimento excepcional do instrumento sob avaliação, devido a que a mesma é efetuada pelo representante ou fabricante do medidor. Antes de iniciar a segunda etapa, é necessário compor um sistema padrão que garanta uma incerteza de medição plausível na geração dos sinais. Já na etapa seguinte, o instrumento é submetido aos testes de desempenho conforme as informações disponibilizadas no caderno guia de testes. Neste caderno encontram-se os sinais a serem gerados e as medições que devem ser realizadas durante aplicação dos testes. Com os resultados coletados, na terceira etapa procedeu-se com a atribuição do laudo para cada teste de desempenho que extrapolado expressa a performance do instrumento. Posteriormente, na última etapa é realizado o relatório do instrumento onde são apresentados as informações do medidor sob avaliação e do laboratório executor, as medições coletadas, as observações e, principalmente, o laudo final do medidor. Desta forma, por meio dessas quatro etapas, a execução da metodologia garante a repetitividade nos resultados, assim esta seja realizada por determinado laboratório em períodos distintos.

O capítulo 5 mostrou a experiência da aplicação da metodologia proposta sobre um instrumento de medição classe S. No entanto, antes de iniciar os procedimentos, foi necessário estruturar um sistema padrão composto por dois equipamentos que, além de gerar os diferentes fenômenos da energia elétrica, garantissem uma incerteza de medição nos parâmetros da QEE pelo menos duas vezes menor do que o do medidor sob avaliação. A execução da metodologia, efetuada com base nos cadernos elaborados nesta pesquisa, teve como produto um relatório com inúmeras informações sobre a performance do medidor avaliado. Dessa forma, com este exemplo de

aplicação, comprovou-se a eficácia e a aplicabilidade desta proposta de metodologia para a avaliação do desempenho funcional de instrumentos de medição da QEE.

Para dar continuidade aos estudos realizados nesta pesquisa, a seguir são sugeridos trabalhos futuros:

- Promover o desenvolvimento de um equipamento laboratorial que atenda aos aspectos necessários para se estabelecer como o instrumento de referência na execução dos testes. Sugere-se a elaboração dos algoritmos de quantificação abertos à comunidade, a fim de fornecer universalidade à metodologia. Ao equipamento não serão exigidos aspectos de utilização próprios dos instrumentos sob avaliação. No entanto, o custo deste aumentará para reduzir a incerteza de medição;
- A execução permanente da metodologia leva à avaliação de uma quantidade considerável de medidores. Dessa forma, pode-se formar um banco de dados com os resultados obtidos que, quando analisados em conjunto, conduzem a diversas informações. Por exemplo, identificar a capacidade da indústria para suprir a rede elétrica com ótimos e econômicos analisadores da QEE;
- Alguns aspectos demandados pela metodologia, por exemplo, a incerteza e a faixa de medição, podem incrementar consideravelmente o custo do instrumento, por suas altas exigências. Por isso, é necessário realizar debates, entre os órgãos regulamentadores e os fabricantes, para estabelecer requisitos adequados. De fato, o resultado desses debates é uma conciliação entre o custo do equipamento e a realidade da rede elétrica.
- Para promover a acreditação da metodologia, adequando-se aos padrões internacionais de qualidade da ISO 9000, é necessário a implementação sobre esta das “boas práticas do laboratório”(SOUSA, 2007) e da norma ISO/IEC 17025 (2005) (MÜLLER, 2007). As boas praticas representam um conceito gerencial que cobre o processo organizacional e as circunstâncias sob as quais os estudos do laboratório são planejados, executados, monitorados, gravados e relatados. Já a norma ISO/IEC 17025 exhibe os requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração, expondo os princípios de gestão e técnicas a serem seguidas por um laboratório interessado em garantir a qualidade dos serviços prestados e demonstrar a sua competência técnica.

Referências Bibliográficas

- AIELLO, M.; CATALIOTTI, A.; COSENTINO, V.; NUCCIO, S. A low cost and easy re-configurable instrument for power quality survey. In: *Instrumentation and Measurement Technology Conference - IMTC. Proceedings of the 21st IEEE*. [S.l.: s.n.], 2004.
- ALBERTAZZI, A.; SOUSA, A. R. *Fundamentos de metrologia científica e industrial*. 2. ed. [S.l.]: Manole Ltda, 2008.
- ALEX, M.; ANDREAS, E. A new, ultra low cost power quality and energy measurement technology - the future of power quality monitoring. In: *Transmission and Distribution Conference and Exposition*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–4.
- AXELBERG, P. *On Tracing Flicker Sources and Classification of Voltage Disturbances*. Tese (Doutorado) — Department of Signals and Systems Signal Processing Group CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY – Göteborg, Sweden, 2007.
- BIPM. *The International Systems of Units (SI)*. 2008. Disponível em: <http://www.bipm.org/en/si/si_brochure/>. Acesso em: 20 novembro 2012.
- BOLLEN, M.; GU, I. *Signal Processing of Power Quality Disturbances*. [S.l.]: IEEE Press, 2006.
- BRAGA, P. D. E. *Metrologia*. Disponível em: <<http://www.ufpa.br/>>. Acesso em: 20 novembro 2012.
- CHIUMEO, R.; PORRINO, A.; GARBERO, L.; TENTI, L.; NIGRIS, M. de. The italian power quality monitoring system of the mv network results of the measurements of voltage dips after 3 years campaign. In: *Electricity Distribution - Part 1, 2009. CIRED 2009. 20th International Conference and Exhibition on*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1 –4. ISSN 0537-9989.

- COOMBES, D. *Improving Accuracy of Power and Power Quality Measurements*. Disponível em: <<http://us.flukecal.com/category/literature-type/articles-and-education>>. Acesso em: 20 novembro 2012.
- DEAVER, D. *Guardbanding With Confidence*. [S.l.].
- GALLO, D.; LANDI, C.; LUISO, M. Performance verification of instruments adopted for voltage dip measurement. In: *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2010 IEEE*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 470 –475. ISSN 1091-5281.
- GOMES, R.; BRASIL, D.; MEDEIROS, J. de. Power quality management issues over the brazilian transmission system. In: *Harmonics and Quality of Power, 2002. 10th International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2002. v. 1, p. 27 – 32 vol.1.
- HERATH, H.; MCHARDY, S. Power quality trends in energy australia distribution network. In: *Harmonics and Quality of Power, 2008. ICHQP 2008. 13th International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 1 –6.
- IEC-60044. *International Electrotechnical Commission - recommendations for instrument transformers*. 1931. Disponível em: <<http://www.iec.ch/searchpub/>>. Acesso em: 20 novembro 2012.
- IEC 61000-2-4. *Electromagnetic compatibility (EMC) – IEC 61000-2-4: Environment – Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances*. [S.l.], 2002. Disponível em: <<http://www.iec.ch/searchpub/>>. Acesso em: 20 novembro 2012.
- IEC 61000-4-15. *International Standard Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4: Testing and Measurement Techniques - Section 15: Flickermeter - Functional and Design Specifications*. 2002. Disponível em: <<http://www.iec.ch/searchpub/>>. Acesso em: 20 novembro 2012.
- IEC 61000-4-30. *International Standard Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods*. 2008. Disponível em: <<http://www.iec.ch/searchpub/>>. Acesso em: 20 novembro 2012.
- IEC 61000-4-7. *International Standard Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-7: General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements and instrumentation, for Power Supply Systems and Equipament Connected thereto*.

2002. Disponível em: <<http://www.iec.ch/searchpub/>>. Acesso em: 20 novembro 2012.
- IEEE-100-1996. *The IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms Sixth Edition*. 1996. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/findstds/standard/100-1996.html>>. Acesso em: 20 novembro 2012.
- IGLESIAS, J. L. G.; MCEACHERN, A. The economics of power quality – a systematic framework for the assessment. In: *19 International Conference on Electricity Distribution*. [S.l.: s.n.], 2007.
- ISO-GUM. *Guide to the expression of uncertainty in measurement*. [S.l.], 2008. Disponível em: <<http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>>. Acesso em: 20 novembro 2012.
- ISO/IEC 17025. *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. [S.l.], 2005. Disponível em: <[http://http://www.iso.org/iso/home.html](http://www.iso.org/iso/home.html)>. Acesso em: 20 novembro 2012.
- ISR.ELECTRIC.CO. *Test Report of Sample “Power Quality Data Center Type Elspec G4400”*. Meter Testing Laboratories Departament Standards Laboratory - Israel Electric Co, 2007.
- MEDEIROS, J.; BRASIL, D.; RIBEIRO, P.; OLIVEIRA, J.; DELAIBA, A. Assessing the accuracy of power quality instrumentation. In: *Harmonics and Quality of Power, 2004. 11th International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2004. p. 696 – 699.
- MERTENS, E. A. J.; SUEMATU, A. K.; J., C.; U., A. S.; S., B. H.; D., B. B.; N., B. F.; T., S. K. Medição da qualidade da energia elétrica - protocolo, padronização e certificação. In: *Anais da VIII Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica CBQEE - Blumenau - SC*. [S.l.: s.n.], 2009.
- MEYER, J.; SCHEGNER, P.; DOMAGK, M.; KUNTNER, R.; HILLENBRAND, F. Automated test system for accuracy verification of power quality measurement instruments. In: *Electricity Distribution - Part 1, 2009. CIRED 2009. 20th International Conference and Exhibition on*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1 –4. ISSN 0537-9989.
- MÜLLER, G. *Metodologia para a implementação de sistema de gestão em laboratórios de ensaio e calibração*. Dissertação (Projeto de Graduação) — Universidade de Brasília, 2007.

- NEUMANN, R. The importance of iec 61000-4-30 class A for the coordination of power quality levels is it important? In: *Electrical Power Quality and Utilisation, 2007. EPQU 2007. 9th International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 1 –4.
- PRODIST. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Módulo 8, Qualidade da Energia Elétrica*. 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo8_Revisao_1_Retificacao_1-.pdf>. Acesso em: 20 novembro 2012.
- PSL. *IEC 61000-4-30 – Power Quality Measurement Methods Compliance Report*. Power Standards Lab, 2006.
- SILVEIRA, C. V. *Condições Ambientais - Sistemas Metrológicos - Padrões*. [S.l.], 2005.
- SOUSA, K. G. de. *Metodologia para a implementação de sistema de qualidade em laboratórios usando as “boas praticas de laboratório”*. Dissertação (Projeto de Graduação) — Universidade de Brasília, 2007.
- TEIXEIRA, M. D. *Uma Estrutura Laboratorial para Testes de Desempenho de Equipamentos no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Uberlândia, 2003.
- VIM. *Vocabulário Internacional de Metrologia Conceitos Fundamentais e Gerais Termos Associados*. [S.l.], 2009. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/>>. Acesso em: 20 novembro 2012.

Apêndice A

Caderno Representante

A.1 Considerações Iniciais

A seguir, é apresentado o Caderno Representante, o qual faz parte do processo da aplicação da metodologia desenvolvida neste trabalho. O caderno é formado por perguntas relacionadas as características do IMA, com o objetivo de fornecer um guia do mesmo enquanto a aplicação da metodologia.

O caderno é dividido em duas partes. Na primeira parte indaga-se sobre as informações básicas do representante e do IMA. Já a segunda, aprofunda-se sobre os protocolos de medição do IMA.

A.2 Informações sobre o Representante e o Instrumento a Ser Avaliado

A.2.1 Informações sobre o Representante

Nome:

Telefone:

Endereço:

Contato eletrônico:

A.2.2 Informações sobre o Instrumento

Fabricante:

Modelo:

Número de série:

Quais são os acessórios requeridos para a execução dos testes?

Manual do usuário e especificações (anexar os arquivos pertinentes).

Em Português? Sim Não.

Em Inglês? Sim Não.

O instrumento é Classe **A** ou Classe **S**? Veja item 4.1 da norma IEC 61000-4-30 (IEC-4-30).

Parâmetro	Avalia o Parâmetro	Classe?
Frequência elétrica	Sim / Não	A / S
Magnitude da tensão elétrica	Sim / Não	A / S
Flutuações de tensão	Sim / Não	A / S
Afundamentos	Sim / Não	A / S
Elevações	Sim / Não	A / S
Interrupções	Sim / Não	A / S
Desequilíbrio de tensão	Sim / Não	A / S
Tensões harmônicas	Sim / Não	A / S
Tensões Inter-harmônicas	Sim / Não	A
Sinais de comunicação de tensão através da rede elétrica;	Sim / Não	A
Parâmetros de desvio superior e inferior	Sim / Não	A

A.3 Informações sobre os Protocolos de Medição do Instrumento a Ser Avaliado

A.3.1 Aspectos Gerais

1. Na interface do usuário, como é sincronizado o relógio de tempo real (RTC) por sinal externo? Veja item 4.6 da norma IEC-4-30.
2. Na interface do usuário, caso não haja sinal externo, como é o procedimento de ajuste do RTC? Veja item 4.6 da norma IEC-4-30.
3. No manual do usuário, o instrumento declara uma incerteza menor de 16 ms no RTC? Veja item 4.6 da norma IEC-4-30.
4. No manual do usuário, quando não há sincronização, o instrumento declara uma incerteza menor que 1 segundo em um período de 24 horas no RTC? Veja item 4.6 da norma IEC-4-30.

5. Na interface do usuário, como é possível determinar se as medições das grandezas frequência, magnitude da tensão, desequilíbrio de tensão, tensões harmônicas, inter-harmônicas, sinais de telecomando e medição de parâmetros de desvio superior e inferior foram efetuadas? Veja item 4.7 da norma IEC-4-30.
6. No manual do usuário, em regime permanente, qual é a tensão eficaz fase-neutro e fase-fase máxima de suportabilidade do instrumento?
7. No manual do usuário, o instrumento resiste a transitórios repetidos de 6kV (IEC 61180)? Veja item 6.1 da norma IEC-4-30.
8. No manual do usuário, o instrumento resiste a transitórios rápidos de 4kV (IEC 61000-4-30)? Veja item 6.1 da norma IEC-4-30.

A.3.2 Frequência Elétrica

1. No manual do usuário, qual é o canal de referência do instrumento? Veja item 5.1.3 da norma IEC-4-30.
2. Na interface do usuário, onde é possível obter as medições instantâneas (10 s)? Veja item 5.1.1 da norma IEC-4-30.
3. Na interface do usuário, como é possível gerar um arquivo com as medições da frequência elétrica a cada 10 s do RTC? É preciso configurar? Como? Veja item 5.1.1 da norma IEC-4-30.

A.3.3 Magnitude da Tensão Elétrica

1. Na interface do usuário, onde é possível obter as medições instantâneas a cada 12 ciclos? Veja item 5.2.1 da norma IEC-4-30.
2. Na interface do usuário, como é possível gerar um arquivo com as medições da magnitude de tensão a cada 12 ciclos, 180 ciclos, 10 minutos do RTC e 2 horas do RTC? É preciso configurar? Como? Veja item 5.2.1 e 5.2.4 da norma IEC-4-30.

A.3.4 Flutuação de Tensão (Cintilação)

1. Na interface do usuário, onde é possível obter as medições instantâneas da cintilação (Output 5 - norma IEC 61000-4-15)? Veja item 5.2.1 da norma IEC-4-30.

2. Na interface do usuário, como é possível gerar um arquivo com as medições do Pst a cada 10 minutos do RTC e do Plt a cada 2 horas do RTC? É preciso configurar? Como? veja item 5.2.4 da norma IEC-4-30.

A.3.5 Afundamentos, Elevações e Interrupções

1. Na interface do usuário, como é possível gerar um arquivo com os afundamentos e as elevações detectados com os valores da duração e amplitude? É preciso configurar? Como?

2. Na interface do usuário, como é possível gerar um arquivo com as interrupções detectadas com os valores da duração? É preciso configurar? Como?

3. Na interface do usuário, como é possível declarar a tensão de alimentação declarada (U_{din})?

4. Na interface do usuário, como é possível declarar os limiares de detecção dos afundamentos e das elevações?

5. Na interface do usuário, como é possível declarar o limiar de detecção das interrupções?

6. O instrumento suporta tensões de 200 V fase-neutro por um período máximo de 3 segundos?

A.3.6 Desequilíbrio de Tensão (sequência negativa e sequência positiva)

1. O instrumento realiza as medições das sequências negativa e zero?

2. Na interface do usuário, onde é possível obter as medições instantâneas das componentes de sequência a cada 12 ciclos? Veja item 5.7.1 da norma IEC-4-30.

3. Na interface do usuário, como é possível gerar um arquivo com as medições das componentes de sequência a cada 12 ciclos, 180 ciclos, 10 minutos do RTC e 2 horas do RTC? É preciso configurar? Como? Veja item 5.7.1 da norma IEC-4-30.

A.3.7 Tensões Harmônicas

- 1.No manual do usuário, qual é a máxima harmônica que o instrumento pode medir?
- 2.No manual do usuário, o instrumento possui *filter-Atilansing* conforme as especificações da norma IEC 61000-4-7?
- 3.Na interface do usuário, onde é possível obter as medições instantâneas das harmônicas individuais e da distorção harmônica total (DHT) a cada 12 ciclos? Veja item 5.8.1 da norma IEC-4-30.
- 4.Na interface do usuário, onde é possível gerar um arquivo com as medições das harmônicas individuais e da DHT a cada 12 ciclos, 180 ciclos, 10 minutos do RTC e 2 horas do RTC? É preciso configurar? Como? Veja item 5.8.1 e 5.8.4 da norma IEC-4-30.

A.3.8 Tensões Inter-Harmônicas

- 1.Na interface do usuário, onde é possível obter as medições instantâneas de inter-harmônicas a cada 12 ciclos? Veja item 5.9.1 da norma IEC-4-30.
- 2.Na interface do usuário, como é possível gerar um arquivo com as medições de inter-harmônicas a cada 12 ciclos, 180 ciclos, 10 minutos do RTC e 2 horas do RTC? É preciso configurar? Como? Veja item 5.9.1 e 5.9.4 da norma IEC-4-30.

A.3.9 Sinais de Comunicação Através da Rede Elétrica

- 1.No manual do usuário, como é a interpretação do valor do sinal de tensão de comunicação? (por exemplo, tensão máxima, valor RMS, etc.)
- 2.Na interface do usuário, onde é possível obter o valor do sinal de comunicação?
- 3.Na interface do usuário, como se configura o limiar de início da comunicação?
- 4.Na interface do usuário, como se configura o tempo de gravação do sinal de comunicação?
- 5.No manual do usuário, qual é o tempo máximo de gravação da sinal de comunicação?

A.3.10 Parâmetros de Desvio Superior e Inferior

1. Na interface do usuário, onde é possível obter as medições instantâneas destes parâmetros a cada 12 ciclos? Veja item 5.12.1 da norma.
2. Na interface do usuário, como é possível gerar um arquivo com as medições destes parâmetros a cada 12 ciclos, 180 ciclos, 10 minutos do RTC e 2 horas do RTC? É preciso configurar? Como? Veja item 5.12.1 da norma IEC-4-30.

Apêndice B

Guia dos Testes de Desempenho Funcional de Instrumentos de Medição da Qualidade da Energia Elétrica

B.1 Considerações iniciais

O presente guia é elaborado com o objetivo de apresentar as estratégias empregadas para os testes de desempenho funcional de instrumentos de medição da QEE classe A e classe S. De fato, tem-se neste documento os procedimentos recomendados para a avaliação dos instrumentos de medição das grandezas da QEE.

B.1.1 Definições

Os termos destes procedimentos estão de acordo com a norma IEC 61000-4-30 (2008) e o VIM (2009).

B.1.2 Siglas

IMA – Instrumento de medição em avaliação (equipamento submetido aos testes);

SMP – Sistema de medição padrão;

QEE – Qualidade da energia elétrica;

RTC – Relógio de Tempo Real; e

U_{din} – Tensão de alimentação declarada.

B.1.3 Classificação dos Testes de Desempenho

Os testes de desempenho funcional em instrumentos de medição da QEE foram classificados em três classes, a saber, classe Q (questionário), classe V (verificação) e classe C (calibração). Estas classes são definidas na seção 4.2 do presente documento.

B.1.4 Equipamentos e Materiais

- Fonte programável de tensões trifásicas;
- Instrumento de medição de referência, se for necessário; e
- Computador de programação do SMP.

B.1.5 Condições do Sistema Elétrico

O desempenho dos instrumentos é realizado sobre um sistema trifásico estrela aterrado com neutro, a frequência nominal de **60 Hz** e a tensão de alimentação declarada (U_{din}) igual a **127 V fase-neutro**.

B.1.6 Condições Ambientais

Os instrumentos devem ser mantidos pelo menos 30 minutos nas condições ambientais, mencionadas a seguir, antes de se iniciar os ensaios:

- Temperatura (23 ± 3) °C;
- Umidade (50 ± 3) %.

As condições do ambiente do local da execução dos testes devem ser registradas no relatório técnico.

B.1.7 Precauções e Preparações

O técnico responsável deve estudar adequadamente o IMA, antes da execução dos testes. Este estudo é auxiliado pelos manuais do instrumento e o Caderno Representante.

Se não houver nenhuma indicação específica para o IMA ou o SMP, um pré-aquecimento deve ser feito deixando os mesmos ligados no interior do laboratório por um período mínimo de 30 minutos antes da tomada de dados.

B.2 Guia de Teste de Aspectos Gerais

B.2.1 Campo de Aplicação

Este procedimento aplica-se à avaliação dos aspectos gerais de instrumentos voltados à QEE com base na norma **IEC 61000-4-30**.

Teste Tipo Q. Com o propósito de avaliar os itens 4.6 e 4.7 da mencionada norma, é realizado o seguinte questionamento:

Analísadores Classe A

- O IMA declara uma incerteza do relógio de tempo real (RTC) menor que 16,7 ms?
- O IMA declara uma tolerância do RTC menor que 1 s por um período de 24 horas, quando a sincronização de um sinal externo está indisponível?
- O IMA realiza a marcação de parâmetros de regime permanente quando da detecção de um afundamento, de uma elevação ou de uma interrupção, conforme o item 4.7 da norma?

Analísadores Classe S

- O IMA declara uma tolerância do RTC menor que 5 s por um período de 24 horas, quando a sincronização de um sinal externo está indisponível?
- O IMA realiza a marcação de parâmetros de regime permanente quando da detecção de um afundamento, de uma elevação ou de uma interrupção, conforme o item 4.7 da norma?

Teste Tipo V. Com o propósito de avaliar o item 6.1 da mencionada norma, serão executados os testes de transitório da IEC 61180 e de transitórios rápidos da IEC 61000-4-4.

Analísadores Classe A

- Teste de transitórios da IEC 61180.** Submeter o IMA no canal de referência a um transitório de 6 kV pico conforme a norma IEC 61180. Após o transitório, aplicar sobre o IMA a U_{din} a frequência de 60 Hz, e coletar a medição instantânea de tensão do canal de referência.

- **Teste de transitório rápido da IEC 61000-4-4.** Submeter o IMA no canal de referência a transitórios rápidos de 4 kV pico conforme estabelece a norma IEC 61000-4-4. Após os transitórios, aplicar sobre o IMA a U_{din} a frequência de 60 Hz, e coletar a medição instantânea de tensão do canal de referência.

B.3 Guia de Teste da Frequência Elétrica

B.3.1 Campo de Aplicação

Este procedimento aplica-se à avaliação de instrumentos de medição da frequência elétrica com base na norma **IEC 61000-4-30**.

Teste Tipo Q. Com o propósito de avaliar o item 5.1.1 da mencionada norma, é realizado o seguinte questionamento:

Analísadores Classe A e Classe S

- O IMA fornece as indicações de frequência a cada 10 segundos do tempo do RTC?

Teste Tipo V. Com o propósito de avaliar o item 5.1.1 da mencionada norma, será executado o teste de frequência denominado atenuação de harmônicas.

Analísadores Classe A e Classe S

- **Atenuação de Harmônicas.** Aplicar sobre o canal de referência do IMA o sinal descrito pela equação (B.1), por um período mínimo de 10 segundos. Ao final do teste, o IMA tem que apresentar uma amostra de frequência.

$$v(t) = \sqrt{2}U_{din} \cos(2\pi \cdot 60t) + \frac{1}{3}\sqrt{2}U_{din} \cos(2\pi \cdot 1500t + 30) \text{ V} \quad (\text{B.1})$$

Teste Tipo C. Com o propósito de avaliar os itens 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.4 e 6.1 da mencionada norma, serão executados os testes de frequência elétrica constante e variável. Os testes de frequência elétrica constante são divididos em função das condições do sistema. Estas referem-se ao grau de desequilíbrio, ao grau de flutuação e ao grau de distorção harmônica.

Analísadores Classe A e Classe S

•**Frequência Elétrica Constante - Condições 1.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinais de tensão conforme as seguintes características:

- Sistema trifásico equilibrado a U_{din} ;
- Formas de onda sem distorções harmônicas e sem flutuação de tensão;
- O teste é constituído por 9 etapas com diferentes valores de frequência (veja a Tabela B.1);
- Duração mínima das etapas: 10 segundos;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 9 amostras, ou seja, uma amostra a cada etapa.

•**Teste de Frequência Constante - Condições 2.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinais de tensão conforme as seguintes características:

- Sistema desequilibrado conforme a Tabela B.2;
- As formas de onda das tensões do sistema devem apresentar distorções harmônicas e flutuação de tensão conforme a Tabela B.2;
- O teste é constituído por 9 etapas com diferentes valores de frequência (veja a Tabela B.1), nas condições da Tabela B.2;
- Duração mínima das etapas: 10 segundos;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 9 amostras, ou seja, uma amostra a cada etapa.

• **Frequência Elétrica Constante - Condições 3.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinais de tensão conforme as seguintes características:

- Sistema desequilibrado conforme a Tabela B.3;
- As formas de onda das tensões do sistema devem apresentar distorção harmônica e flutuação de tensão conforme a Tabela B.3;
- O teste é constituído por 9 etapas com diferentes valores de frequência (veja a Tabela B.1), nas condições da Tabela B.3;
- Duração mínima das etapas: 10 segundos;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 9 amostras, ou seja, uma amostra a cada etapa.

• **Teste de Frequência Elétrica Variável.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinais de tensão conforme as seguintes características:

- Sistema trifásico equilibrado a U_{din} ;
- Formas de onda sem distorção harmônica e sem flutuação de tensão;
- O teste é constituído por 9 etapas;
- Duração mínima das etapas: 10 segundos;
- Para cada etapa a frequência varia a cada 2 segundos, periodicamente, conforme indica a Tabela B.4;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 9 amostras, ou seja, uma amostra a cada etapa.
- A Tabela B.5 apresenta as características do mencionado teste, e a Tabela B.4 exhibe como deve variar a frequência em cada etapa do teste.

B.4 Guia de Teste da Magnitude de Tensão Elétrica

Campo de Aplicação. Este procedimento aplica-se à avaliação de instrumentos de medição da magnitude de tensão elétrica com base na norma **IEC 61000-4-30**.

Tabela B.1: Valores a serem empregados nos testes de frequência elétrica constante - condições 1, 2 e 3

Etapa	Frequência [Hz]
1	52
2	54
3	56
4	58
5	60
6	62
7	64
8	66
9	68

Tabela B.2: Condições da onda de tensão no teste de frequência elétrica constante - condições 2

Grandeza	Condição
Desequilíbrio ¹	Fase A: 73 % da U_{din} Fase B: 80 % da U_{din} Fase C: 78 % da U_{din}
Distorção	10 % da 3 ^a harmônica 5 % da 5 ^a harmônica 5 % da 29 ^a harmônica 5 % da 7,5 ^a inter-harmônica
Flutuação	Pst = 1. Modulação retangular em 39 variações por minuto a um $\Delta V\%$ igual a 1,044

¹ Os ângulos de fase das tensões devem estar na condição de equilíbrio

Tabela B.3: Condições da onda de tensão no teste de frequência elétrica constante - condições 3

Grandeza	Condição
Desequilíbrio ¹	Fase A: 152 % da U_{din} Fase B: 140 % da U_{din} Fase C: 128 % da U_{din}
Distorção	10 % da 7 ^a harmônica 13 % da 5 ^a harmônica 5 % da 25 ^a harmônica 5 % da 3,5 ^a inter-harmônica
Flutuação	Pst = 4. Modulação retangular em 110 variações por minuto a um $\Delta V\%$ igual a 3,364

¹ Os ângulos de fase das tensões devem estar defasados entre si de 120 graus

Tabela B.4: Valores a serem empregados no teste de frequência elétrica variável

Etapa	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Intervalo [s]	[Hz]								
0 - 2	52	53	54	55	56	57	58	59	60
2 - 4	54	55	56	57	58	59	60	61	62
4 - 6	56	57	58	59	60	61	62	63	64
6 - 8	58	59	60	61	62	63	64	65	66
8 - 10	60	61	62	63	64	65	66	67	68

Tabela B.5: Características do teste de frequência elétrica variável

Etapa	Mínimo ¹	Máximo ²	Representativo ³
1	52	60	56
2	53	61	57
3	54	62	58
4	55	63	59
5	56	64	60
6	57	65	61
7	58	66	62
8	59	67	63
9	60	68	64

¹ Valor mínimo da frequência na etapa

² Valor máximo da frequência na etapa

³ Valor da frequência esperada na medição

Teste Tipo Q. Com o propósito de avaliar os itens 5.2.1 e 5.2.4 da mencionada norma, é realizado o seguinte questionamento:

Analísadores Classe A e Classe S

- O IMA fornece indicações da magnitude da tensão a cada 12 ciclos, conforme o item 4.4 da norma IEC 61000-4-30?
- O IMA fornece indicações da magnitude da tensão a cada 180 ciclos?
- O IMA fornece indicações da magnitude da tensão a cada 10 minutos do tempo do RTC?
- O IMA fornece indicações da magnitude da tensão a cada 2 horas do tempo do RTC?

Tipo V. Com o propósito de avaliar o item 5.2.1 da mencionada norma, serão executados os testes de magnitude de tensão denominados valor eficaz verdadeiro sinal 1 e valor eficaz verdadeiro sinal 2.

Analísadores Classe A e Classe S

- **Valor Eficaz Verdadeiro - Sinal 1.** Aplicar sobre o canal de referência do IMA uma onda triangular com valor de pico igual a $\sqrt{3}U_{din}$ a frequência de 60 Hz. No momento da aplicação do sinal, colher a medição instantânea da magnitude de tensão no canal de referência do IMA.
- **Valor Eficaz Verdadeiro - Sinal 2.** Aplicar sobre o canal de referência do IMA uma onda quadrática com valor pico igual a U_{din} a frequência de 60 Hz. No momento da aplicação do sinal, colher a medição instantânea da magnitude de tensão no canal de referência do IMA.

Testes Tipo C. Com o propósito de avaliar os itens 5.2.1, 5.2.2, 5.2.4 e 6.1 da norma, serão executados os testes de magnitude de tensão constante e variável¹. Os testes de magnitude de tensão constante são divididos em função das condições do sistema. Estas referem-se ao grau de desequilíbrio, ao grau de flutuação e à distorção harmônica. Os testes de magnitude de tensão devem avaliar as indicações requisitadas pela norma, quais sejam, 12 ciclos, 180 ciclos (3 segundos), 10 minutos e 2 horas. No entanto, a avaliação de todas estas indicações inviabiliza os testes, devido ao tempo demandado para a sua execução. Dado que o PRODIST (2008) indica a realização de medições com intervalos de 10 minutos, optou-se por este intervalo de medição.

Analísadores Classe A e Classe S

- **Magnitude de Tensão Constante - Condições 1.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:
 - Sistema trifásico equilibrado a uma frequência de 60 Hz;
 - Formas de onda sem distorções harmônicas e sem flutuação de tensão;
 - O teste é constituído por 10 etapas com diferentes valores de tensão (veja a tabela B.6);
 - Duração mínima das etapas: 10 minutos;

¹O teste de magnitude de tensão variável foi elaborado unicamente para avaliar o desempenho metrológico das medições do intervalo de 10 minutos

–Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 10 amostras para cada fase, ou seja, uma amostra por fase em cada etapa.

●**Magnitude de Tensão Constante - Condições 2.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

–Sistema desequilibrado conforme a Tabela B.7;

–As formas de onda das tensões do sistema devem apresentar distorção harmônica e flutuação de tensão conforme a Tabela B.7;

–O teste é constituído por 10 etapas com diferentes valores de magnitude de tensão (veja a Tabela B.6), nas condições da Tabela B.7;

–Duração mínima das etapas: 10 minutos;

–Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 10 amostras para cada fase, ou seja, uma amostra por fase em cada etapa.

●**Magnitude de Tensão Constante - Condições 3.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

–Sistema desequilibrado conforme a Tabela B.8;

–As formas de onda das tensões do sistema devem apresentar distorção harmônica e flutuação de tensão conforme a Tabela B.8;

–O teste é constituído por 10 etapas com diferentes valores de magnitude de tensão (veja a Tabela B.6), nas condições da Tabela B.8;

–Duração mínima das etapas: 10 minutos;

–Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 10 amostras para cada fase, ou seja, uma amostra por fase em cada etapa.

●**Magnitude de Tensão Variável** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

–Sistema trifásico equilibrado a uma frequência de 60 Hz;

–Formas de onda sem distorções harmônicas e sem flutuação de tensão;

–O teste é constituído de 10 etapas;

–Duração mínima das etapas: 10 minutos;

–Cada etapa é constituída de 1800 ciclos que apresentam valores conforme exposto nas Tabelas B.9 (Avaliação para o analisador Classe A) e B.10 ((Avaliação para o analisador Classe S). Estes intervalos de 1800 ciclos se repetem até completar 10 minutos.

- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 10 amostras para cada fase, ou seja, uma amostra por fase em cada etapa.
- As Tabelas B.11 (Classe A) e B.12 (Classe S) apresentam as características do mencionado teste.

Tabela B.6: Valores a serem empregados no teste da magnitude de tensão constante - condições 1, 2 e 3

Etapa	Classe A	Classe S
	Magnitude ¹	[%]
1	15	25
2	35	40
3	55	55
4	65	70
5	77	85
6	90	90
7	100	95
8	110	100
9	125	105
10	145	115

¹ Valor da magnitude em porcentagem da U_{din}

B.5 Guia de Teste da Flutuação da Tensão Elétrica (Cintilação)

B.5.1 Campo de Aplicação

Este procedimento aplica-se à avaliação de instrumentos de medição da flutuação de tensão elétrica com base na norma **IEC 61000-4-30**.

Teste Tipo Q. Com o propósito de avaliar os itens 5.3.1 e 5.3.4 da mencionada norma, é realizado o seguinte questionamento:

- O IMA fornece as indicações da flutuação - *Output 5*, conforme a norma IEC 61000-4-15?
- O IMA fornece indicações do Pst a cada 10 minutos do tempo absoluto do RTC?

Tabela B.7: Condições da onda de tensão no teste da magnitude de tensão constante - condições
2

Grandeza	Condição
Frequência	59 Hz
Desequilíbrio ¹	Fase A: conforme a Tabela B.6 Fase B: 109,59 % da tensão na fase A Fase C: 119,18 % da tensão na fase A
Distorção	10 % da 3 ^a harmônica 5 % da 5 ^a harmônica 5 % da 29 ^a harmônica 5 % da 7,5 ^a inter-harmônica
Flutuação	Pst = 1. Modulação retangular em 39 variações por minuto a um $\Delta V\%$ igual a 1,044

¹ Os ângulos de fase das tensões devem estar defasados entre si de 120 graus

Tabela B.8: Condições da onda de tensão no teste de magnitude de tensão constante - condições
3

Grandeza	Condição
Frequência	61 Hz
Desequilíbrio ¹	Fase A: conforme a Tabela B.6 Fase B: 92,10 % da tensão na fase A Fase C: 84,21 % da tensão na fase A
Distorção	10 % da 7 ^a harmônica 13 % da 5 ^a harmônica 5 % da 25 ^a harmônica 5 % da 3,5 ^a inter-harmônica
Flutuação	Pst = 4. Modulação retangular em 110 variações por minuto a um $\Delta V\%$ igual a 3,364

¹ Os ângulos de fase das tensões devem estar defasados entre si 120 graus

Tabela B.9: Valores a serem empregados no teste de magnitude de tensão variável - Classe A

Etapa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Intervalo [ciclos]	Valores em porcentagem da tensão nominal									
1 - 180	12	32	52	62	74	87	97	107	122	142
181 - 360	13	33	53	63	75	88	98	108	123	143
361 - 540	14	34	54	64	76	89	99	109	124	144
541 - 720	15	35	55	65	77	90	100	110	125	145
721 - 900	16	36	56	66	78	91	101	111	126	146
901 - 1080	17	37	57	67	79	92	102	112	127	147
1081 - 1260	18	38	58	68	80	93	103	113	128	148
1261 - 1440	16	36	56	66	78	91	101	111	126	146
1441 - 1620	14	34	54	64	76	89	99	109	124	144
1621 - 1800	12	32	52	62	74	87	97	107	122	142

+ Os 1800 ciclos de cada etapa do teste devem ser repetidos pelo menos 20 vezes sucessivamente para se ter 10 minutos por etapa.

Tabela B.10: Valores a serem empregados no teste de magnitude de tensão variável - Classe S

Etapa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Intervalo [ciclos]	Valores em porcentagem da tensão nominal									
1 - 180	22	38	52	68	82	88	92	98	102	112
181 - 360	23	39	53	69	83	89	93	99	103	113
361 - 540	24	40	54	70	84	90	94	100	104	114
541 - 720	25	41	55	71	85	91	95	101	105	115
721 - 900	26	42	56	72	86	92	96	102	106	116
901 - 1080	27	43	57	73	87	93	97	103	107	117
1081 - 1260	28	44	58	74	88	94	98	104	108	118
1261 - 1440	26	42	56	72	86	92	96	102	106	116
1441 - 1620	24	40	54	70	84	90	94	100	104	114
1621 - 1800	22	38	52	67	82	88	92	98	102	112

+ Os 1800 ciclos de cada etapa do teste devem ser repetidos pelo menos 20 vezes sucessivamente para se ter 10 minutos por etapa.

Tabela B.11: Características da magnitude no teste da magnitude de tensão variável - Classe A

Etapa	Fase	Mínimo ¹	Máximo ²	Representativo ³
		Valores em porcentagem da U_{din}		
1		12	18	14,829
2		32	38	34,755
3		52	58	54,735
4		62	68	64,729
5	A, B, e C	80	83	76,725
6		87	93	89,721
7		97	103	99,719
8		107	113	109,717
9		122	128	124,715
10		142	148	144,713

¹ Valor mínimo da magnitude na etapa

² Valor máximo da magnitude na etapa

³ Valor esperado na medição

Tabela B.12: Características da magnitude no teste da magnitude de tensão variável - Classe S

Etapa	Fase	Mínimo ¹	Máximo ²	Representativo ³
		Valores em porcentagem da U_{din}		
1		22	28	24,777
2		38	44	40,747
3		52	58	54,735
4		68	74	70,727
5	A, B, e C	82	88	84,722
6		88	94	90,721
7		92	98	94,720
8		98	104	100,719
9		102	108	104,718
10		113	119	115,716

¹ Valor mínimo da magnitude na etapa

² Valor máximo da magnitude na etapa

³ Valor esperado na medição

- O IMA fornece indicações do Plt a cada 2 horas do tempo absoluto do RTC?

Testes Tipo C. Com o propósito de avaliar os itens 5.3.2 e 6.2.1 da norma, serão executados os testes de flutuação retangular de tensão constante. Estes testes são divididos em função das condições do sistema. Estas referem-se ao grau de desequilíbrio, ao grau de flutuação e à distorção harmônica. Os testes de flutuação retangular de tensão devem avaliar as indicações requisitadas pela norma, a saber, *Output 5*, Pst e Plt. No entanto, a avaliação de todas estas indicações inviabiliza os testes, devido ao tempo demandado para a sua execução. Dado que o PRODIST (2008) indica a realização das medições do Pst, optou-se por esta medição.

Analisadores Classe A e Classe S

- Flutuação Retangular de Tensão - Condições 1.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

- Sistema trifásico equilibrado a U_{din} e a frequência de 60 Hz;
- Formas de onda sem distorções harmônicas;
- Se IMA fosse classe A, o teste é constituído por 10 etapas com diferentes valores de Pst (veja a Tabela B.13);
- Se IMA fosse classe S, o teste é constituído por 4 etapas com diferentes valores de Pst (veja a Tabela B.14);
- Duração mínima das etapas: 10 minutos;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 10 ou 4 amostras segundo a classe para cada fase, ou seja, uma amostra por fase em cada etapa.
- As Tabelas B.13 e B.14 apresentam os valores do Pst do mencionado teste. A Tabela B.15 exhibe como se deve modificar a tensão de forma retangular para gerar o Pst desejado.

- Flutuação Retangular de Tensão - Condições 2** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

- Sistema desequilibrado conforme a Tabela B.16;
- As formas de onda das tensões do sistema devem apresentar distorção harmônica conforme a Tabela B.16;
- Se IMA fosse classe A, o teste é constituído por 10 etapas com diferentes valores de Pst (veja a Tabela B.13), nas condições da Tabela B.16;

- Se IMA fosse classe S, o teste é constituído por 4 etapas com diferentes valores de Pst (veja a Tabela B.14), nas condições da Tabela B.16;
- Duração mínima das etapas: 10 minutos;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 10 ou 4 amostras segundo a classe para cada fase, ou seja, uma amostra por fase em cada etapa.

●**Flutuação Retangular de Tensão - Condições 3** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

- Sistema desequilibrado conforme a Tabela B.17;
- As formas de onda das tensões do sistema devem apresentar distorção harmônica conforme a Tabela B.17;
- Se IMA fosse classe A, o teste é constituído por 10 etapas com diferentes valores de Pst (veja a Tabela B.13), nas condições da Tabela B.17;
- Se IMA fosse classe S, o teste é constituído por 4 etapas com diferentes valores de Pst (veja a Tabela B.14), nas condições da Tabela B.17;
- Duração mínima das etapas: 10 minutos;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 10 ou 4 amostras segundo a classe para cada fase, ou seja, uma amostra por fase em cada etapa.

Tabela B.13: Valores do Pst nos testes flutuação retangular de tensão - condições 1, 2 e 3 - classe A

Etapa	Fase	Pst
1		0,5
2		1,5
3		2,5
4		3,5
5	A, B, e C	4,5
6		5,5
7		6,5
8		7,5
9		8,5
10		9,5

Tabela B.14: Valores do Pst nos testes flutuação retangular de tensão - condições 1, 2 e 3 - classe S

Etapa	Fase	Pst
1		0,5
2	A, B, e C	1,5
3		2,5
4		3,5

Tabela B.15: Flutuação retangular da tensão nos testes de flutuação de tensão - condições 1, 2 e 3

Pst	$\Delta V/V[\%]$	VRM ¹
0,5	0,2735	
1,5	0,8205	
2,5	1,3675	
3,5	1,9145	
4,5	2,4615	1620
5,5	3,0085	
6,5	3,5555	
7,5	4,1025	
8,5	4,6495	
9,5	5,1965	

¹ Variações Retangulares por Minuto

Tabela B.16: Condições da onda de tensão no teste da flutuação retangular de tensão - condições 2

Grandeza	Condição
Frequência	59 Hz
Desequilíbrio ¹	Fase A: 73 % da U_{din} Fase B: 80 da % U_{din} Fase C: 78 % da U_{din}
Distorção	10 % da 3 ^a harmônica 5 % da 5 ^a harmônica 5 % da 29 ^a harmônica 5 % da 7,5 ^a inter-harmônica

¹ Os ângulos de fase das tensões devem estar defasados entre si de 120 graus

Tabela B.17: Condições da onda de tensão no teste da flutuação retangular de tensão - condições 3

Grandeza	Condição
Frequência	61 Hz
Desequilíbrio ¹	Fase A: 152 % da U_{din} Fase B: 140 % da U_{din} Fase C: 128 % da U_{din}
Distorção	10 % da 7 ^a harmônica 13 % da 5 ^a harmônica 5 % da 25 ^a harmônica 5 % da 3,5 ^a inter-harmônica

¹ Os ângulos de fase das tensões devem estar defasados entre si de 120 graus

B.6 Guia de Teste de Afundamentos e de Elevações da Tensão Elétrica

B.6.1 Campo de Aplicação

Este procedimento aplica-se à avaliação de instrumentos de medição de afundamentos e de elevações de tensão elétrica com base na norma **IEC 61000-4-30**.

Antes de executar os testes descritos a seguir, ajustar no IMA a tensão de histereses a um 2 % da U_{din} e desabilitar, se houver, o cálculo da tensão de referência deslizante.

Teste Tipo Q. Com o propósito de avaliar os itens 5.4.2.1 e 5.4.3.1 da mencionada norma, é realizado o seguinte questionamento:

Analísadores Classe A e Classe S

- O IMA, ao registrar um afundamento, indica a amplitude e a duração da mesmo?
- O IMA, ao registrar uma elevação, indica a amplitude e a duração da meIMA?

Testes Tipo C. Com o propósito de avaliar os itens 5.4.2.2, 5.4.3.2, 5.4.5.1 e 5.4.5.2 da mencionada norma, serão executados os testes de amplitude e duração do afundamento, e amplitude e duração da elevação.

Analísadores Classe A e Classe S

- Antes de se iniciar com a execução dos testes, deve-se observar:
 - Todos os afundamentos e elevações ocorridos (eventos) devem ser precedidas de um sinal de tensão com características conforme mencionado na Tabela B.18 (pré-evento);
 - Tem-se um afundamento de tensão quando a amplitude da tensão está abaixo de 90 % da U_{din} ;
 - Tem-se elevação de tensão quando a amplitude da tensão está acima de 110 % da U_{din} ;
 - O IMA deve indicar a hora e a data de ocorrência do evento; e
 - O IMA deve indicar, de forma clara para cada fase, as características do evento.

- **Teste da Amplitude do Afundamento.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:
 - O teste é constituído de 9 afundamentos em cada fase, ou seja, 9 afundamentos na fase A, 9 afundamentos na fase B e 9 afundamentos na fase C (veja a Tabela B.19);
 - Os afundamentos a serem gerados são realizados separadamente para cada uma das fases. Assim, ao se realizar um afundamento na fase A, as fases B e C devem possuir os valores do pré-evento (veja a Tabela B.18);
 - Duração dos afundamentos: 1 segundo;
 - Tempo entre os inícios dos afundamentos: 1 minuto;
 - Ao final do teste, o instrumento de medição tem que apresentar um total de 9 amostras de amplitude do afundamento para cada fase.

- **Teste da Duração do Afundamento.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:
 - O teste é constituído de 10 afundamentos em cada fase, ou seja, 10 afundamentos na fase A, 10 afundamentos na fase B e 10 afundamentos na fase C (veja Tabela B.20);
 - Os afundamentos a serem gerados são realizados separadamente para cada uma das fases. Assim, ao se realizar um afundamento na fase A, as fases B e C devem possuir os valores do pré-evento (veja a Tabela B.18);

- Amplitude dos afundamentos: 70 % da U_{din} ;
- Tempo entre os inícios dos afundamentos: 1 minuto; e
- Ao final do teste, o instrumento de medição tem que apresentar um total de 10 amostras de duração do afundamento para cada fase.

●**Teste da Amplitude da Elevação.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

- O teste é constituído de 9 elevações em cada fase, ou seja, 9 elevações na fase A, 9 elevações na fase B e 9 elevações na fase C (veja Tabela B.21);
- As elevações a serem geradas são realizadas separadamente para cada uma das fases. Assim, ao se realizar uma elevação na fase A, as fases B e C devem possuir os valores do pré-evento, Tabela B.18.
- Duração das elevações: 1 segundo;
- Tempo entre os inícios das elevações: 1 minuto;
- Ao final do teste, o instrumento de medição tem que apresentar um total de 9 amostras de amplitude da elevação para cada fase.

●**Teste da Duração da Elevação.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

- O teste é constituído de 10 elevações em cada fase, ou seja, 10 elevações na fase A, 10 elevações na fase B e 10 elevações na fase C (veja Tabela B.22);
- As elevações a serem geradas são realizadas separadamente para cada uma das fases. Assim, ao se realizar uma elevação na fase A, as fases B e C devem possuir os valores do pré-evento, Tabela B.18.
- Amplitude das elevações: 130 % da U_{din} ;
- Tempo entre os inícios das elevações: 1 minuto; e
- Ao final do teste, o instrumento de medição tem que apresentar um total de 10 amostras de duração da variação para cada fase.

Tabela B.18: Características do pré-evento

Fase	Frequência	Tensão
A,B e C	60 Hz	100 % da U_{din}

Tabela B.19: Características do teste da amplitude do afundamento

Evento	Duração	Amplitude ¹
	[s]	[%]
1	1	5
2	1	15
3	1	25
4	1	35
5	1	45
6	1	55
7	1	65
8	1	75
9	1	85

¹ Valor da Amplitude em porcentagem da U_{din}

B.7 Guia de Teste de Interrupções da Tensão Elétrica

Campo de Aplicação. Este procedimento aplica-se à avaliação de instrumentos de medição de interrupções de tensão elétrica com base na norma **IEC 61000-4-30**.

Antes de se executar os testes descritos a seguir, ajuste no IMA a tensão de histereses a um 2 % da U_{din} e desabilite, se houver, o cálculo da tensão de referência deslizante.

Testes Tipo Q. Com o propósito de avaliar o item 5.5.2 da mencionada norma, é realizado o seguinte questionamento:

Analísadores Classe A e Classe S

- O IMA, ao registrar uma interrupção, indica a duração da meIMA, conforme o item 5.5.2 da norma IEC 61000-4-30?

B.7.1 Teste Tipo Classe C

Com o propósito de avaliar em parte os item 5.5.1, 5.5.2 e 5.5.3 da mencionada norma, será executado o teste da duração da interrupção.

Tabela B.20: Características do teste da duração do afundamento

Evento	Duração [s]	Amplitude ¹ [%]
1	0,2	70
2	0,5	70
3	0,8	70
4	1,1	70
5	1,4	70
6	1,7	70
7	2,0	70
8	2,3	70
9	2,6	70
10	2,9	70

¹ Valor da Amplitude em porcentagem da U_{din}

Tabela B.21: Características do teste da amplitude da elevação

Evento	Duração [s]	Amplitude ¹ [%]
1	1	114
2	1	118
3	1	122
4	1	126
5	1	130
6	1	134
7	1	138
8	1	142
9	1	146

¹ Valor da Amplitude em porcentagem da U_{din}

Tabela B.22: Características do teste da duração da elevação

Evento	Duração [s]	Amplitude ¹ [%]
1	0,2	130
2	0,5	130
3	0,8	130
4	1,1	130
5	1,4	130
6	1,7	130
7	2,0	130
8	2,3	130
9	2,6	130
10	2,9	130

¹ Valor da Amplitude em porcentagem da U_{din}

Analísadores Classe A e Classe S

- Antes de se iniciar com a execução dos testes, deve-se observar:
 - Todas as interrupções ocorridas (eventos) devem ser precedidas de um sinal de tensão com características conforme mencionado na Tabela B.18 (pré-evento);
 - Tem-se uma interrupção de tensão quando a amplitude da tensão de todas as fases está abaixo de 10 % da U_{din} ;
 - O IMA deve indicar a hora e a data de ocorrência do evento; e
 - O IMA deve indicar, de forma clara para cada fase, as características do evento.

- **Teste da Duração da Interrupção.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:
 - O teste é constituído de 10 interrupções (veja Tabela B.23);
 - Amplitude da tensão em suas três fases: 0 V;
 - Tempo entre os inícios das elevações: 1 minuto; e
 - Ao final do teste, o instrumento de medição tem que apresentar um total de 10 amostras da duração da interrupção.

Tabela B.23: Características do teste da duração da interrupção

Evento	Duração ¹ [s]
1	0,2
2	0,5
3	0,8
4	1,1
5	1,4
6	1,7
7	2,0
8	2,3
9	2,6
10	2,9

¹ Valor da Amplitude em porcentagem da U_{din}

B.8 Guia de Teste do Desequilíbrio de Tensão Elétrica

Campo de Aplicação . Este procedimento aplica-se à avaliação de instrumentos de medição do desequilíbrio de tensão elétrica com base na norma **IEC 61000-4-30**.

Testes Tipo Q. Com o propósito de avaliar os itens 5.7.1 e 5.7.4 da mencionada norma, é realizado o seguinte questionamento:

Analísadores Classe A e Classe S

- O IMA fornece as indicações do fator de desequilíbrio de sequência negativa a cada 12 ciclos?
- O IMA fornece as indicações do fator de desequilíbrio de sequência negativa a cada 180 ciclos?
- O IMA fornece as indicações do fator de desequilíbrio de sequência negativa a cada 10 minutos do tempo absoluto do RTC?
- O IMA fornece as indicações do fator de desequilíbrio de sequência negativa a cada 2 horas do tempo absoluto do RTC?

Analísadores Classe A

- O IMA fornece as indicações do fator de desequilíbrio de seqüência zero cada 12 ciclos?
- O IMA fornece as indicações do fator de desequilíbrio de seqüência zero a cada 180 ciclos?
- O IMA fornece as indicações do fator de desequilíbrio de seqüência zero a cada 10 minutos do tempo absoluto do RTC?
- O IMA fornece as indicações do fator de desequilíbrio de seqüência zero a cada 2 horas do tempo absoluto do RTC?

Testes Tipo V. Com o propósito de avaliar o item 5.7.1 da mencionada norma, serão executados os testes de componentes simétricas de seqüência negativa e o teste de componentes simétricas de seqüência zero.

Analísadores Classe A e Classe S

- Teste de Componentes Simétricas Seqüência Negativa.** Aplicar sobre o IMA o sistema trifásico descrito pelas equações (B.2). No momento da aplicação das tensões, colher a medição instantânea do fator de desequilíbrio de seqüência negativa por parte do IMA.

Analísadores Classe A

- Teste de Componentes Simétricas Seqüência Zero.** Aplicar sobre o IMA o sistema trifásico descrito pelas equações (B.2). No momento da aplicação das tensões, colher a medição instantânea do fator de desequilíbrio de seqüência zero por parte do IMA.

$$\begin{aligned}
 v_A(t) &= \sqrt{2}U_{din} \cos(2\pi \cdot 60t) \text{ V} \\
 v_B(t) &= \sqrt{2}U_{din} \cos(2\pi \cdot 60t + 249) \text{ V} \\
 v_C(t) &= \sqrt{2}U_{din} \cos(2\pi \cdot 60t + 125) \text{ V}
 \end{aligned}
 \tag{B.2}$$

Testes Tipo C. Com o propósito de avaliar os itens 5.7.2, 5.7.4, e 6.1 da norma, serão executados os testes de desequilíbrio de tensão constante e variável². Os testes de desequilíbrio de tensão constante são divididos em função das condições do sistema. Estas referem-se ao grau de flutuação e à distorção harmônica. Os testes de

²O teste de desequilíbrio de tensão variável foi elaborado unicamente para avaliar o desempenho metrológico das medições do intervalo de 10 minutos

desequilíbrio de tensão devem avaliar as indicações requisitadas pela norma, a saber, 12 ciclos, 180 ciclos (3 segundos), 10 minutos e 2 horas. No entanto, a avaliação de todas estas indicações inviabiliza os testes, devido ao tempo demandado para a sua execução. Dado que o PRODIST (2008) indica a realização de medições com intervalos de 10 minutos, optou-se por este intervalo de medição.

Analísadores Classe A e Classe S

• **Teste de Desequilíbrio de Tensão Constante - Condições 1.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

- Frequência do sistema: 60 Hz;
- Formas sem distorções e flutuação de tensão;
- O teste é constituído por 5 etapas com diferentes valores de desequilíbrio de tensão (veja a Tabela B.24), conforme as condições dos fasores das tensões mostrados na Tabela B.25;
- Duração mínima das etapas: 10 minutos; e
- Se IMA fosse classe A, ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 5 amostras para cada fator de desequilíbrio, ou seja, uma amostra a cada etapa para cada fator de desequilíbrio;
- Se IMA fosse classe S, ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 5 amostras para o fator de desequilíbrio de sequência zero.

• **Teste de Desequilíbrio de Tensão Constante - Condições 2.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

- As formas de onda das tensões do sistema devem apresentar distorção harmônica e flutuação de tensão conforme a Tabela B.26;
- O teste é constituído por 5 etapas com diferentes valores de desequilíbrio de tensão (veja as Tabelas B.24 e B.25), nas condições da Tabela B.26;
- Duração mínima das etapas: 10 minutos;
- Se IMA fosse classe A, ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 5 amostras para cada fator de desequilíbrio, ou seja, uma amostra a cada etapa para cada fator de desequilíbrio;
- Se IMA fosse classe S, ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 5 amostras para o fator de desequilíbrio de sequência zero.

•**Teste de Desequilíbrio de Tensão Constante - Condições 3.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

- As formas de onda das tensões do sistema devem apresentar distorção harmônica e flutuação de tensão conforme a Tabela B.27;
- O teste é constituído por 5 etapas com diferentes valores do desequilíbrio de tensão (veja as Tabelas B.24 e B.25), nas condições da Tabela B.27;
- Duração mínima das etapas: 10 minutos;
- Se IMA fosse classe A, ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 5 amostras para cada fator de desequilíbrio, ou seja, uma amostra a cada etapa para cada fator de desequilíbrio;
- Se IMA fosse classe S, ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 5 amostras para o fator de desequilíbrio de sequência zero.

Analísadores Classe A

•**Teste de Desequilíbrio de Tensão Variável.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

- Frequência do sistema: 60 Hz;
- Formas de onda sem distorções harmônicas e sem flutuação de tensão;
- O teste é constituído de 5 etapas;
- Duração mínima das etapas: 10 minutos;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 5 amostras de fator de desequilíbrio de sequência negativa e 5 amostras do fator de desequilíbrio de sequência zero, ou seja, uma amostra a cada etapa para cada fator de desequilíbrio; e
- Cada etapa é constituída de 1800 ciclos que apresentam os valores conforme exposto na Tabela B.28. Estes intervalos de 1800 ciclos se repetem até completar 10 minutos.
- A Tabela B.29 apresenta as características do mencionado teste.

Tabela B.24: Características do teste de desequilíbrio de tensão constante - condições 1, 2 e 3

Etapa	u_2 [%]	u_o [%]
1	1,194	1,194
2	2,100	3,374
3	3,265	3,321
4	4,000	1,531
5	4,700	1,948

Tabela B.25: Valores dos fasores da tensão no teste de desequilíbrio de tensão constante - condições 1, 2 e 3

Etapa	Fase	Magnitude ¹ [%]	Ângulo de Fase
1	A	103	0
	B	100	240
	C	99	120
2	A	100	0
	B	101	238
	C	104	123
3	A	100	0
	B	100	235
	C	100	121
4	A	100	0
	B	106	239
	C	97	117
5	A	100	0
	B	99	235
	C	95	121

¹ Valor da magnitude de tensão em porcentagem da U_{din}

Tabela B.26: Condições da onda de tensão no teste do desequilíbrio de tensão constante - condições 2

Grandeza	Condição
Frequência	59 Hz
Distorção	10 % da 3 ^a harmônica 5 % da 5 ^a harmônica 5 % da 29 ^a harmônica 5 % da 7,5 ^a inter-harmônica
Flutuação	Pst = 1. Modulação retangular em 39 variações por minuto a um $\Delta V\%$ igual a 1,044

Tabela B.27: Condições da onda de tensão no teste de desequilíbrio da tensão constante - condições 3

Grandeza	Condição
Frequência	61 Hz
Distorção	10 % da 7 ^a harmônica 13 % da 5 ^a harmônica 5 % da 25 ^a harmônica 5 % da 3,5 ^a inter-harmônica
Flutuação	Pst = 4. Modulação retangular em 110 variações por minuto a um $\Delta V\%$ igual a 3,364

B.9 Guia de Teste das Tensões Harmônicas

Campo de Aplicação Este procedimento aplica-se à avaliação de instrumentos de medição das tensões harmônicas elétricas com base na norma **IEC 61000-4-30 Classe A**³.

Teste Tipo Q. Com o propósito de avaliar os itens 5.8.1 e 5.8.4 da mencionada norma, é realizado o seguinte questionamento:

- O IMA fornece as indicações das componentes harmônicas e a distorção harmônica total (DHT) a cada 12 ciclos?
- O IMA fornece as indicações das componentes harmônicas e a DHT a cada 180 ciclos?
- O IMA fornece as indicações das componentes harmônicas e a DHT a cada 10 minutos do tempo absoluto do RTC?
- O IMA fornece as indicações das componentes harmônicas e a DHT a cada 2 horas do tempo absoluto do RTC?

Testes Tipo V. Com o propósito de avaliar o item 5.8.1 da mencionada norma, será executado o teste de tensões harmônicas denominado - *filter anti-aliasing*.

Analísadores Classe A

- Teste das Tensões Harmônicas - *Filter Anti-Aliasing*.** Aplicar sobre o canal de referência do IMA o sinal descrito pela equação (B.3). No momento da aplicação do sinal, efetuar a medição instantânea da DHT.

³A indicação a utilizar para a avaliação do IMA é o valor de distorção harmônica total.

Tabela B.28: Valores dos fasores de tensão no teste de desequilíbrio de tensão variável

Ciclos	Fase	Valores dos fasores ¹ das tensões para cada etapa									
		1		2		3		4		5	
1 - 360	A	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0
	B	103	240	104	240	91	240	99	240	109	240
	C	100	120	108	120	91	120	104	120	92	120
361 - 720	A	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0
	B	102	240	97	240	109	240	92	240	106	240
	C	104	120	93	120	99	120	106	120	90	120
721 - 1080	A	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0
	B	103	240	105	240	103	240	90	240	107	240
	C	99	120	107	120	93	120	103	120	91	120
1081 - 1440	A	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0
	B	104	240	94	240	100	240	91	240	109	240
	C	104	120	99	120	109	120	104	120	93	120
1441 - 1800	A	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0
	B	103	240	105	240	107	240	90	240	107	240
	C	105	120	106	120	110	120	102	120	90	120

¹ Valor da magnitude de tensão em porcentagem da tensão nominal

⁺ Os 1800 ciclos de cada etapa do teste devem ser repetidos pelo menos 20 vezes sucessivamente para se ter 10 minutos por etapa

Tabela B.29: Valores do desequilíbrio no teste desequilíbrio de tensão variável

Etapa	$u_{-}^{1}[\%]$	$u_{o}^{2}[\%]$
1	1,437	1,437
2	2,023	2,023
3	3,084	3,084
4	4,011	4,011
5	4,690	4,690

⁺ Valores do desequilíbrio
esparados na medição

$$v(t) = \sqrt{2}U_{din} \cdot \cos(2\pi \cdot 60t) + 0,10\sqrt{2}U_{din} \cdot \cos(2\pi \cdot 60(h_{max} + 10)t) \quad V \quad (B.3)$$

Onde h_{max} é a ordem harmônica máxima medida pelo IMA. Esta especificação deve ser adquirida do manual do usuário do IMA.

Testes Tipo C. Com o propósito de avaliar os itens 5.8.1, 5.8.2, 5.8.3 e 6.1 da mencionada norma, serão executados os testes de tensões harmônicas constantes e variáveis⁴. Os testes de tensões harmônicas constantes são divididos em função das condições do sistema. Estas referem-se ao grau de desequilíbrio e ao grau da flutuação de tensão. Os testes de tensões harmônicas devem avaliar as indicações requisitados pela norma, a saber, 12 ciclos, 180 ciclos (3 segundos), 10 minutos e 2 horas. No entanto, a avaliação de todas estas indicações inviabiliza os testes, devido ao tempo demandado para a sua execução. Dado que o PRODIST (2008) indica a realização de medições com intervalos de 10 minutos, optou-se por esta medição.

Analísadores Classe A e Classe S

• **Teste de Tensões Harmônicas Constantes - Condições 1.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

- Sistema trifásico equilibrado a U_{din} e a frequência de 60 Hz;
- As formas de onda sem flutuação de tensão;
- O teste é constituído por 8 etapas com diferentes tensões harmônicas (veja a Tabela B.30);
- Duração mínima da etapa: 10 minutos;
- A cada etapa, a DHT é gerada por uma única componente harmônica;
- A componente harmônica é diferente em cada etapa;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 8 amostras de DHT para cada fase, ou seja, uma amostra por fase em cada etapa.

• **Teste de Tensões Harmônicas Constantes - Condições 2.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

- Sistema desequilibrado conforme a Tabela B.31;

⁴O teste tensões harmônicas variáveis foi elaborado unicamente para avaliar o desempenho metrológico do instrumento das medições do intervalo de 10.

- As formas de onda das tensões do sistema devem apresentar flutuação de tensão conforme a Tabela B.31;
- O teste é constituído por 8 etapas com diferentes valores de tensões harmônicas (veja a Tabela B.30), nas condições da Tabela B.31;
- A cada etapa, a distorção harmônica é gerada por uma única componente harmônica;
- A componente harmônica é diferente a cada etapa;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 8 amostras de DHT para cada fase, ou seja, uma amostra por fase em cada etapa.

●**Teste de Tensões Harmônicas Constantes - Condições 3.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

- Sistema desequilibrado conforme a Tabela B.32;
- As formas de onda das tensões do sistema devem apresentar flutuação de tensão conforme a Tabela B.32;
- O teste é constituído por 8 etapas com diferentes valores de tensões harmônicas (veja a Tabela B.30), nas condições da Tabela B.32;
- A cada etapa, a distorção harmônica é gerada por uma única componente harmônica;
- A componente harmônica é diferente a cada etapa;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 8 amostras de DHT para cada fase, ou seja, uma amostra por fase em cada etapa.

Analisadores Classe A

●**Teste das Tensões Harmônicas Variáveis.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

- Sistema trifásico equilibrado a U_{din} e a frequência de 60 Hz;
- As formas de onda não devem apresentar flutuação de tensão;
- O teste é constituído por 8 etapas com diferentes tensões harmônicas (veja a Tabela B.33);
- A cada etapa, a distorção harmônica é gerada por uma única componente harmônica;

- A componente harmônica é diferente a cada etapa;
- A duração mínima da etapa: 10 minutos;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 8 amostras de DHT para cada fase, ou seja, uma amostra por fase em cada etapa;
- Cada etapa é constituída de 1800 ciclos que apresentam os valores conforme exposto na Tabela B.34. Estes intervalos de 1800 ciclos se repetem até completar pelo menos 10 minutos.

A Tabela B.33 apresenta as características do mencionado teste, e a tabela B.34 mostra a variação da componente harmônica.

Tabela B.30: Valores a serem empregados nos testes de tensões harmônicas constantes - condições 1, 2 e 3

Etapa	Harmônica	Classe A	Classe S
		Magnitude ¹ [%]	
1	21	1,0	1,0
2	9	3,0	2,0
3	17	5,0	3,0
4	13	7,0	4,0
5	11	9,0	5,0
6	3	11,0	6,0
7	7	13,0	7,0
8	5	15,0	8,0

¹ Valor da magnitude da harmônica em porcentagem da U_{din}

B.10 Guia de Teste das Tensões Inter-Harmônica

Campo de Aplicação. Este procedimento aplica-se à avaliação de instrumentos de medição das tensões inter-harmônicas elétricas com base na norma **IEC 61000-4-30**⁵.

Teste Tipo Q. Com o propósito de avaliar os itens 5.9.1 e 5.9.4 da norma, é efetuado o seguinte questionamento:

⁵A indicação a utilizar para a avaliação do IMA é o valor de distorção harmônica total.

Tabela B.31: Condições da onda de tensão no teste das tensões harmônicas constantes - condições 2

Grandeza	Condição
Frequência	59 Hz
Desequilíbrio ¹	Fase A: 73 % da U_{din} Fase B: 80 % da U_{din} Fase C: 78 % da U_{din}
Flutuação	Pst = 1. Modulação retangular em 39 variações por minuto a um $\Delta V\%$ igual a 1,044

¹ Os ângulos de fase das tensões devem estar defasados entre si de 120 graus

Tabela B.32: Condições da onda de tensão no teste das tensões harmônicas constantes - condições 3

Grandeza	Condição
Frequência	61 Hz
Desequilíbrio ¹	Fase A: 152 % da U_{din} Fase B: 140 % da U_{din} Fase C: 128 % da U_{din}
Flutuação	Pst = 4. Modulação retangular em 110 variações por minuto a um $\Delta V\%$ igual a 3,364

¹ Os ângulos de fase das tensões devem estar defasados entre si de 120 graus

Tabela B.33: Características do teste de tensões harmônicas variáveis

Etapa	Harmônica	Magnitude ¹ [%]
1	21	0,698
2	9	2,662
3	17	4,657
4	13	6,655
5	11	8,654
6	3	10,653
7	7	12,653
8	5	14,652

¹ Valor da harmônica em porcentagem da U_{din}

Tabela B.34: Valores a serem empregados no teste de tensões harmônicas variáveis

Etapa	1	2	3	4	5	6	7	8
Harmônica	21	9	17	13	11	3	7	5
Ciclos	Porcentuais da harmônica [%]							
1 - 360	0,50	2,50	4,50	6,50	8,50	10,50	12,50	14,50
361 - 720	0,75	2,75	4,75	6,75	8,75	10,75	12,75	14,75
721 - 1080	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00	11,00	13,00	15,00
1081 - 1440	0,75	2,75	4,75	6,75	8,75	10,75	12,75	14,75
1441 - 1800	0,25	2,25	4,25	6,25	8,25	10,25	12,25	14,25

⁺ Os 1800 ciclos de cada etapa do teste devem ser repetidos pelo menos 20 vezes sucessivamente para se ter 10 minutos por etapa

Analísadores Classe A

- O IMA fornece as indicações das inter-harmônicas a cada 12 ciclos, conforme o norma IEC 61000-4-7?
- O IMA fornece as indicações de inter-harmônicas a cada 180 ciclos?
- O IMA fornece as indicações de inter-inter-harmônicas a cada 10 minutos do tempo absoluto do RTC?
- O IMA fornece as indicações de inter-harmônicas a cada 2 horas do tempo absoluto do RTC?

B.10.1 Testes Tipo C.

Com o propósito de avaliar os itens 5.9.1, 5.9.2, 5.9.3 e 6.1 da norma, serão executados os testes de tensões inter-harmônicas constantes. Estes testes são divididos em função das condições do sistema. Estas referem-se ao grau de desequilíbrio e ao grau de flutuação de tensão. Os testes de tensões inter-harmônicas devem avaliar as indicações requisitadas pela norma, a saber, 12 ciclos, 180 ciclos (3 segundos), 10 minutos e 2 horas. No entanto, a avaliação de todas estas indicações inviabiliza os testes, devido ao tempo demandado para a sua execução. Dado que o PRODIST (2008) indica a realização de medições com intervalos de 10 minutos, optou-se por este intervalo de medição.

Analísadores Classe A

• **Teste de Tensões Inter-Harmônicas Constantes - Condições 1.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

- Sistema trifásico equilibrado a tensão de U_{din} e a frequência de 60 Hz;
- As formas de onda sem flutuação de tensão;
- O teste é constituído por 8 etapas com diferentes tensões inter-harmônicas (veja a Tabela B.35);
- Duração mínima da etapa: 10 minutos;
- A cada etapa, a distorção harmônica é gerada por uma componente inter-harmônica;
- A componente inter-harmônica é diferente a cada etapa;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 8 amostras de DHT para cada fase, ou seja, uma amostra por fase em cada etapa.

• **Teste de Tensões Inter-Harmônicas Constantes - Condições 2.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinas de tensão conforme as seguintes características:

- Sistema desequilibrado conforme a Tabela B.36;
- As formas de onda das tensões do sistema devem apresentar flutuação de tensão conforme a Tabela B.36;
- O teste é constituído por 8 etapas com diferentes valores de tensões inter-harmônicas (veja a Tabela B.35), nas condições da Tabela B.36;
- A cada etapa, a distorção harmônica é gerada por uma componente inter-harmônica;
- A componente inter-harmônica é diferente a cada etapa;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 8 amostras de DHT para cada fase, ou seja, uma amostra por fase em cada etapa.

• **Teste de Tensões Inter-Harmônica Constante - Condições 3**

- Sistema desequilibrado conforme a Tabela B.37;
- As formas de onda das tensões do sistema devem apresentar flutuação de tensão conforme a Tabela B.37;
- O teste é constituído por 8 etapas com diferentes valores de tensões inter-harmônicas (veja a Tabela B.35), nas condições da Tabela B.37;

Tabela B.35: Valores a serem empregados no testes de tensões inter-harmônicas constantes - condições 1, 2 e 3

Etapa	Inter-Harmônica	Magnitude ¹ [%]
1	1/120	2,8
2	1/10	2,0
3	1/2	1,6
4	1/3	0,8
5	3/20	0,2

¹ Valor da magnitude da inter-harmônica em porcentagem da U_{din}

Tabela B.36: Condições da onda de tensão no teste das tensões inter-harmônicas constantes - condições 2

Grandeza	Condição
Frequência	59 Hz
Desequilíbrio ¹	Fase A: 73 % da U_{din} Fase B: 80 % da U_{din} Fase C: 78 % da U_{din}
Flutuação	Pst = 1. Modulação retangular em 39 variações por minuto a um $\Delta V\%$ igual a 1,044

¹ Os ângulos de fase das tensões devem estar defasados entre si de 120 graus

- A cada etapa a distorção harmônica é gerada por são uma componente inter-harmônica;
- A componente inter-harmônica é diferente a cada etapa;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 8 amostras de DHT para cada fase, ou seja, uma amostra por fase em cada etapa.

B.11 Guia de Teste dos Sinais de Comunicação em Tensão através da Rede Elétrica

Campo de Aplicação. Este procedimento aplica-se à avaliação de instrumentos de medição de sinas de comunicação em tensão através da rede elétrica, com base na norma **IEC 61000-4-30**.

Teste Tipo Q. Com o propósito de avaliar o item 5.10.1 da norma, é realizado o seguinte questionamento:

Tabela B.37: Condições da onda de tensão no teste das tensões inter-harmônicas constantes - condições 3

Grandeza	Condição
Frequência	61 Hz
Desequilíbrio ¹	Fase A: 152 % da U_{din} Fase B: 140 % da U_{din} Fase C: 128 % da U_{din}
Flutuação	Pst = 4. Modulação retangular em 110 variações por minuto a um $\Delta V\%$ igual a 3,364

¹ Os ângulos de fase das tensões devem estar na condição de equilíbrio

Analísadores Classe A

- O IMA permite a configuração da frequência de comunicação?
- O IMA permite a configuração da tensão limiar de comunicação por acima de 0,3 % da U_{din} ?
- O IMA tem a capacidade de gravação do sinal de comunicação de pelo menos 120 segundos?

Teste Tipo V. Com o propósito de avaliar o item 5.10.1 da norma, serão executados os testes sinais de comunicação denominados primeiro método e segundo método.

Analísadores Classe A

- **Teste de Sinais de Comunicação - Primeiro Método.** Aplicar sobre o IMA o sinal descrito pela equação (B.4), por um período de 120 segundos. Ao final do testes o IMA tem que apresentar uma amostra de sinal de comunicação.
- **Teste de Sinais de Comunicação - Segundo Método.** Aplicar sobre o IMA o sinal descrito pela equação (B.5), por um período de 120 segundos. Ao final do testes o SMC tem que apresentar uma amostra de sinal de comunicação.

$$v(t) = 0,1\sqrt{2}U_{din} \cos(2\pi \cdot 350t) \quad V \quad (\text{B.4})$$

$$v(t) = 0,1\sqrt{2}U_{din} \cos(2\pi \cdot 312t) \quad V \quad (\text{B.5})$$

Testes Tipo C. Com o propósito de avaliar os itens 5.10.1, 5.10.2 e 6.1 da norma, serão executados os testes de sinais de comunicação constante. Estes testes são divididos em função das condições do sistema. Estas referem-se ao grau de desequilíbrio, ao grau de flutuação e ao grau de distorção harmônica.

Analísadores Classe A

•**Teste de Sinais de Comunicação Constantes - Condições 1.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinais de tensão conforme as seguintes características:

- Sistema trifásico equilibrado a U_{din} e a frequência de 60 Hz;
- Formas de onda sem distorções harmônicas e sem flutuação de tensão;
- O teste é constituído por 5 etapas com diferentes sinais de comunicação de tensão (veja a Tabela B.38);
- Duração da comunicação: 100 s;
- A frequência do sinal da comunicação é igual a 315 Hz;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 5 amostras.

•**Teste de Sinais de Comunicação Constantes - Condições 2.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinais de tensão conforme as seguintes características:

- Sistema desequilibrado conforme a Tabela B.39;
- As formas de onda das tensões do sistema deve apresentar distorção harmônica e flutuação de tensão conforme a Tabela B.39;
- O teste é constituído por 5 etapas com diferentes sinais de comunicação de tensão (veja a Tabela B.38), nas condições da Tabela B.39;
- Duração da comunicação: 100 s;
- A frequência do sinal da comunicação é igual a 315 Hz;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 5 amostras, ou seja, uma amostra a cada etapa.

•**Teste de Sinais de Comunicação Constantes - Condições 3.** Aplicar sobre o IMA em distintas etapas sinais de tensão conforme as seguintes características:

- Sistema desequilibrado conforme a Tabela B.40;

Tabela B.38: Valores a serem empregados no teste de sinais de comunicação constantes - condições 1, 2 e 3

Etapa	Valor do sinal[%] ¹
1	2
2	5
3	8
4	11
5	14

¹ Valor do sinal em porcentagem da U_{din}

Tabela B.39: Condições da onda de tensão no teste de sinais de comunicação constantes - condições 2

Grandeza	Condição
Frequência	59 Hz
Desequilíbrio ¹	Fase A: 73 % da U_{din} Fase B: 80 % da U_{din} Fase C: 78 % da U_{din}
Distorção	10 % da 3 ^a harmônica 5 % da 5 ^a harmônica 5 % da 29 ^a harmônica 5 % da 7,5 ^a inter-harmônica
Flutuação	Pst = 1. Modulação retangular em 39 variações por minuto a um $\Delta V\%$ igual a 1,044

¹ Os ângulos da fase das tensões devem estar defasados entre si de 120 graus

- As formas de onda das tensões do sistema deve apresentar distorção harmônica e flutuação de tensão conforme a Tabela B.40;
- O teste é constituído por 5 etapas com diferentes sinais de comunicação de tensão, (veja a Tabela B.38), nas condições da Tabela B.40;
- Duração da comunicação: 100 s;
- A frequência do sinal da comunicação é igual a 315 Hz;
- Ao final do teste, o IMA tem que apresentar um total de 5 amostras, ou seja, uma amostra a cada etapa.

Tabela B.40: Condições da onda de tensão no teste de sinais de comunicação constantes - condições 3

Grandeza	Condição
Frequência	61 Hz
Desequilíbrio ¹	Fase A: 152 % da U_{din} Fase B: 140 % da U_{din} Fase C: 128 % da U_{din}
Distorção	10 % da 7 ^a harmônica 13 % da 5 ^a harmônica 5 % da 25 ^a harmônica 5 % da 3,5 ^a inter-harmônica
Flutuação	Pst = 4. Modulação retangular em 110 variações por minuto a um $\Delta V\%$ igual a 3,364

¹ Os ângulos da fase das tensões devem estar defasados entre si de 120 graus

B.12 Guia de Teste de Parâmetros de Desvio Superior e Desvio Inferior

Campo de Aplicação. Este procedimento aplica-se à avaliação de instrumentos de medição dos parâmetros de desvio superior e desvio inferior com base na norma **IEC 61000-4-30**.

Teste Tipo Q. Com o propósito de avaliar o item 5.12.2 da norma, é realizado o seguinte questionamento;

Analísadores Classe A

- O IMA fornece as indicações dos desvios superior e inferior a cada 12 ciclos?
- O IMA fornece as indicações dos desvios superior e inferior a cada 180 ciclos?
- O IMA fornece as indicações dos desvios superior e inferior a cada 10 minutos do tempo absoluto do RTC?
- O IMA fornece as indicações dos desvios superior e inferior a cada 2 horas do tempo absoluto do RTC?

Testes Tipo V. Com o propósito de avaliar o itens 5.12.1 e 5.12.2 da mencionada norma, serão executados o teste de parâmetro de desvio superior e teste de parâmetro de desvio inferior.

Analísadores Classe A

- **Teste de Parâmetro de Desvio Superior.** Aplicar sobre o canal de referência do IMA o sinal descrito pela equação (B.6). No momento da aplicação do sinal, efetuar a medição instantânea do valor do parâmetro superior por parte do IMA.

$$v(t) = 1,05\sqrt{2}U_{din} \cos(2\pi \cdot 60t) \text{ V} \quad (\text{B.6})$$

- **Teste de Parâmetro de Desvio Inferior.** Aplicar sobre o canal de referência do IMA o sinal descrito pela equação (B.7). No momento da aplicação do sinal, efetuar a medição instantânea do valor do parâmetro inferior por parte do IMA.

$$v(t) = 0,95\sqrt{2}U_{din} \cos(2\pi \cdot 60t) \text{ V} \quad (\text{B.7})$$

Apêndice C

Caderno Relatório – Exemplo de Aplicação

C.1 Considerações Iniciais

A seguir, é apresentado o relatório aplicação da metodologia proposta neste trabalho sobre analisador da QEE classe S.

C.2 Folha de Identificação do Documento

 Universidade de Brasília	
RELATÓRIO TÉCNICO	Nº RTxxx2012
Número de páginas: 25,	Anexo: Curva de erros de medição.
Representante do item avaliado:	
Cidade: Bucaramanga - Co	
Contato: Andres Santiago	
Telefone: 57-7-634-0297	
e-mail: carsrodriguez@unb.br	
Identificação do item:	
Fabricante: Analisador Classe S	
Modelo: xxxxx	
Nº de série: N°xxxxx	
Data de recebimento do item: dd/mm/aaaa; Data de execução do serviço: dd/mm/aaaa	
Laboratório responsável: Laboratório de Qualidade da Energia Elétrica - UnB	
Condições ambientais:	
Registro de Temperatura: $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$; Registro de umidade: $(50 \pm 5) \%$	
Norma ou instrução técnica utilizada:	
- Testes de Desempenho Funcional em Instrumentos de Medição da Qualidade da Energia Elétrica voltados para a campanha de medição.	
Padrões ou instrumentos utilizados:	
- Padrão instrumento de medição da qualidade da energia elétrica, ELSPEC, Modelo G4500 BLACKBOX.	
- Fonte de Tensão, California Instruments, Modelo 3000ix.	
Informações Adicionais:	
- A avaliação do instrumento foi efetuada em um sistema estrela aterrada com frequência de entrada declarada de 60 Hz e tensão alimentação declarada de 127 V fase-neutro .	
- Os resultados apresentados neste relatório referem-se somente ao item acima identificado.	
Data de emissão do certificado: dd/mm/aaaa	
Laboratório da Qualidade da Energia Elétrica Prédio SG-11, Departamento de Engenharia Elétrica Campus Universitário Darcy Ribeiro, Av. L3, Asa Norte CEP: 70910-970, Brasília – DF, Brasil. Telefone: (61) 3107-1043	

C.3 Siglas

- SMA: Instrumento de medição em avaliação (equipamento submetido aos testes);
- NM: O instrumento não mede a grandeza;
- NR: O operador não registrou a grandeza em avaliação, muito embora tenha sido declarado que ele tem capacidade para tal;
- IE: Indisponibilidade de equipamentos para a execução do teste;
- RTC: Relógio do tempo real;
- v : Leituras do instrumento em avaliação;
- v_P : Valores de referência do sistema de medição padrão;
- t : Tendência estimada;
- U : Incerteza expandida;
- k : Fator de abrangência;
- v_{eff} : Graus de liberdade efetivos;
- U_s : Erro de avaliação para os testes tipo C;
- U_s : Incerteza máxima permitida para analisadores classe S.

C.4 Síntese

- A verificação da competência do equipamento identificado foi efetuada conforme o exposto nos quatro cadernos pertencentes à metodologia para a avaliação do desempenho funcional de instrumentos de medição da QEE, apresentados no capítulo 4;
- A U foi determinada com um fator de abrangência correspondente ao **95 %**, com base no procedimento descrito no seção 2.4 do presente trabalho;
- A análise do laudo foi realizada com base nas incertezas máximas permitidas estabelecidas na norma **IEC 61000-4-30 (2008)** para analisadores da QEE classe S;

C.5 Laudo Geral do IMA

A Tabela ?? apresenta o laudo final do instrumento identificado, com base na metodologia anteriormente descrita. O detalhamento dos resultados nos **Testes de Desempenho Funcional dos Instrumentos de Medição da Qualidade da Energia Elétrica** é exibido nas paginas posteriores.

Laudo do Instrumento

Grandeza	Laudo
Aspectos Gerais	Conforme
Frequência Elétrica	Não Conforme
Magnitude de Tensão Elétrica	Conforme
Flutuação de Tensão Elétrica (Cintilação)	Não Conforme
Afundamentos e Elevações de Tensão	Conforme
Interrupções de Tensão	Conforme
Desequilíbrio de Tensão Elétrica	Conforme
Tensões Harmônicas	Conforme

C.6 Laudo Detalhado do IMA

A seguir, são apresentados os resultados do instrumento identificado, com base na metodologia descrita no Capítulo 4.

Laudo – Aspectos Gerais

Tipo Q

Questionamento	Laudo	Observações
O SMA declara uma tolerância do RTC menor que 5 s por um período de 24 horas, quando a sincronização de um sinal externo está indisponível?	Conforme	Sem Observações
O SMA realiza a marcação de parâmetros de regime permanente quando da detecção de um afundamento, de uma elevação ou de uma interrupção?	Conforme	Sem Observações

Laudo – Frequência Elétrica

Tipo Q

Questionamento	Laudo	Observações
O SMA fornece as indicações de frequência a cada 10 s do tempo absoluto do RTC?	Conforme	Sem Observações

Tipo V

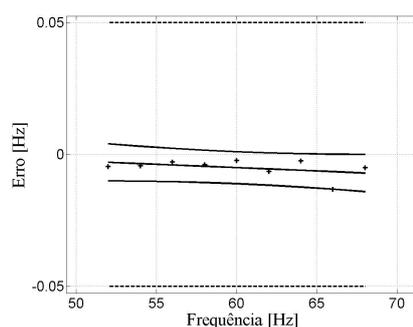
Teste	v	v_P	Laudo	Observações
Atenuação de harmônicas	60,00	60,00	Conforme	Sem Observações

Resumo – Tipo C

Teste	Laudo	Observações
Frequência Elétrica Constante - Condições 1	Conforme	Sem Observações
Frequência Elétrica Constante - Condições 2	Conforme	Sem Observações
Frequência Elétrica Constante - Condições 3	Conforme	Sem Observações
Frequência Elétrica Variável	Não Conforme	Sem Observações

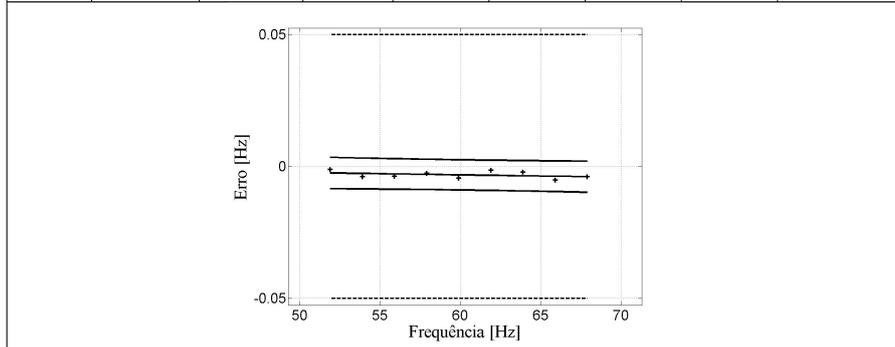
Frequência Elétrica Constante - Condições 1

v_i [Hz]	v_{Pi} [Hz]	t [Hz]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [Hz]	E_c [Hz]	U_s [Hz]	Laudo
52,00	52,0046	-0,0030	64	1,9977	0,0070	0,0100	0,0500	Conforme
54,00	54,0043	-0,0035	109	1,9820	0,0066	0,0101	0,0500	Conforme
56,00	56,0028	-0,0040	200	1,9719	0,0063	0,0103	0,0500	Conforme
58,00	58,0039	-0,0045	348	1,9668	0,0061	0,0106	0,0500	Conforme
60,00	60,0023	-0,0050	443	1,9653	0,0061	0,0111	0,0500	Conforme
62,00	62,0065	-0,0055	347	1,9668	0,0061	0,0116	0,0500	Conforme
64,00	64,0024	-0,0060	200	1,9719	0,0063	0,0123	0,0500	Conforme
65,99	66,0032	-0,0065	110	1,9818	0,0066	0,0131	0,0500	Conforme
68,00	68,0051	-0,0070	64	1,9977	0,0070	0,0141	0,0500	Conforme



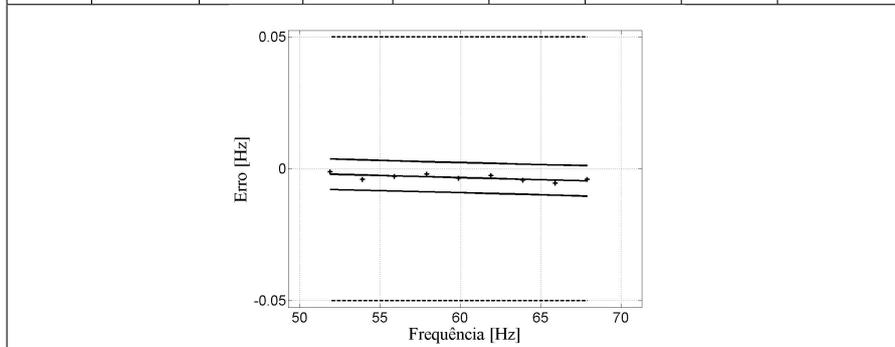
Frequência Elétrica Constante - Condições 2

v_i [Hz]	v_{Pi} [Hz]	t [Hz]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [Hz]	E_C [Hz]	U_s [Hz]	Laudo
51,90	51,9012	-0,0025	1038	1,9623	0,0059	0,0084	0,0500	Conforme
53,90	53,9039	-0,0026	2065	1,9611	0,0058	0,0085	0,0500	Conforme
55,90	55,9037	-0,0028	4291	1,9605	0,0058	0,0086	0,0500	Conforme
57,90	57,9026	-0,0030	8120	1,9603	0,0057	0,0087	0,0500	Conforme
59,90	59,9045	-0,0032	10656	1,9602	0,0057	0,0089	0,0500	Conforme
61,90	61,9014	-0,0033	8120	1,9603	0,0057	0,0091	0,0500	Conforme
63,90	63,9021	-0,0035	4291	1,9605	0,0058	0,0093	0,0500	Conforme
65,90	65,9052	-0,0037	2065	1,9611	0,0058	0,0095	0,0500	Conforme
67,90	67,9039	-0,0039	1038	1,9623	0,0059	0,0098	0,0500	Conforme



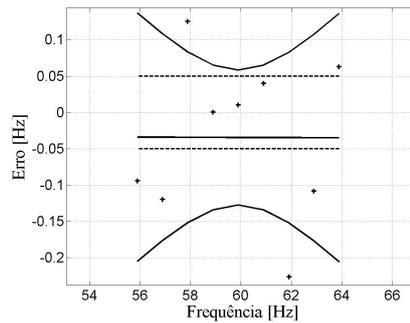
Frequência Elétrica Constante - Condições 3

v_i [Hz]	v_{Pi} [Hz]	t [Hz]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [Hz]	E_C [Hz]	U_s [Hz]	Laudo
51,90	51,9011	-0,0020	3064	1,9607	0,0058	0,0078	0,0500	Conforme
53,90	53,9040	-0,0024	6226	1,9603	0,0058	0,0081	0,0500	Conforme
55,90	55,9028	-0,0027	13146	1,9601	0,0057	0,0084	0,0500	Conforme
57,90	57,9019	-0,0030	25118	1,9601	0,0057	0,0087	0,0500	Conforme
59,90	59,9036	-0,0033	33075	1,9600	0,0057	0,0090	0,0500	Conforme
61,90	61,9025	-0,0036	25118	1,9601	0,0057	0,0093	0,0500	Conforme
63,90	63,9043	-0,0039	13146	1,9601	0,0057	0,0097	0,0500	Conforme
65,90	65,9054	-0,0043	6226	1,9603	0,0058	0,0100	0,0500	Conforme
67,90	67,9040	-0,0046	3064	1,9607	0,0058	0,0104	0,0500	Conforme



Frequência Elétrica Variável

v_i [Hz]	v_{Pi} [Hz]	t [Hz]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [Hz]	E_c [Hz]	U_s [Hz]	Laudo
55,90	55,9944	-0,0340	7	2,3646	0,1708	0,2048	0,0500	Não Conforme
56,90	57,0195	-0,0341	7	2,3646	0,1420	0,1762	0,0500	Não Conforme
57,89	57,7650	-0,0342	7	2,3646	0,1175	0,1517	0,0500	Não Conforme
58,89	58,8894	-0,0343	7	2,3646	0,0996	0,1340	0,0500	Não Conforme
59,89	59,8799	-0,0344	7	2,3646	0,0929	0,1273	0,0500	Não Conforme
60,90	60,8600	-0,0345	7	2,3646	0,0996	0,1341	0,0500	Não Conforme
61,91	62,1361	-0,0346	7	2,3646	0,1177	0,1523	0,0500	Não Conforme
62,89	62,9984	-0,0347	7	2,3646	0,1420	0,1767	0,0500	Não Conforme
63,89	63,8273	-0,0348	7	2,3646	0,1708	0,2056	0,0500	Não Conforme



Laudo – Magnitude de Tensão Elétrica

Tipo Q

Questionamento	Laudo	Observações
O SMA fornece indicações da magnitude da tensão a cada 12 ciclos, conforme o item 4.4 da norma IEC 61000-4-30?	Conforme	Sem Observações
O SMA fornece indicações da magnitude da tensão a cada 180 ciclos, conforme o item 4.5.2 da norma IEC 61000-4-30?	Conforme	Sem Observações
O SMA fornece indicações da magnitude da tensão a cada 10 minutos do tempo absoluto do RTC?	Conforme	Sem Observações
O SMA fornece indicações da magnitude da tensão a cada 2 horas do tempo absoluto do RTC, conforme o item 4.5.4 da norma IEC 61000-4-30?	Conforme	Sem Observações

Tipo V

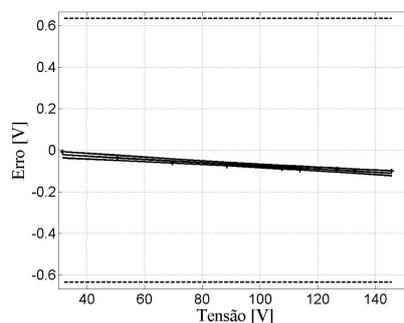
Teste	v	v_P	Laudos	Observações
Valor eficaz verdadeiro - sinal 1	126,8	126,8	Conforme	Sem Observações
Valor eficaz verdadeiro - sinal 2	125,3	125,3	Conforme	Sem Observações

Resumo – Tipo C

Teste	Laudos	Observações
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 1 - Fase A	Conforme	Sem Observações
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 1 - Fase B	Conforme	Sem Observações
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 1 - Fase C	Conforme	Sem Observações
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 2 - Fase A	Conforme	Sem Observações
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 2 - Fase B	Conforme	Sem Observações
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 2 - Fase C	Conforme	Sem Observações
Magnitude de Tensão Elétrica - Condições 3 - Fase A	Conforme	Sem Observações
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 3 - Fase B	Conforme	Sem Observações
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 3 - Fase C	Conforme	Sem Observações
Magnitude de Tensão Elétrica Variável - Fase A	Conforme	Sem Observações
Magnitude de Tensão Elétrica Variável - Fase B	Conforme	Sem Observações
Magnitude de Tensão Elétrica Variável - Fase C	Conforme	Sem Observações

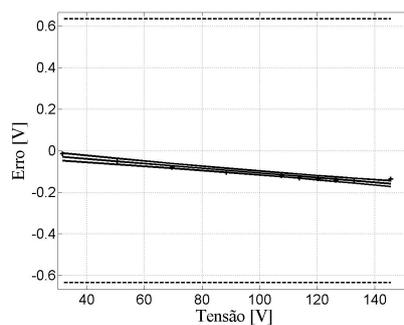
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 1 - Fase A

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_c [V]	U_s [V]	Laudo
31,63	31,6346	-0,0217	11	2,2010	0,0149	0,0366	0,6350	Conforme
50,59	50,6288	-0,0365	14	2,1448	0,0121	0,0485	0,6350	Conforme
69,65	69,7122	-0,0513	20	2,0860	0,0098	0,0611	0,6350	Conforme
88,61	88,6874	-0,0661	29	2,0452	0,0085	0,0745	0,6350	Conforme
107,68	107,7696	-0,0809	30	2,0423	0,0084	0,0893	0,6350	Conforme
113,97	114,0633	-0,0858	27	2,0518	0,0087	0,0945	0,6350	Conforme
120,36	120,4490	-0,0908	24	2,0639	0,0091	0,0999	0,6350	Conforme
126,65	126,7392	-0,0957	21	2,0796	0,0097	0,1053	0,6350	Conforme
132,94	133,0309	-0,1006	18	2,1009	0,0103	0,1109	0,6350	Conforme
145,72	145,8157	-0,1105	15	2,1314	0,0118	0,1224	0,6350	Conforme



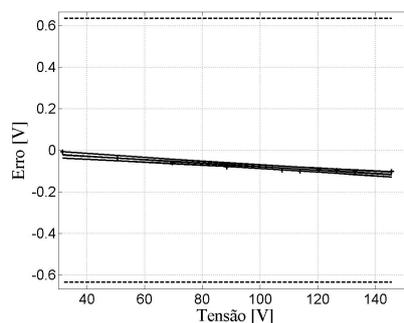
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 1 - Fase B

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_c [V]	U_s [V]	Laudo
31,62	31,6327	-0,0298	10	2,2281	0,0180	0,0478	0,6350	Conforme
50,57	50,6233	-0,0512	12	2,1788	0,0144	0,0656	0,6350	Conforme
69,63	69,7113	-0,0727	15	2,1314	0,0115	0,0842	0,6350	Conforme
88,58	88,6873	-0,0941	20	2,0860	0,0098	0,1039	0,6350	Conforme
107,64	107,7608	-0,1156	21	2,0796	0,0097	0,1253	0,6350	Conforme
113,93	114,0567	-0,1227	19	2,0930	0,0101	0,1328	0,6350	Conforme
120,32	120,4496	-0,1300	17	2,1098	0,0106	0,1406	0,6350	Conforme
126,60	126,7430	-0,1371	15	2,1314	0,0114	0,1484	0,6350	Conforme
132,89	133,0292	-0,1442	14	2,1448	0,0122	0,1564	0,6350	Conforme
145,67	145,8021	-0,1586	12	2,1788	0,0142	0,1728	0,6350	Conforme



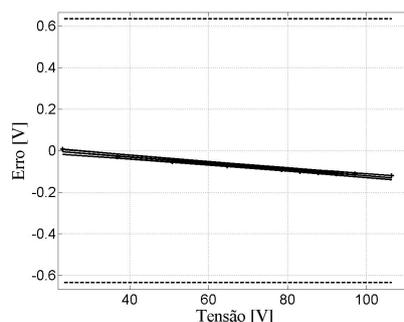
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 1 - Fase C

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_c [V]	U_s [V]	Laudo
31,62	31,6320	-0,0222	11	2,2010	0,0156	0,0378	0,6350	Conforme
50,58	50,6145	-0,0379	13	2,1604	0,0127	0,0505	0,6350	Conforme
69,64	69,7027	-0,0536	18	2,1009	0,0102	0,0639	0,6350	Conforme
88,60	88,6830	-0,0693	26	2,0555	0,0088	0,0781	0,6350	Conforme
107,66	107,7580	-0,0851	27	2,0518	0,0087	0,0938	0,6350	Conforme
113,95	114,0532	-0,0903	24	2,0639	0,0091	0,0993	0,6350	Conforme
120,35	120,4412	-0,0956	22	2,0739	0,0095	0,1051	0,6350	Conforme
126,64	126,7322	-0,1008	19	2,0930	0,0101	0,1109	0,6350	Conforme
132,92	133,0268	-0,1060	17	2,1098	0,0108	0,1168	0,6350	Conforme
145,71	145,8107	-0,1166	14	2,1448	0,0124	0,1290	0,6350	Conforme



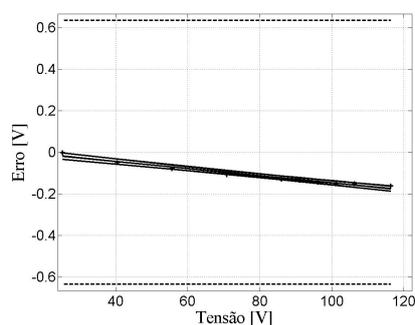
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 2 - Fase A

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_c [V]	U_s [V]	Laudo
23,05	23,0464	-0,0051	14	2,1448	0,0122	0,0173	0,6350	Conforme
36,93	36,9606	-0,0259	19	2,0930	0,0101	0,0360	0,6350	Conforme
50,81	50,8624	-0,0467	30	2,0423	0,0085	0,0552	0,6350	Conforme
64,69	64,7592	-0,0675	48	2,0106	0,0075	0,0751	0,6350	Conforme
78,56	78,6526	-0,0884	49	2,0096	0,0075	0,0959	0,6350	Conforme
83,20	83,3025	-0,0953	43	2,0167	0,0077	0,1030	0,6350	Conforme
87,79	87,8986	-0,1022	37	2,0262	0,0080	0,1102	0,6350	Conforme
92,44	92,5485	-0,1092	31	2,0395	0,0084	0,1175	0,6350	Conforme
97,08	97,1895	-0,1161	26	2,0555	0,0088	0,1250	0,6350	Conforme
106,36	106,4833	-0,1301	19	2,0930	0,0100	0,1401	0,6350	Conforme



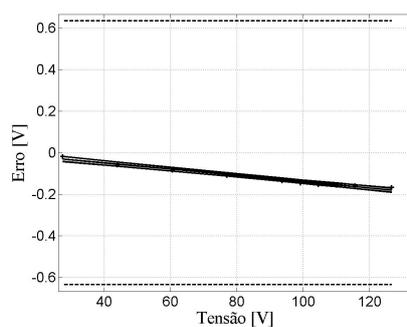
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 2 - Fase B

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_c [V]	U_s [V]	Laudo
25,24	25,2429	-0,0188	11	2,2010	0,0156	0,0344	0,6350	Conforme
40,45	40,5033	-0,0449	13	2,1604	0,0127	0,0575	0,6350	Conforme
55,67	55,7494	-0,0709	19	2,0930	0,0102	0,0811	0,6350	Conforme
70,84	70,9486	-0,0969	26	2,0555	0,0088	0,1056	0,6350	Conforme
86,05	86,1827	-0,1229	27	2,0518	0,0087	0,1316	0,6350	Conforme
91,14	91,2792	-0,1316	24	2,0639	0,0090	0,1406	0,6350	Conforme
96,18	96,3253	-0,1402	22	2,0739	0,0095	0,1497	0,6350	Conforme
101,27	101,4202	-0,1489	19	2,0930	0,0101	0,1590	0,6350	Conforme
106,30	106,4543	-0,1575	17	2,1098	0,0108	0,1683	0,6350	Conforme
116,44	116,5987	-0,1749	14	2,1448	0,0124	0,1873	0,6350	Conforme



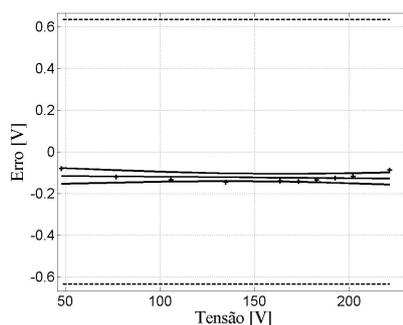
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 2 - Fase C

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_c [V]	U_s [V]	Laudo
27,49	27,5068	-0,0301	13	2,1604	0,0126	0,0427	0,6350	Conforme
43,99	44,0505	-0,0550	18	2,1009	0,0104	0,0654	0,6350	Conforme
60,56	60,6431	-0,0800	28	2,0484	0,0087	0,0886	0,6350	Conforme
77,03	77,1358	-0,1048	44	2,0154	0,0077	0,1125	0,6350	Conforme
93,59	93,7289	-0,1299	45	2,0141	0,0076	0,1375	0,6350	Conforme
99,13	99,2778	-0,1382	40	2,0211	0,0078	0,1461	0,6350	Conforme
104,62	104,7694	-0,1465	34	2,0322	0,0082	0,1547	0,6350	Conforme
110,16	110,3150	-0,1549	29	2,0452	0,0086	0,1634	0,6350	Conforme
115,65	115,8051	-0,1632	24	2,0639	0,0091	0,1722	0,6350	Conforme
126,68	126,8439	-0,1798	18	2,1009	0,0103	0,1901	0,6350	Conforme



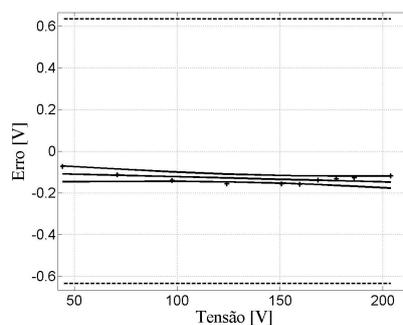
Magnitude de Tensão Elétrica - Condições 3 - Fase A

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_c [V]	U_s [V]	Laudo
48,10	48,1790	-0,1158	8	2,3060	0,0377	0,1535	0,6350	Conforme
77,02	77,1357	-0,1178	8	2,3060	0,0300	0,1478	0,6350	Conforme
105,90	106,0324	-0,1198	9	2,2622	0,0230	0,1428	0,6350	Conforme
134,83	134,9753	-0,1218	10	2,2281	0,0186	0,1404	0,6350	Conforme
163,67	163,8117	-0,1238	10	2,2281	0,0185	0,1423	0,6350	Conforme
173,37	173,5068	-0,1245	10	2,2281	0,0194	0,1438	0,6350	Conforme
182,97	183,1049	-0,1251	9	2,2622	0,0210	0,1461	0,6350	Conforme
192,66	192,7893	-0,1258	9	2,2622	0,0226	0,1484	0,6350	Conforme
202,26	202,3799	-0,1265	9	2,2622	0,0246	0,1510	0,6350	Conforme
221,55	221,6405	-0,1278	8	2,3060	0,0295	0,1573	0,6350	Conforme



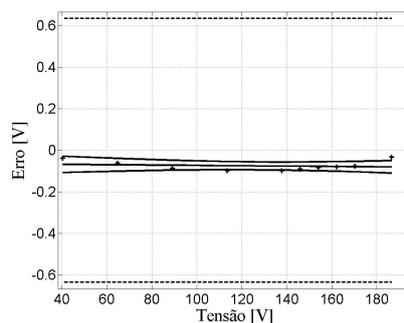
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 3 - Fase B

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_c [V]	U_s [V]	Laudo
44,29	44,3642	-0,1083	8	2,3060	0,0376	0,1459	0,6350	Conforme
70,89	71,0005	-0,1149	8	2,3060	0,0299	0,1448	0,6350	Conforme
97,48	97,6254	-0,1215	9	2,2622	0,0229	0,1444	0,6350	Conforme
124,13	124,2908	-0,1281	10	2,2281	0,0186	0,1466	0,6350	Conforme
150,75	150,9109	-0,1347	10	2,2281	0,0184	0,1531	0,6350	Conforme
159,63	159,7838	-0,1369	10	2,2281	0,0193	0,1562	0,6350	Conforme
168,58	168,7191	-0,1391	9	2,2622	0,0209	0,1600	0,6350	Conforme
177,39	177,5241	-0,1412	9	2,2622	0,0226	0,1638	0,6350	Conforme
186,25	186,3761	-0,1434	9	2,2622	0,0245	0,1679	0,6350	Conforme
204,02	204,1419	-0,1478	8	2,3060	0,0294	0,1773	0,6350	Conforme



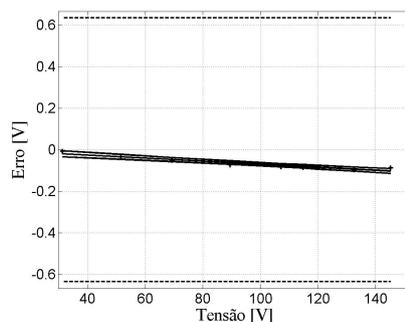
Magnitude de Tensão Elétrica Constante - Condições 3 - Fase C

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_C [V]	U_s [V]	Laudo
40,50	40,5368	-0,0677	8	2,3060	0,0389	0,1066	0,6350	Conforme
64,80	64,8584	-0,0697	8	2,3060	0,0309	0,1006	0,6350	Conforme
89,18	89,2710	-0,0717	9	2,2622	0,0237	0,0954	0,6350	Conforme
113,52	113,6230	-0,0737	10	2,2281	0,0191	0,0928	0,6350	Conforme
137,88	137,9739	-0,0757	10	2,2281	0,0190	0,0947	0,6350	Conforme
146,01	146,0981	-0,0763	9	2,2622	0,0202	0,0966	0,6350	Conforme
154,13	154,2161	-0,0770	9	2,2622	0,0216	0,0986	0,6350	Conforme
162,25	162,3292	-0,0777	9	2,2622	0,0233	0,1009	0,6350	Conforme
170,37	170,4480	-0,0783	9	2,2622	0,0253	0,1036	0,6350	Conforme
186,64	186,6679	-0,0796	8	2,3060	0,0304	0,1101	0,6350	Conforme



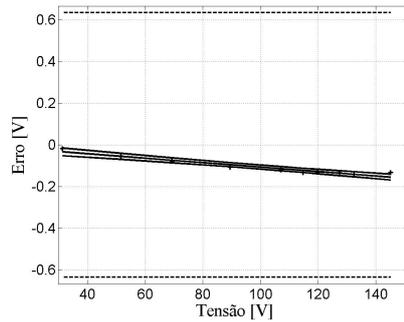
Magnitude de Tensão Elétrica Variável - Fase A

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_C [V]	U_s [V]	Laudo
31,29	31,2996	-0,0196	12	2,1788	0,0146	0,0342	0,6350	Conforme
51,53	51,5662	-0,0343	15	2,1314	0,0117	0,0460	0,6350	Conforme
69,25	69,3026	-0,0472	21	2,0796	0,0097	0,0569	0,6350	Conforme
89,53	89,6005	-0,0619	31	2,0395	0,0084	0,0703	0,6350	Conforme
107,26	107,3409	-0,0748	31	2,0395	0,0083	0,0832	0,6350	Conforme
114,87	114,9582	-0,0804	28	2,0484	0,0087	0,0890	0,6350	Conforme
119,94	120,0234	-0,0841	25	2,0595	0,0090	0,0930	0,6350	Conforme
127,55	127,6395	-0,0896	21	2,0796	0,0096	0,0992	0,6350	Conforme
132,61	132,7062	-0,0933	19	2,0930	0,0101	0,1034	0,6350	Conforme
145,30	145,3906	-0,1025	15	2,1314	0,0116	0,1141	0,6350	Conforme



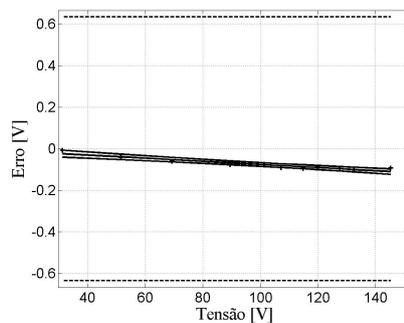
Magnitude de Tensão Elétrica Variável - Fase B

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_C [V]	U_s [V]	Laudo
31,28	31,3008	-0,0334	10	2,2281	0,0186	0,0520	0,6350	Conforme
51,51	51,5700	-0,0549	12	2,1788	0,0146	0,0696	0,6350	Conforme
69,23	69,3108	-0,0738	15	2,1314	0,0118	0,0856	0,6350	Conforme
89,50	89,6081	-0,0954	20	2,0860	0,0099	0,1053	0,6350	Conforme
107,22	107,3400	-0,1142	20	2,0860	0,0099	0,1241	0,6350	Conforme
114,83	114,9637	-0,1223	18	2,1009	0,0103	0,1326	0,6350	Conforme
119,90	120,0254	-0,1277	17	2,1098	0,0108	0,1385	0,6350	Conforme
127,50	127,6374	-0,1358	15	2,1314	0,0117	0,1475	0,6350	Conforme
132,56	132,7003	-0,1412	14	2,1448	0,0124	0,1536	0,6350	Conforme
145,26	145,3889	-0,1547	12	2,1788	0,0145	0,1691	0,6350	Conforme



Magnitude de Tensão Elétrica Variável - Fase C

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_C [V]	U_s [V]	Laudo
31,29	31,2996	-0,0237	10	2,2281	0,0168	0,0405	0,6350	Conforme
51,52	51,5630	-0,0390	13	2,1604	0,0133	0,0522	0,6350	Conforme
69,24	69,3036	-0,0524	17	2,1098	0,0108	0,0632	0,6350	Conforme
89,52	89,5978	-0,0677	24	2,0639	0,0092	0,0768	0,6350	Conforme
107,25	107,3371	-0,0811	24	2,0639	0,0091	0,0902	0,6350	Conforme
114,86	114,9561	-0,0868	21	2,0796	0,0095	0,0964	0,6350	Conforme
119,93	120,0181	-0,0907	20	2,0860	0,0099	0,1006	0,6350	Conforme
127,54	127,6389	-0,0964	17	2,1098	0,0107	0,1071	0,6350	Conforme
132,60	132,7010	-0,1002	16	2,1199	0,0113	0,1115	0,6350	Conforme
145,30	145,3926	-0,1098	13	2,1604	0,0131	0,1230	0,6350	Conforme



Laudo – Flutuação de Tensão Elétrica (Cintilação)

Tipo Q

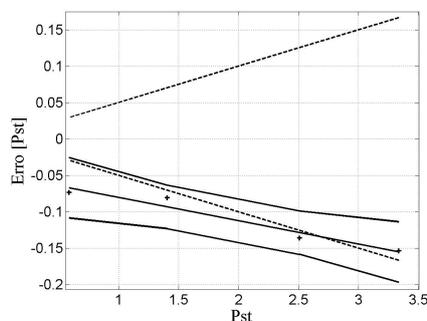
Questionamento	Laudo	Observações
O SMA fornece as indicações da flutuação - <i>Output 5</i> , conforme a norma IEC 61000-4-15?	Conforme	Sem Observações
O SMA fornece indicações do Pst a cada 10 minutos do tempo absoluto do RTC?	Conforme	Sem Observações
O SMA fornece indicações do Plt a cada 2 horas do tempo absoluto do RTC?	Conforme	Sem Observações

Resumo – Tipo C

Teste	Laudo	Observações
Cintilação Constante - Condições 1 - Fase A	Não Conforme	Sem Observações
Cintilação Constante - Condições 1 - Fase B	Não Conforme	Sem Observações
Cintilação Constante - Condições 1 - Fase C	Não Conforme	Sem Observações
Cintilação Constante - Condições 2 - Fase A	Não Conforme	Sem Observações
Cintilação Constante - Condições 2 - Fase B	Não Conforme	Sem Observações
Cintilação Constante - Condições 2 - Fase C	Não Conforme	Sem Observações
Cintilação Constante - Condições 3 - Fase A	Não Conforme	Sem Observações
Cintilação Constante - Condições 3 - Fase B	Não Conforme	Sem Observações
Cintilação Constante - Condições 3 - Fase C	Não Conforme	Sem Observações

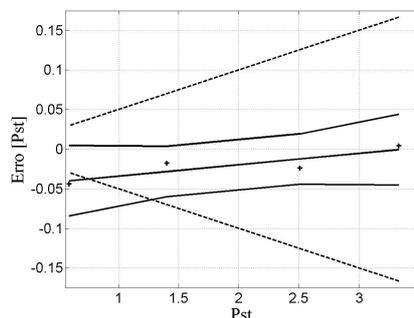
Cintilação Constante - Condições 1 - Fase A

v_i [Pst]	v_{Pi} [Pst]	t [Pst]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [Pst]	E_C [Pst]	U_s [Pst]	Laudo
0,59	0,6604	-0,0670	2	4,3027	0,0414	0,1084	0,0294	Não Conforme
1,40	1,4849	-0,0932	2	4,3027	0,0298	0,1230	0,0702	Não Conforme
2,51	2,6429	-0,1286	2	4,3027	0,0298	0,1584	0,1254	Não Conforme
3,33	3,4876	-0,1551	2	4,3027	0,0415	0,1966	0,1667	Não Conforme



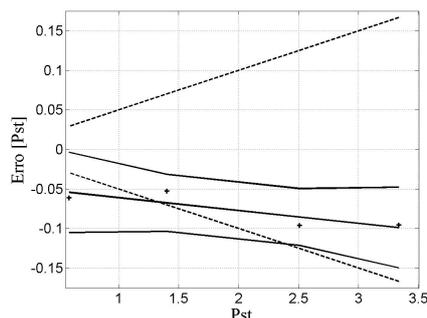
Cintilação Constante - Condições 1 - Fase B

v_i [Pst]	v_{Pi} [Pst]	t [Pst]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [Pst]	E_C [Pst]	U_s [Pst]	Laudo
0,59	0,6320	-0,0399	2	4,3027	0,0445	0,0844	0,0294	Não Conforme
1,40	1,4194	-0,0282	2	4,3027	0,0319	0,0601	0,0701	Conforme
2,51	2,5319	-0,0123	2	4,3027	0,0318	0,0442	0,1254	Conforme
3,33	3,3257	-0,0006	2	4,3027	0,0446	0,0451	0,1665	Conforme



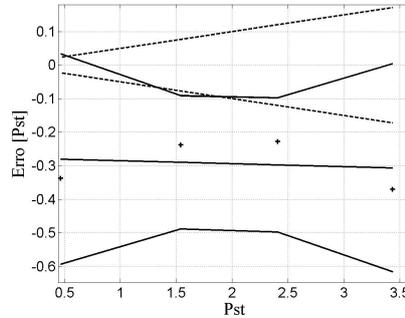
Cintilação Constante - Condições 1 - Fase C

v_i [Pst]	v_{Pi} [Pst]	t [Pst]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [Pst]	E_C [Pst]	U_s [Pst]	Laudo
0,59	0,6483	-0,0542	2	4,3027	0,0508	0,1050	0,0294	Não Conforme
1,40	1,4547	-0,0674	2	4,3027	0,0361	0,1035	0,0701	Não Conforme
2,51	2,6018	-0,0853	2	4,3027	0,0360	0,1213	0,1253	Conforme
3,33	3,4297	-0,0987	2	4,3027	0,0510	0,1497	0,1667	Conforme



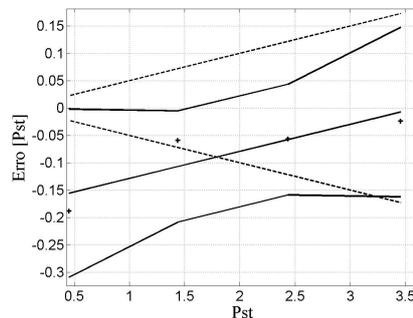
Cintilação Constante - Condições 2 - Fase A

v_i [Pst]	v_{Pi} [Pst]	t [Pst]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [Pst]	E_C [Pst]	U_s [Pst]	Laudo
0,47	0,8022	-0,2804	2	4,3027	0,3130	0,5934	0,0233	Não Conforme
1,54	1,7763	-0,2898	2	4,3027	0,1984	0,4881	0,0769	Não Conforme
2,41	2,6352	-0,2974	2	4,3027	0,1997	0,4971	0,1204	Não Conforme
3,44	3,8061	-0,3063	2	4,3027	0,3100	0,6164	0,1718	Não Conforme



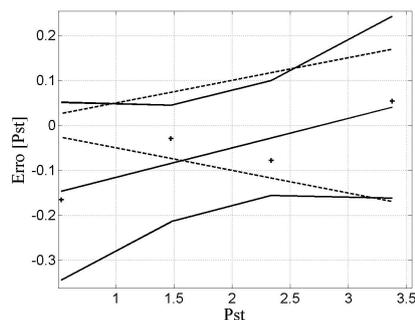
Cintilação Constante - Condições 2 - Fase B

v_i [Pst]	v_{Pi} [Pst]	t [Pst]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [Pst]	E_C [Pst]	U_s [Pst]	Laudo
0,45	0,6400	-0,1554	2	4,3027	0,1536	0,3090	0,0226	Não Conforme
1,44	1,4958	-0,1068	2	4,3027	0,1016	0,2084	0,0719	Não Conforme
2,44	2,4934	-0,0575	2	4,3027	0,1010	0,1585	0,1219	Não Conforme
3,46	3,4806	-0,0072	2	4,3027	0,1547	0,1619	0,1729	Conforme



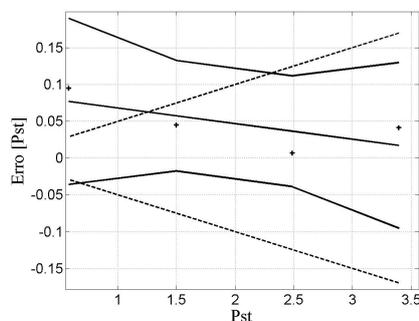
Cintilação Constante - Condições 2 - Fase C

v_i [Pst]	v_{Pi} [Pst]	t [Pst]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [Pst]	E_C [Pst]	U_s [Pst]	Laudo
0,53	0,6982	-0,1467	2	4,3027	0,1976	0,3443	0,0267	Não Conforme
1,48	1,5057	-0,0848	2	4,3027	0,1297	0,2145	0,0738	Não Conforme
2,34	2,4144	-0,0283	2	4,3027	0,1276	0,1560	0,1168	Não Conforme
3,38	3,3226	0,0399	2	4,3027	0,2020	0,2419	0,1688	Não Conforme



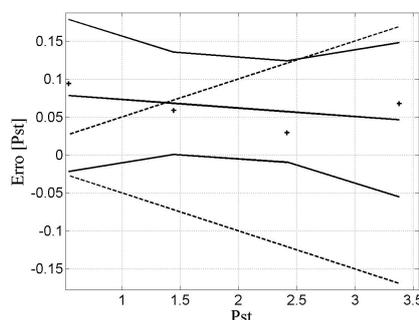
Cintilação Constante - Condições 3 - Fase A

v_i [Pst]	v_{Pi} [Pst]	t [Pst]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [Pst]	E_c [Pst]	U_s [Pst]	Laudo
0,58	0,4880	0,0769	2	4,3027	0,1127	0,1896	0,0291	Não Conforme
1,50	1,4553	0,0574	2	4,3027	0,0750	0,1325	0,0750	Não Conforme
2,49	2,4801	0,0364	2	4,3027	0,0752	0,1116	0,1244	Conforme
3,40	3,3537	0,0171	2	4,3027	0,1124	0,1296	0,1698	Conforme



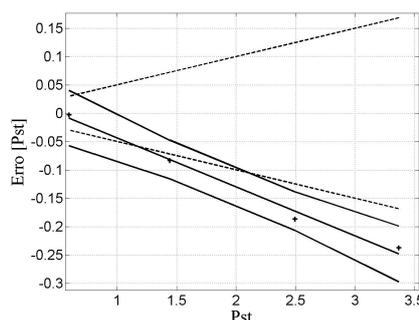
Cintilação Constante - Condições 3 - Fase B

v_i [Pst]	v_{Pi} [Pst]	t [Pst]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [Pst]	E_c [Pst]	U_s [Pst]	Laudo
0,54	0,4479	0,0783	2	4,3027	0,1001	0,1784	0,0271	Não Conforme
1,44	1,3844	0,0681	2	4,3027	0,0675	0,1356	0,0722	Não Conforme
2,42	2,3884	0,0572	2	4,3027	0,0668	0,1239	0,1209	Não Conforme
3,38	3,3114	0,0463	2	4,3027	0,1015	0,1478	0,1690	Conforme



Cintilação Constante - Condições 3 - Fase C

v_i [Pst]	v_{Pi} [Pst]	t [Pst]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [Pst]	E_c [Pst]	U_s [Pst]	Laudo
0,60	0,5990	-0,0088	2	4,3027	0,0487	0,0575	0,0298	Não Conforme
1,44	1,5278	-0,0820	2	4,3027	0,0343	0,1163	0,0722	Não Conforme
2,50	2,6822	-0,1728	2	4,3027	0,0341	0,2070	0,1248	Não Conforme
3,37	3,6048	-0,2482	2	4,3027	0,0489	0,2971	0,1684	Não Conforme



Laudo – Afundamentos e Elevações de Tensão

Tipo Q

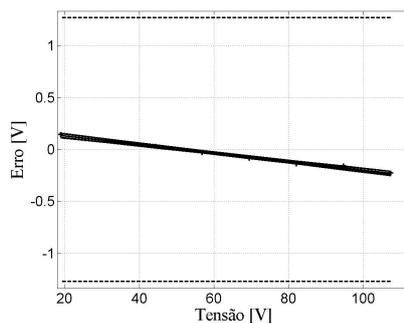
Questionamento	Laudo	Observações
O SMA ao registrar um afundamento indica a amplitude e a duração da mesmo?	Conforme	Sem Observações
O SMA ao registrar uma elevação indica a amplitude e a duração da mesma?	Conforme	Sem Observações

Resumo – Tipo C

Teste	Laudo	Observações
Amplitude do Afundamento - Fase A	Conforme	Sem Observações
Amplitude do Afundamento - Fase B	Conforme	Sem Observações
Amplitude do Afundamento - Fase C	Conforme	Sem Observações
Duração do Afundamento - Fase A	Conforme	Sem Observações
Duração do Afundamento - Fase B	Conforme	Sem Observações
Duração do Afundamento - Fase C	Conforme	Sem Observações
Amplitude da Elevação - Fase A	Conforme	Sem Observações
Amplitude da Elevação - Fase B	Conforme	Sem Observações
Amplitude da Elevação - Fase C	Conforme	Sem Observações
Duração da Elevação - Fase A	Conforme	Sem Observações
Duração da Elevação - Fase B	Conforme	Sem Observações
Duração da Elevação - Fase C	Conforme	Sem Observações

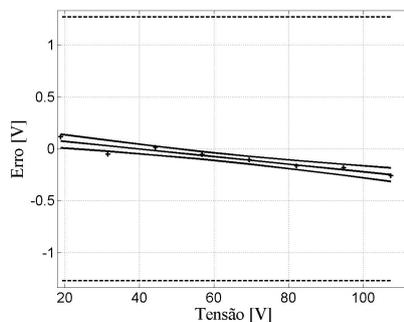
Amplitude do Afundamento - Fase A

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_c [V]	U_s [V]	Laudo
18,94	18,7920	0,1357	7	2,3646	0,0197	0,1554	1,2700	Conforme
31,67	31,5840	0,0832	8	2,3060	0,0160	0,0992	1,2700	Conforme
44,31	44,2734	0,0310	10	2,2281	0,0131	0,0440	1,2700	Conforme
56,84	56,8711	-0,0208	12	2,1788	0,0114	0,0322	1,2700	Conforme
69,47	69,5547	-0,0729	12	2,1788	0,0114	0,0843	1,2700	Conforme
82,11	82,2500	-0,1251	10	2,2281	0,0131	0,1382	1,2700	Conforme
94,76	94,9141	-0,1773	8	2,3060	0,0160	0,1933	1,2700	Conforme
107,38	107,6094	-0,2294	7	2,3646	0,0197	0,2491	1,2700	Conforme



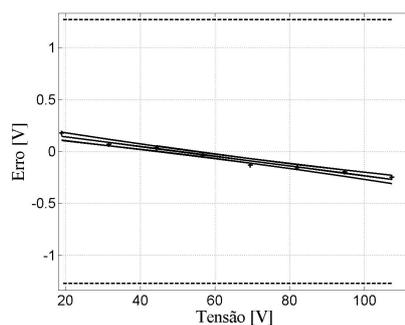
Amplitude do Afundamento - Fase B

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_c [V]	U_s [V]	Laudo
18,91	18,7881	0,0757	6	2,4469	0,0653	0,1411	1,2700	Conforme
31,55	31,5977	0,0295	6	2,4469	0,0531	0,0826	1,2700	Conforme
44,29	44,2715	-0,0171	6	2,4469	0,0430	0,0601	1,2700	Conforme
56,80	56,8594	-0,0629	6	2,4469	0,0371	0,0999	1,2700	Conforme
69,46	69,5664	-0,1092	6	2,4469	0,0371	0,1462	1,2700	Conforme
82,07	82,2383	-0,1553	6	2,4469	0,0431	0,1983	1,2700	Conforme
94,75	94,9297	-0,2016	6	2,4469	0,0531	0,2547	1,2700	Conforme
107,38	107,6406	-0,2478	6	2,4469	0,0653	0,3131	1,2700	Conforme



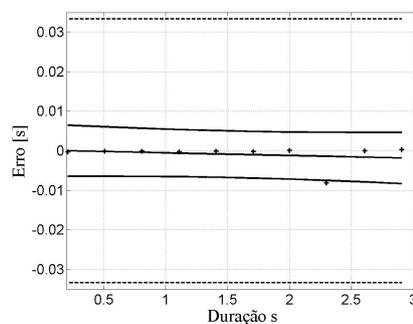
Amplitude do Afundamento - Fase C

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_c [V]	U_s [V]	Laudo
18,95	18,7695	0,1473	6	2,4469	0,0387	0,1861	1,2700	Conforme
31,63	31,5566	0,0878	6	2,4469	0,0316	0,1194	1,2700	Conforme
44,29	44,2520	0,0284	7	2,3646	0,0250	0,0534	1,2700	Conforme
56,78	56,8203	-0,0303	7	2,3646	0,0217	0,0520	1,2700	Conforme
69,44	69,5664	-0,0897	7	2,3646	0,0217	0,1114	1,2700	Conforme
82,08	82,2344	-0,1490	7	2,3646	0,0250	0,1740	1,2700	Conforme
94,72	94,9141	-0,2083	6	2,4469	0,0317	0,2400	1,2700	Conforme
107,33	107,5781	-0,2675	6	2,4469	0,0387	0,3063	1,2700	Conforme



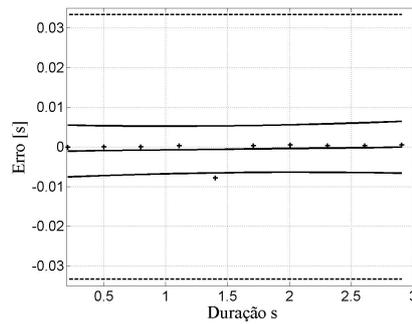
Duração do Afundamento - Fase A

v_i [s]	v_{Pi} [s]	t [s]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [s]	E_c [s]	U_s [s]	Laudo
0,21	0,2086	0,0000	160	1,9749	0,0065	0,0065	0,0333	Conforme
0,51	0,5084	-0,0002	272	1,9687	0,0062	0,0064	0,0333	Conforme
0,81	0,8084	-0,0004	492	1,9648	0,0061	0,0065	0,0333	Conforme
1,11	1,1086	-0,0006	874	1,9627	0,0060	0,0065	0,0333	Conforme
1,41	1,4084	-0,0008	1284	1,9618	0,0059	0,0067	0,0333	Conforme
1,71	1,7085	-0,0010	1281	1,9618	0,0059	0,0069	0,0333	Conforme
2,00	1,9999	-0,0012	881	1,9627	0,0060	0,0071	0,0333	Conforme
2,30	2,3081	-0,0014	497	1,9647	0,0061	0,0075	0,0333	Conforme
2,61	2,6084	-0,0016	270	1,9688	0,0062	0,0078	0,0333	Conforme
2,91	2,9081	-0,0018	159	1,9750	0,0065	0,0083	0,0333	Conforme



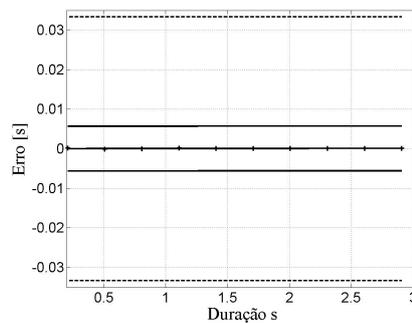
Duração do Afundamento - Fase B

v_i [s]	v_{Pi} [s]	t [s]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [s]	E_c [s]	U_s [s]	Laudo
0,21	0,2084	-0,0011	149	1,9760	0,0065	0,0076	0,0333	Conforme
0,50	0,5000	-0,0010	248	1,9696	0,0063	0,0072	0,0333	Conforme
0,80	0,8000	-0,0008	445	1,9653	0,0061	0,0069	0,0333	Conforme
1,11	1,1081	-0,0007	799	1,9629	0,0060	0,0067	0,0333	Conforme
1,40	1,4079	-0,0006	1162	1,9620	0,0059	0,0065	0,0333	Conforme
1,71	1,7081	-0,0005	1165	1,9620	0,0059	0,0064	0,0333	Conforme
2,01	2,0079	-0,0004	793	1,9630	0,0060	0,0064	0,0333	Conforme
2,31	2,3081	-0,0003	448	1,9653	0,0061	0,0064	0,0333	Conforme
2,61	2,6081	-0,0002	250	1,9695	0,0063	0,0065	0,0333	Conforme
2,91	2,9079	-0,0001	148	1,9761	0,0065	0,0066	0,0333	Conforme



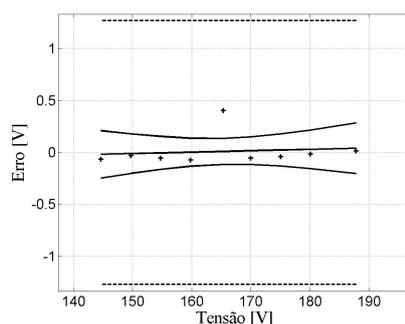
Duração do Afundamento - Fase C

v_i [s]	v_{Pi} [s]	t [s]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [s]	E_c [s]	U_s [s]	Laudo
0,21	0,2083	0,0000	100000	1,9600	0,0057	0,0057	0,0333	Conforme
0,51	0,5085	0,0001	100000	1,9600	0,0057	0,0057	0,0333	Conforme
0,81	0,8084	0,0001	100000	1,9600	0,0057	0,0057	0,0333	Conforme
1,11	1,1082	0,0001	100000	1,9600	0,0057	0,0057	0,0333	Conforme
1,41	1,4083	0,0001	100000	1,9600	0,0057	0,0057	0,0333	Conforme
1,71	1,7083	0,0001	100000	1,9600	0,0057	0,0057	0,0333	Conforme
2,01	2,0083	0,0001	100000	1,9600	0,0057	0,0057	0,0333	Conforme
2,31	2,3083	0,0001	100000	1,9600	0,0057	0,0058	0,0333	Conforme
2,61	2,6083	0,0001	100000	1,9600	0,0057	0,0058	0,0333	Conforme
2,91	2,9083	0,0001	100000	1,9600	0,0057	0,0058	0,0333	Conforme



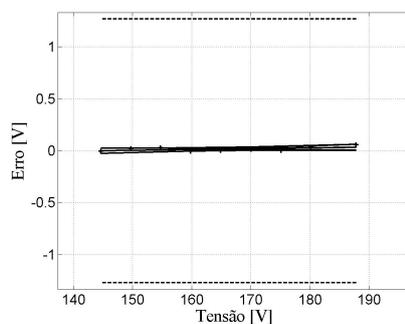
Amplitude da Elevação - Fase A

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_C [V]	U_s [V]	Laudo
144,64	144,7031	-0,0174	7	2,3646	0,2277	0,2450	1,2700	Conforme
149,75	149,7734	-0,0105	7	2,3646	0,1901	0,2006	1,2700	Conforme
154,71	154,7656	-0,0038	7	2,3646	0,1585	0,1623	1,2700	Conforme
159,80	159,8672	0,0031	7	2,3646	0,1350	0,1381	1,2700	Conforme
165,36	164,9609	0,0106	7	2,3646	0,1253	0,1359	1,2700	Conforme
169,99	170,0469	0,0169	7	2,3646	0,1327	0,1496	1,2700	Conforme
175,08	175,1172	0,0238	7	2,3646	0,1546	0,1784	1,2700	Conforme
180,09	180,1016	0,0305	7	2,3646	0,1855	0,2161	1,2700	Conforme
187,81	187,7969	0,0410	7	2,3646	0,2429	0,2839	1,2700	Conforme



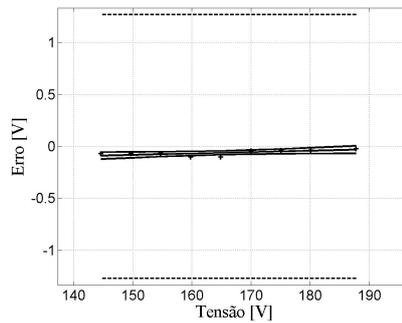
Amplitude da Elevação - Fase B

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_C [V]	U_s [V]	Laudo
144,65	144,6563	0,0011	8	2,3060	0,0260	0,0271	1,2700	Conforme
149,76	149,7344	0,0050	8	2,3060	0,0220	0,0270	1,2700	Conforme
154,75	154,7188	0,0088	9	2,2622	0,0184	0,0272	1,2700	Conforme
159,86	159,8672	0,0128	10	2,2281	0,0157	0,0285	1,2700	Conforme
164,94	164,9375	0,0167	10	2,2281	0,0148	0,0315	1,2700	Conforme
170,04	170,0234	0,0206	10	2,2281	0,0156	0,0361	1,2700	Conforme
175,14	175,1406	0,0245	9	2,2622	0,0180	0,0425	1,2700	Conforme
180,13	180,1016	0,0283	8	2,3060	0,0216	0,0499	1,2700	Conforme
187,84	187,7813	0,0342	7	2,3646	0,0284	0,0626	1,2700	Conforme



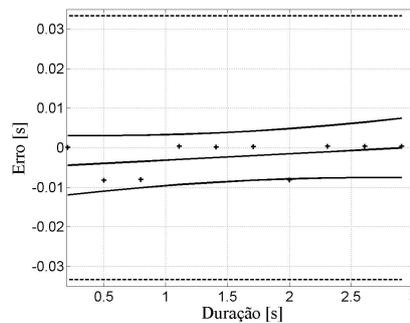
Amplitude da Elevação - Fase C

v_i [V]	v_{Pi} [V]	t [V]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [V]	E_c [V]	U_s [V]	Laudo
144,61	144,6797	-0,0878	7	2,3646	0,0337	0,1215	1,2700	Conforme
149,70	149,7734	-0,0809	7	2,3646	0,0284	0,1094	1,2700	Conforme
154,70	154,7656	-0,0743	8	2,3060	0,0234	0,0976	1,2700	Conforme
159,80	159,8984	-0,0674	8	2,3060	0,0202	0,0876	1,2700	Conforme
164,89	164,9922	-0,0606	9	2,2622	0,0186	0,0792	1,2700	Conforme
169,99	170,0313	-0,0538	8	2,3060	0,0200	0,0737	1,2700	Conforme
175,08	175,1172	-0,0469	8	2,3060	0,0229	0,0699	1,2700	Conforme
180,08	180,1172	-0,0403	7	2,3646	0,0279	0,0681	1,2700	Conforme
187,78	187,7969	-0,0299	7	2,3646	0,0360	0,0659	1,2700	Conforme



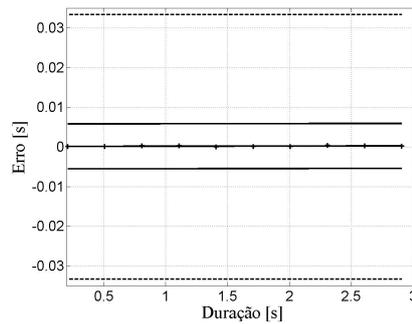
Duração da Elevação - Fase A

v_i [s]	v_{Pi} [s]	t [s]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [s]	E_c [s]	U_s [s]	Laudo
0,21	0,2082	-0,0044	49	2,0096	0,0075	0,0119	0,0333	Conforme
0,50	0,5082	-0,0039	75	1,9921	0,0070	0,0109	0,0333	Conforme
0,80	0,8080	-0,0035	122	1,9796	0,0066	0,0101	0,0333	Conforme
1,11	1,1079	-0,0030	204	1,9717	0,0064	0,0093	0,0333	Conforme
1,41	1,4081	-0,0025	288	1,9682	0,0062	0,0087	0,0333	Conforme
1,71	1,7080	-0,0020	287	1,9683	0,0062	0,0082	0,0333	Conforme
2,00	2,0082	-0,0015	205	1,9716	0,0064	0,0079	0,0333	Conforme
2,31	2,3079	-0,0010	123	1,9794	0,0066	0,0076	0,0333	Conforme
2,61	2,6079	-0,0005	75	1,9921	0,0070	0,0075	0,0333	Conforme
2,91	2,9079	-0,0000	49	2,0096	0,0075	0,0075	0,0333	Conforme



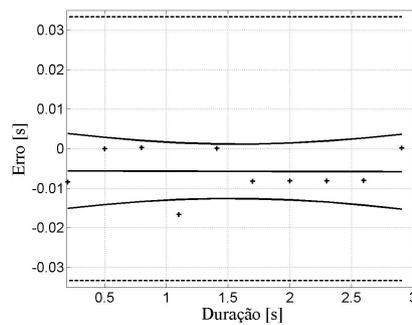
Duração da Elevação - Fase B

v_i [s]	v_{P_i} [s]	t [s]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [s]	E_c [s]	U_s [s]	Laudo
0,21	0,2082	0,0001	100000	1,9600	0,0057	0,0058	0,0333	Conforme
0,51	0,5082	0,0001	100000	1,9600	0,0057	0,0058	0,0333	Conforme
0,81	0,8080	0,0002	100000	1,9600	0,0057	0,0058	0,0333	Conforme
1,11	1,1080	0,0002	100000	1,9600	0,0057	0,0058	0,0333	Conforme
1,41	1,4083	0,0002	100000	1,9600	0,0057	0,0058	0,0333	Conforme
1,71	1,7082	0,0002	100000	1,9600	0,0057	0,0059	0,0333	Conforme
2,01	2,0082	0,0002	100000	1,9600	0,0057	0,0059	0,0333	Conforme
2,31	2,3079	0,0002	100000	1,9600	0,0057	0,0059	0,0333	Conforme
2,61	2,6080	0,0002	100000	1,9600	0,0057	0,0059	0,0333	Conforme
2,91	2,9081	0,0003	100000	1,9600	0,0057	0,0059	0,0333	Conforme



Duração da Elevação - Fase C

v_i [s]	v_{P_i} [s]	t [s]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [s]	E_c [s]	U_s [s]	Laudo
0,20	0,2084	-0,0056	22	2,0739	0,0094	0,0150	0,0333	Conforme
0,50	0,5000	-0,0056	29	2,0452	0,0085	0,0141	0,0333	Conforme
0,80	0,7998	-0,0056	43	2,0167	0,0077	0,0134	0,0333	Conforme
1,10	1,1166	-0,0057	63	1,9983	0,0072	0,0128	0,0333	Conforme
1,41	1,4082	-0,0057	84	1,9886	0,0069	0,0126	0,0333	Conforme
1,70	1,7082	-0,0057	84	1,9886	0,0069	0,0126	0,0333	Conforme
2,00	2,0082	-0,0057	63	1,9983	0,0072	0,0129	0,0333	Conforme
2,30	2,3082	-0,0058	43	2,0167	0,0077	0,0135	0,0333	Conforme
2,60	2,6080	-0,0058	30	2,0423	0,0085	0,0143	0,0333	Conforme
2,91	2,9081	-0,0058	22	2,0739	0,0095	0,0153	0,0333	Conforme



Laudo – Interrupções de Tensão

Tipo Q

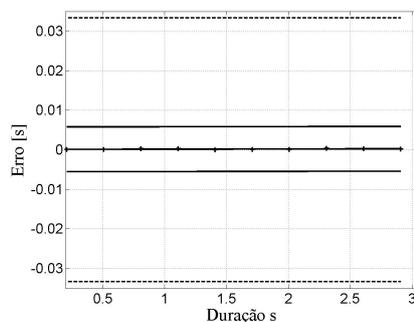
Questionamento	Laudo	Observações
O SMA ao registrar uma interrupção indica a duração da mesma?	Conforme	Sem Observações

Resumo – Tipo C

Teste	Laudo	Observações
Duração da Interupção	Conforme	Sem Observações

Duração da Interupção

v_i [s]	v_{Pi} [s]	t [s]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [s]	E_c [s]	U_s [s]	Laudo
0,21	0,2082	0,0001	100000	1,9600	0,0057	0,0058	0,0333	Conforme
0,51	0,5082	0,0001	100000	1,9600	0,0057	0,0058	0,0333	Conforme
0,81	0,8080	0,0002	100000	1,9600	0,0057	0,0058	0,0333	Conforme
1,11	1,1080	0,0002	100000	1,9600	0,0057	0,0058	0,0333	Conforme
1,41	1,4083	0,0002	100000	1,9600	0,0057	0,0058	0,0333	Conforme
1,71	1,7082	0,0002	100000	1,9600	0,0057	0,0059	0,0333	Conforme
2,01	2,0082	0,0002	100000	1,9600	0,0057	0,0059	0,0333	Conforme
2,31	2,3079	0,0002	100000	1,9600	0,0057	0,0059	0,0333	Conforme
2,61	2,6080	0,0002	100000	1,9600	0,0057	0,0059	0,0333	Conforme
2,91	2,9081	0,0003	100000	1,9600	0,0057	0,0059	0,0333	Conforme



Laudo – Desequilíbrio de Tensão Elétrica

Tipo Q

Questionamento	Laudo	Observações
O SMA fornece as indicações do fator de desequilíbrio de sequência negativa cada 12 ciclos, conforme o item 4.4?	Conforme	Sem Observações
O SMA fornece as indicações do fator de desequilíbrio de sequência negativa cada 180 ciclos, conforme o item 4.5.2?	Conforme	Sem Observações
O SMA fornece as indicações do fator de desequilíbrio de sequência negativa cada 10 minutos do tempo absoluto do RTC?	Conforme	Sem Observações
O SMA fornece as indicações do fator de desequilíbrio de sequência negativa a cada 2 horas do tempo absoluto do RTC?	Conforme	Sem Observações

Tipo V

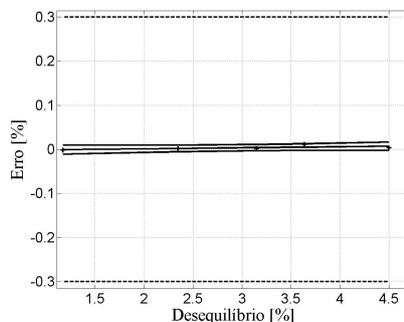
Teste	v	v_P	Laudo	Observações
Componentes Simétricas Sequência Negativa	5,03	5,034	Conforme	Sem Observações

Resumo – Tipo C

Teste	Laudo	Observações
Desequilíbrio Constante - Condições 1 - Sequência Negativa	Conforme	Sem Observações
Desequilíbrio Constante - Condições 2 - Sequência Negativa	Conforme	Sem Observações
Desequilíbrio Constante - Condições 3 - Sequência Negativa	Conforme	Sem Observações

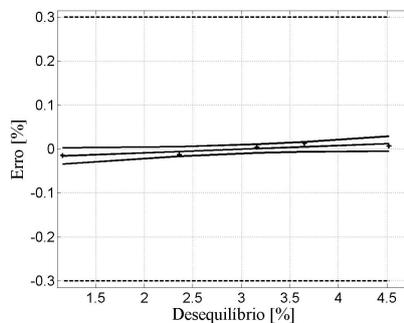
Desequilíbrio Constante - Condições 1 - Sequência Negativa

v_i [%]	v_{Pi} [%]	t [%]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [%]	E_c [%]	U_s [%]	Laudo
1,17	1,1714	-0,0007	8	2,3060	0,0105	0,0112	0,3000	Conforme
2,35	2,3481	0,0021	24	2,0639	0,0074	0,0095	0,3000	Conforme
3,15	3,1479	0,0040	32	2,0369	0,0070	0,0110	0,3000	Conforme
3,64	3,6288	0,0051	22	2,0739	0,0075	0,0126	0,3000	Conforme
4,50	4,4962	0,0071	10	2,2281	0,0095	0,0167	0,3000	Conforme



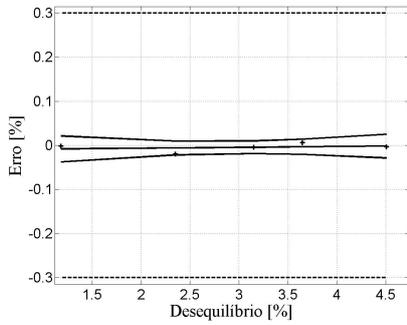
Desequilíbrio Constante - Condições 2 - Sequência Negativa

v_i [%]	v_{Pi} [%]	t [%]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [%]	E_c [%]	U_s [%]	Laudo
1,16	1,1747	-0,0157	4	2,7764	0,0186	0,0342	0,3000	Conforme
2,36	2,3727	-0,0057	7	2,3646	0,0110	0,0167	0,3000	Conforme
3,16	3,1554	0,0009	9	2,2622	0,0099	0,0108	0,3000	Conforme
3,65	3,6372	0,0049	7	2,3646	0,0112	0,0161	0,3000	Conforme
4,52	4,5134	0,0121	4	2,7764	0,0171	0,0292	0,3000	Conforme



Desequilíbrio Constante - Condições 3 - Sequência Negativa

v_i [%]	v_{Pi} [%]	t [%]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [%]	E_c [%]	U_s [%]	Laudo
1,18	1,1814	-0,0081	3	3,1824	0,0294	0,0375	0,3000	Conforme
2,35	2,3700	-0,0059	5	2,5706	0,0156	0,0215	0,3000	Conforme
3,15	3,1541	-0,0043	5	2,5706	0,0143	0,0186	0,3000	Conforme
3,65	3,6442	-0,0033	4	2,7764	0,0172	0,0206	0,3000	Conforme
4,51	4,5136	-0,0017	3	3,1824	0,0268	0,0285	0,3000	Conforme



Laudo – Tensões Harmônicas

Tipo Q

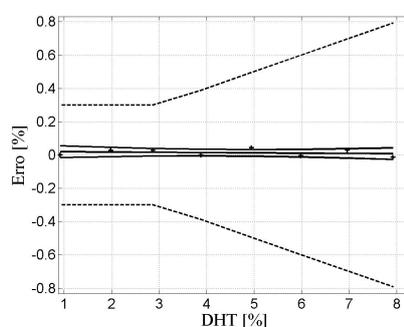
Questionamento	Laudo	Observações
O SMA fornece as indicações das componentes harmônicas e a distorção harmônica total (DHT) a cada 12 ciclos, conforme a norma IEC 61000-4-7?	Conforme	Sem Observações
O SMA fornece as indicações das componentes harmônicas e a DHT a cada 180 ciclos, conforme o item 4.5.2 da norma IEC 61000-4-30?	Conforme	Sem Observações
O SMA fornece as indicações das componentes harmônicas e a DHT a cada 10 minutos do tempo absoluto do RTC?	Conforme	Sem Observações
O SMA fornece as indicações das componentes harmônicas e a DHT a cada 2 horas do tempo absoluto do RTC, conforme o item 4.5.4 da norma IEC 61000-4-30?	Conforme	Sem Observações

Resumo – Tipo C

Teste	Laudo	Observações
Harmônicas Constantes - Condições 1 - Fase A	Conforme	Sem Observações
Harmônicas Constantes - Condições 1 - Fase B	Conforme	Sem Observações
Harmônicas Constantes - Condições 1 - Fase C	Conforme	Sem Observações
Harmônicas Constantes - Condições 2 - Fase A	Conforme	Sem Observações
Harmônicas Constantes - Condições 2 - Fase B	Conforme	Sem Observações
Harmônicas Constantes - Condições 2 - Fase C	Conforme	Sem Observações
Harmônicas Constantes - Condições 3 - Fase A	Conforme	Sem Observações
Harmônicas Constantes - Condições 3 - Fase B	Conforme	Sem Observações
Harmônicas Constantes - Condições 3 - Fase C	Conforme	Sem Observações

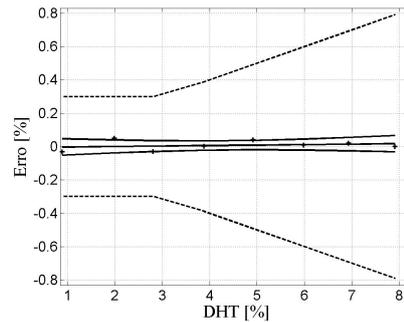
Harmônicas Constantes - Condições 1 - Fase A

v_i [%]	v_{Pi} [%]	t [%]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [%]	E_c [%]	U_s [%]	Laudo
0,92	0,9191	0,0196	6	2,4469	0,0349	0,0545	0,3000	Conforme
1,98	1,9526	0,0178	6	2,4469	0,0283	0,0461	0,3000	Conforme
2,87	2,8427	0,0163	7	2,3646	0,0229	0,0392	0,3000	Conforme
3,88	3,8799	0,0147	7	2,3646	0,0198	0,0345	0,3880	Conforme
4,94	4,8970	0,0129	7	2,3646	0,0197	0,0326	0,4940	Conforme
5,98	5,9852	0,0112	7	2,3646	0,0228	0,0340	0,5980	Conforme
6,96	6,9303	0,0095	6	2,4469	0,0287	0,0382	0,6960	Conforme
7,92	7,9332	0,0079	6	2,4469	0,0347	0,0427	0,7920	Conforme



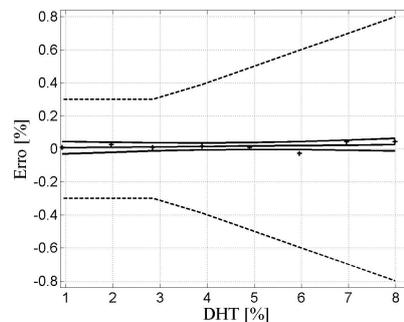
Harmônicas Constantes - Condições 1 - Fase B

v_i [%]	v_{Pi} [%]	t [%]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [%]	E_c [%]	U_s [%]	Laudo
0,89	0,9208	-0,0023	6	2,4469	0,0490	0,0513	0,3000	Conforme
1,99	1,9403	0,0008	6	2,4469	0,0392	0,0400	0,3000	Conforme
2,81	2,8400	0,0031	6	2,4469	0,0331	0,0362	0,3000	Conforme
3,88	3,8770	0,0061	6	2,4469	0,0281	0,0342	0,3880	Conforme
4,92	4,8802	0,0090	6	2,4469	0,0281	0,0371	0,4920	Conforme
5,98	5,9710	0,0120	6	2,4469	0,0328	0,0449	0,5980	Conforme
6,93	6,9088	0,0147	6	2,4469	0,0399	0,0546	0,6930	Conforme
7,91	7,9109	0,0174	6	2,4469	0,0487	0,0662	0,7910	Conforme



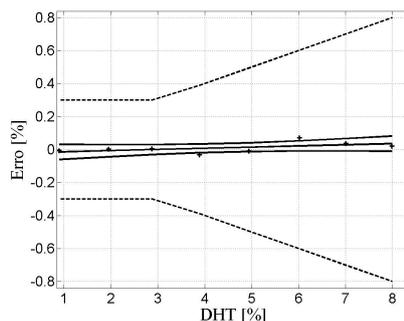
Harmônicas Constantes - Condições 1 - Fase C

v_i [%]	v_{Pi} [%]	t [%]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [%]	E_c [%]	U_s [%]	Laudo
0,93	0,9212	0,0071	6	2,4469	0,0374	0,0444	0,3000	Conforme
1,97	1,9449	0,0098	6	2,4469	0,0304	0,0401	0,3000	Conforme
2,85	2,8402	0,0121	7	2,3646	0,0246	0,0367	0,3000	Conforme
3,89	3,8732	0,0148	7	2,3646	0,0212	0,0360	0,3890	Conforme
4,90	4,8911	0,0174	7	2,3646	0,0211	0,0385	0,4900	Conforme
5,96	5,9868	0,0202	7	2,3646	0,0244	0,0446	0,5960	Conforme
6,96	6,9169	0,0228	6	2,4469	0,0308	0,0536	0,6960	Conforme
7,98	7,9362	0,0254	6	2,4469	0,0377	0,0631	0,7980	Conforme



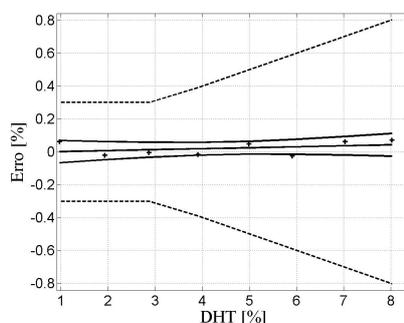
Harmônicas Constantes - Condições 2 - Fase A

v_i [%]	v_{Pi} [%]	t [%]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [%]	E_c [%]	U_s [%]	Laudo
0,90	0,9062	-0,0138	6	2,4469	0,0458	0,0597	0,3000	Conforme
1,95	1,9478	-0,0065	6	2,4469	0,0371	0,0436	0,3000	Conforme
2,88	2,8753	0,0001	6	2,4469	0,0308	0,0308	0,3000	Conforme
3,89	3,9224	0,0072	6	2,4469	0,0265	0,0337	0,3890	Conforme
4,94	4,9492	0,0145	6	2,4469	0,0264	0,0409	0,4940	Conforme
6,02	5,9489	0,0221	6	2,4469	0,0308	0,0529	0,6020	Conforme
7,01	6,9731	0,0291	6	2,4469	0,0376	0,0667	0,7010	Conforme
7,99	7,9686	0,0359	6	2,4469	0,0458	0,0817	0,7990	Conforme



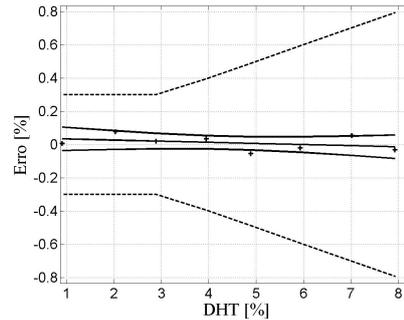
Harmônicas Constantes - Condições 2 - Fase B

v_i [%]	v_{Pi} [%]	t [%]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [%]	E_c [%]	U_s [%]	Laudo
0,97	0,9078	0,0020	6	2,4469	0,0677	0,0697	0,3000	Conforme
1,93	1,9498	0,0076	6	2,4469	0,0556	0,0631	0,3000	Conforme
2,87	2,8742	0,0130	6	2,4469	0,0457	0,0587	0,3000	Conforme
3,91	3,9269	0,0190	6	2,4469	0,0390	0,0580	0,3910	Conforme
4,99	4,9408	0,0253	6	2,4469	0,0389	0,0642	0,4990	Conforme
5,91	5,9361	0,0306	6	2,4469	0,0446	0,0752	0,5910	Conforme
7,03	6,9676	0,0371	6	2,4469	0,0562	0,0932	0,7030	Conforme
8,02	7,9496	0,0428	6	2,4469	0,0688	0,1115	0,8020	Conforme



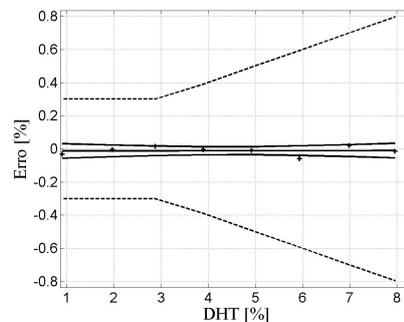
Harmônicas Constantes - Condições 2 - Fase C

v_i [%]	v_{Pi} [%]	t [%]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [%]	E_c [%]	U_s [%]	Laudo
0,91	0,9032	0,0346	6	2,4469	0,0708	0,1054	0,3000	Conforme
2,03	1,9534	0,0270	6	2,4469	0,0561	0,0831	0,3000	Conforme
2,89	2,8697	0,0212	6	2,4469	0,0469	0,0681	0,3000	Conforme
3,95	3,9162	0,0140	6	2,4469	0,0399	0,0539	0,3950	Conforme
4,89	4,9437	0,0077	6	2,4469	0,0397	0,0474	0,4890	Conforme
5,93	5,9494	0,0007	6	2,4469	0,0463	0,0470	0,5930	Conforme
7,02	6,9663	-0,0067	6	2,4469	0,0581	0,0648	0,7020	Conforme
7,93	7,9624	-0,0128	6	2,4469	0,0701	0,0830	0,7930	Conforme



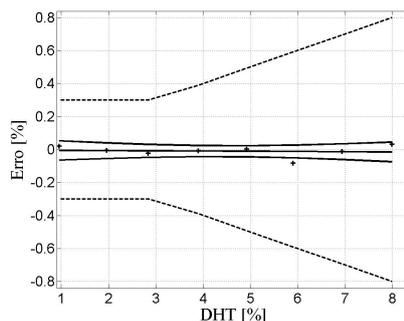
Harmônicas Constantes - Condições 3 - Fase A

v_i [%]	v_{Pi} [%]	t [%]	v_{eff}	k	$U_{95\%}$ [%]	E_c [%]	U_s [%]	Laudo
0,91	0,9418	-0,0122	6	2,4469	0,0439	0,0560	0,3000	Conforme
1,97	1,9755	-0,0118	6	2,4469	0,0354	0,0472	0,3000	Conforme
2,88	2,8638	-0,0116	6	2,4469	0,0295	0,0410	0,3000	Conforme
3,90	3,9052	-0,0112	7	2,3646	0,0245	0,0357	0,3900	Conforme
4,92	4,9295	-0,0109	7	2,3646	0,0244	0,0353	0,4920	Conforme
5,94	5,9992	-0,0106	6	2,4469	0,0292	0,0398	0,5940	Conforme
6,99	6,9702	-0,0103	6	2,4469	0,0361	0,0464	0,6990	Conforme
7,96	7,9734	-0,0100	6	2,4469	0,0439	0,0539	0,7960	Conforme



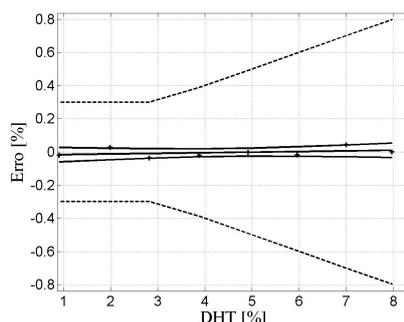
Harmônicas Constantes - Condições 3 - Fase B

v_i [%]	v_{Pi} [%]	t [%]	v_{eff}	k	U_{95} % [%]	E_c [%]	U_s [%]	Laudo
0,96	0,9405	-0,0052	6	2,4469	0,0582	0,0634	0,3000	Conforme
1,96	1,9645	-0,0064	6	2,4469	0,0474	0,0538	0,3000	Conforme
2,84	2,8631	-0,0075	6	2,4469	0,0395	0,0470	0,3000	Conforme
3,90	3,9079	-0,0089	6	2,4469	0,0335	0,0424	0,3900	Conforme
4,92	4,9173	-0,0101	6	2,4469	0,0334	0,0436	0,4920	Conforme
5,90	5,9827	-0,0114	6	2,4469	0,0386	0,0500	0,5900	Conforme
6,94	6,9518	-0,0127	6	2,4469	0,0479	0,0605	0,6940	Conforme
7,99	7,9584	-0,0140	6	2,4469	0,0593	0,0733	0,7990	Conforme



Harmônicas Constantes - Condições 3 - Fase C

v_i [%]	v_{Pi} [%]	t [%]	v_{eff}	k	U_{95} % [%]	E_c [%]	U_s [%]	Laudo
0,91	0,9304	-0,0164	6	2,4469	0,0431	0,0595	0,3000	Conforme
1,99	1,9626	-0,0124	6	2,4469	0,0347	0,0471	0,3000	Conforme
2,82	2,8572	-0,0093	6	2,4469	0,0294	0,0387	0,3000	Conforme
3,88	3,8995	-0,0054	7	2,3646	0,0242	0,0297	0,3880	Conforme
4,92	4,9229	-0,0016	7	2,3646	0,0241	0,0257	0,4920	Conforme
5,96	5,9776	0,0022	6	2,4469	0,0289	0,0311	0,5960	Conforme
7,00	6,9574	0,0061	6	2,4469	0,0356	0,0417	0,7000	Conforme
7,97	7,9696	0,0096	6	2,4469	0,0433	0,0529	0,7970	Conforme



Apêndice D

Expressão da Incerteza de Medição de um Voltímetro

Antes de se iniciar a estimação dos erros é fundamental a realização do procedimento de medição para se conhecer os valores das leituras do referido voltímetro v_i , e os seus respectivos valores padrões v_{Pi} . Os valores v_i e v_{Pi} são apresentados na Tabela D.1.

Tabela D.1: Dados oriundos da medição

i	Leitura do voltímetro v_i [V]	Valores padrões v_{Pi} [V]
1	21,52	21,3500
2	22,01	21,8430
3	22,51	22,3460
4	23,00	22,8440
5	23,50	23,3430
6	23,99	23,8340
7	24,51	24,3570
8	25,00	24,8450
9	25,50	25,3440
10	26,01	25,8490
11	26,51	26,3510

D.1 Cálculo da Tendência

Para se chegar a expressão da tendência estimada $t(v_i)$ do voltímetro em avaliação, equação (D.1), é necessário empregar a equação (2.1) citada no item 2.4.1 deste

trabalho. Atribuindo-se a v_o um valor arbitrário (20 V), calcula-se θ_i , determinado pela diferença entre v_i e v_o , é exibida na coluna 2 da Tabela D.2. A tendência observada t_i dada pela diferença entre v_i e v_{Pi} , é apresentada na coluna 3 da Tabela D.2. Para o cálculo dos parâmetros a_0 e a_1 presentes na equação (2.1), é preciso utilizar as equações (2.2) e (2.3) do mesmo item. Os resultados de a_0 e a_1 são, respectivamente, 0,1674V e $-0,0020$. Os valores da tendência estimada $t(v_i)$ são apresentados na colunas 4 da Tabela D.2.

$$t(v_i) = 0,1674 - 0,0020(v_i - 20) \text{ V} \quad (\text{D.1})$$

Tabela D.2: Valores de θ_i , da tendência observada t_i , da tendência estimada $t(v_i)$ e das diferenças entre $t_i - t(v_i)$

i	θ_i [V]	t_i [V]	$t(v_i)$ [V]
1	1,520	0,170	0,1644
2	2,010	0,167	0,1634
3	2,510	0,164	0,1624
4	3,000	0,156	0,1614
5	3,500	0,157	0,1605
6	3,990	0,156	0,1595
7	4,510	0,153	0,1585
8	5,000	0,155	0,1575
9	5,500	0,156	0,1565
10	6,010	0,161	0,1555
11	6,510	0,159	0,1545

D.2 Cálculo da Incerteza Padrão

Para se chegar a expressão da incerteza padrão da calibração linear $u_t(v_i)$ do voltímetro em avaliação, equação (D.2), é necessário empregar a equação (2.9) citada no tópico 2.4.2. Para o cálculo dos parâmetros $s(a_0)$, $s(a_1)$ e $r(a_0, a_1)$ é preciso utilizar as equações (2.5), (2.6) e (2.7). Os resultados de $s(a_0)$, $s(a_1)$ e $r(a_0, a_1)$ são, respectivamente, 0,0038V, 0,00087 e $-0,9303$. A Tabela D.3 mostra na coluna 2 a aplicação da equação (D.2) sobre as leituras do voltímetro.

$$u_t^2(v_k) = 0,0038^2 + (v_k - 20)^2 0,0009^2 + 2(v_k - 20) 0,0038 \cdot 0,0009 \cdot (-0,9303) \quad (\text{D.2})$$

Tabela D.3: Incertezas padrões das leituras do voltímetro

i	$u_t(v_i)$ [V]	$u_c(v_i)$ [V]
1	0,0026	0,0039
2	0,0022	0,0036
3	0,0019	0,0035
4	0,0016	0,0033
5	0,0014	0,0032
6	0,0014	0,0032
7	0,0014	0,0032
8	0,0016	0,0033
9	0,0019	0,0035
10	0,0022	0,0036
11	0,0026	0,0039

D.3 Cálculo da Incerteza Padrão Combinada

Para se determinar os valores da incerteza padrão combinada $u_c(v_i)$ do voltímetro em avaliação, é necessário empregar a equação (2.8) citada no tópico 2.4.2. A incerteza padrão u_B ¹, empregada para se obter os valores da incerteza padrão combinada $u_c(v_i)$, é determinada por outros meios diferentes aos utilizados na incerteza padrão linear. Neste procedimento, a resolução do voltímetro em avaliação é uma incerteza observada. Tal incerteza, constante na faixa da avaliação, é calculada conforme a equação (D.3). Ela é, na sequência, agregada à incerteza padrão u_B , segundo a equação (2.10). Esta equação é apresentada no tópico 2.4.2. Portanto, a u_B é igual a 0,003 V. A Tabela D.3 mostra na coluna 3 os valores da incerteza padrão combinada $u_c(v_i)$ para as leituras do voltímetro.

$$u_R = \frac{Resolucao}{\sqrt{12}} = \frac{0,01}{\sqrt{12}} = 0,003 V \tag{D.3}$$

D.4 Cálculo da Incerteza Expandida

Para se chegar a expressão da incerteza expandida $U(v_i)$ do voltímetro em avaliação, é necessário empregar a equação (2.11) citada no item 2.4.2. Na equação (2.11), são requeridos a incerteza padrão combinada $u_c(v_i)$ e o valor do fator de abrangência $k(v_i)$. O valor de do fator de abrangência $k(v_i)$, exibido na Tabela

¹A incerteza u_B aumenta conforme se conhece o instrumento de medição em avaliação

D.4, é determinado pelo coeficiente t de *Student*. Para poder fazer uso da estatística deste coeficiente, apresentada no Apêndice F, é preciso escolher o valor da probabilidade desejada, e determinar o número de graus de liberdade efetivos $v_{eff}(v_i)$ da incerteza padrão combinada $u_c(v_i)$. A probabilidade escolhida para este procedimento é igual a 95 %. Para se chegar à expressão do número de graus de liberdade efetivos $v_{eff}(v_i)$, equação D.4, emprega-se a equação (2.12) do tópico 2.4.2. O número de graus de liberdade da incerteza padrão $u_t(v_i)$ é igual ao número de amostras menos dois ($v_t(v_i) = N - 2 = 9$), e o número de graus de liberdade da incerteza padrão u_B é igual a infinito ($v_B = \infty$). Isto é devido ao fato de não se ter informação adicional sobre o voltímetro. A Tabela D.4 apresenta os resultados da $U(v_i)$.

$$v_{eff}(v_i) = \left\lfloor \frac{u_c^4(v_i)}{\frac{u_t(v_i)}{9} + \frac{0,003}{\infty}} \right\rfloor \quad (\text{D.4})$$

Tabela D.4: Incerteza expandida das leituras do voltímetro

i	$v_{eff}(v_i)$	$k(v_i)$	$U(v_i)$ [V]
1	46	2,0129	0,0078
2	65	1,9971	0,0073
3	99	1,9842	0,0069
4	153	1,9756	0,0066
5	223	1,9707	0,0064
6	261	1,9691	0,0063
7	223	1,9707	0,0064
8	154	1,9755	0,0065
9	99	1,9842	0,0069
10	64	1,9977	0,0073
11	45	2,0141	0,0078

D.5 Desenho da Curva de Erros

Para finalizar a análise, é adquire-se a curva de erros, Figura D.1, conforme estabelecido no tópico 2.4.4.

A curva de erros não é usualmente utilizada na avaliação de sistemas de medição. Entretanto, dela podem ser extraídas informações relevantes. Por exemplo, é possível observar da curva de erros da Figura D.1 a diminuição dos erros a níveis mais

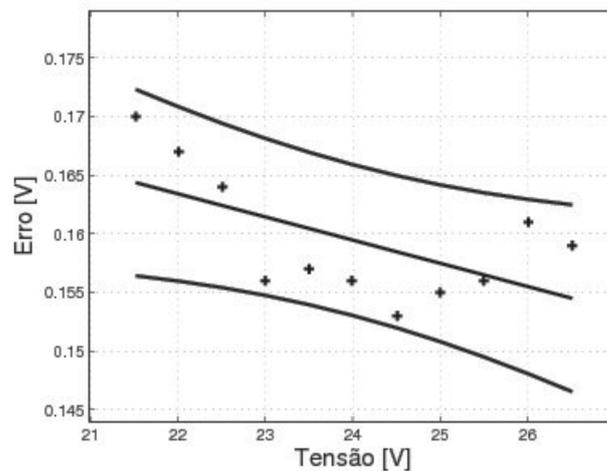


Figura D.1: Curva de erros da calibração linear sobre um voltímetro

elevados de tensão. Sendo assim, é aconselhável usar o voltímetro a tensões próximas aos 26 V. Contudo, não é possível afirmar que o voltímetro apresentará erros menores para a tensão de 28 V, como dá a intuir o desenho. Para que isso se consolide como verdadeiro, o voltímetro deve ser avaliado numa faixa maior, abrangendo valores de tensão superiores aos 28 V.

Apêndice E

Incerteza de Medição do Instrumento de Referência

O instrumento de referência de medição selecionado para o SMP foi o “*G4500 BLACKBOX Portable Power Quality Analyzer*” do fabricante *ELSPEC*. As incertezas de medição do equipamento são mostradas na Tabela E.1. Estas especificações são fiel copia do seu manual, o qual está disponibilizado no portal eletrônico <http://www.elspec-ltd.com/>.

Tabela E.1: Incertezas envolvidas do sistema padrão de medição

Parâmetro	Incerteza	Faixa de medição
Frequência	10 mHz	42,5 Hz - 69 Hz
Magnitude de Tensão Elétrica	0,1 % da U_{din}	10 % - 150 % da U_{din}
Cintilação	5%	0,2 - 10 Pst
Afundamentos e Elevações de Tensão	Amplitude: 0,2 % da U_{din} Duração: 1 ciclo	Não aplica
Interrupções	Duração: 1 ciclo	Não aplica
Desequilíbrio	0,15 %	0,5 - 5 % do u_- 0,5 - 5 % do u_o
Tensões Harmônicas	IEC 61000-4-7 Classe 1	10 - 200 % Classe 3 da IEC 61000-2-4

Apêndice F

Coeficientes t de Student

A Tabela F.1 exibe os coeficientes de t de Student.

Tabela F.1: Coeficientes de t de Student

Graus de Liberdade	Faxia de abrangência / Probabilidade				
	68,27 %	95,00 %	95,45 %	99,00 %	99,73 %
1	1,837	12,706	13,968	63,657	235,784
2	1,321	4,303	4,527	9,925	19,206
3	1,197	3,182	3,307	5,841	9,219
4	1,142	2,776	2,869	4,604	6,620
5	1,111	2,571	2,649	4,032	5,507
6	1,091	2,447	2,517	3,707	4,904
7	1,077	2,365	2,429	3,499	4,530
8	1,067	2,306	2,366	3,355	4,277
9	1,059	2,262	2,320	3,250	4,094
10	1,053	2,228	2,284	3,169	3,957
15	1,034	2,131	2,181	2,947	3,586
20	1,026	2,086	2,133	2,845	3,422
30	1,017	2,042	2,087	2,750	3,270
40	1,013	2,021	2,064	2,704	3,199
50	1,010	2,009	2,051	2,678	3,157
100	1,005	1,984	2,025	2,626	3,077
150	1,003	1,976	2,017	2,609	3,051
200	1,003	1,972	2,013	2,601	3,038
500	1,001	1,965	2,005	2,586	3,015
1000	1,001	1,962	2,003	2,581	3,007
10 000	1,000	1,960	2,000	2,576	3,001