

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MEDIDORES DE
QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA, COM FOCO NA
TENSÃO E NA POTÊNCIA**

THIAGO MOURA GALVÃO

Itajubá, Maio de 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

THIAGO MOURA GALVÃO

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MEDIDORES DE
QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA, COM FOCO NA
TENSÃO E NA POTÊNCIA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas Elétricos de Potência

Orientador: Prof. Dr. PAULO MÁRCIO DA SILVEIRA

Co Orientador: Prof. Dr. FERNANDO NUNES
BELCHIOR

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI

**Maio de 2014
Itajubá – MG**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

THIAGO MOURA GALVÃO

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MEDIDORES DE
QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA COM FOCO NA
TENSÃO E NA POTÊNCIA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo Márcio da Silveira
(Orientador)

Prof. Dr. Fernando Nunes Belchior (Co-orientador)

Prof. Dr. Paulo F. Ribeiro (Examinador interno)

Prof. Dr. José Rubens Macedo Junior
(Examinador externo)

Itajubá, Maio de 2014

Dedicatória

*Dedico este trabalho com carinho a toda
minha família, em especial aos meus pais,
Alfredo e Tânia e meus irmãos Marcos e
Marcel.*

Agradecimentos

Deus, por estar sempre no meu coração e orientar minhas decisões nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Alfredo e Tânia, pelo amor, ensinamentos e apoio incondicional na realização dos meus sonhos.

Ao meu irmão Marcos e minha cunhada Tatiana por me permitirem me sentir próximo do ambiente familiar, mesmo longe de casa, e por todo apoio dado, sem o qual tudo seria mais difícil.

Ao meu irmão Marcel por todo apoio e incentivo ao longo deste período.

Ao professor Dr. Fernando Nunes Belchior e ao professor Dr. Paulo Márcio da Silveira, pela orientação deste trabalho de dissertação. Obrigado por todo apoio, confiança, ensinamentos, e especialmente pela amizade construída.

Ao professor Dr. Glauco José Rodrigues de Azevedo pelo apoio e confiança depositados no início deste mestrado.

À Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, pelo ensino de qualidade.

Aos professores e colegas do Centro de Excelência em Redes Inteligentes – CERIn, pelo companheirismo e torcida.

Aos meus amigos Lincoln, André e Mauro pelo apoio durante os testes com os medidores no laboratório.

Aos meus amigos Arthur, Aurélio, Carlos, Dabit, Diogo, Marco, Pedro, Silas, Watson e Yuri, pela parceria em todos os momentos, amigos irmãos que levo para sempre.

À CAPES e ao CERIn, pelo apoio financeiro concedido.

À FAPEMIG, sem a qual não seria possível a aquisição da caixa Omicron e dos medidores de QEE.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	XII
I.1. LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XVI
RESUMO	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
I. INTRODUÇÃO	20
I.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	21
I.2. RELEVÂNCIA DO TEMA	21
I.3. ESTADO DA ARTE	22
I.4. OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO	25
I.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	26
II. QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA	28
II.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	29
II.2. DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO.....	29
<i>II.2.1. Normas e definições</i>	<i>29</i>
<i>II.2.2. Cálculo do desequilíbrio de tensão pelo método IEC e Prodist.....</i>	<i>30</i>
<i>II.2.3. Cálculo do desequilíbrio de tensão por outros métodos.....</i>	<i>31</i>
II.3. VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO (VTCD)	33
<i>II.3.1. Interrupções</i>	<i>36</i>
<i>II.3.2. Afundamento de tensão</i>	<i>36</i>
<i>II.3.3. Elevação de tensão.....</i>	<i>37</i>
II.4. DISTORÇÕES HARMÔNICAS	38
<i>II.4.1. Normas e definições</i>	<i>38</i>
<i>II.4.2. Determinando valor das distorções harmônicas</i>	<i>39</i>
<i>II.4.3. Efeitos das distorções harmônicas.....</i>	<i>40</i>
II.5. POTÊNCIAS ELÉTRICAS	41
II.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
III. MEDIDORES E FONTE.....	43

III.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	44
III.2. FONTE CMC 256-6 - OMICRON	44
<i>III.2.1. Software Test Universe</i>	45
<i>III.2.2. PQ Signal Generator</i>	45
<i>III.2.3. Harmonics</i>	46
III.3. MEDIDORES A E B	46
<i>III.3.1. Modo escopo</i>	47
<i>III.3.2. Modo medidor</i>	47
<i>III.3.3. Diagrama de fasores</i>	48
<i>III.3.4. Ajustes de monitoramento</i>	48
<i>III.3.5. Cartão de memória</i>	48
III.4. MEDIDOR C	48
<i>III.4.1. Software de exportação de dados</i>	49
III.5. MEDIDOR D	49
<i>III.5.1. Software de análise de dados</i>	50
<i>III.5.2. Qualidade da energia e análise de eventos</i>	50
III.6. MEDIDOR E.....	50
<i>III.6.1. Medições gerais</i>	51
<i>III.6.2. Medições de detalhes</i>	51
<i>III.6.3. Normas</i>	51
III.7. MEDIDOR F.....	52
<i>III.7.1. Software de trabalho</i>	52
III.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
IV. DISTÚRBIOS: DESEQUILÍBRIOS, VTCDS E HARMÔNICOS.....	54
IV.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	55
IV.2. MÉTODO DE AVALIAÇÃO	55
IV.3. RESULTADOS – DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO	57
IV.4. RESULTADOS – VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO (VTCD).....	59
<i>IV.4.1. Ensaios aplicados – fundamentos de tensão monofásicos</i>	60

IV.4.2. <i>Ensaio aplicado – afundamentos e elevações trifásicas com diferentes magnitudes</i>	62
IV.4.3. <i>Ensaio aplicado – afundamentos trifásicos de tensão</i>	64
IV.4.4. <i>Duração da VTCD - resultados</i>	66
IV.5. RESULTADOS – DISTORÇÃO HARMÔNICA DE TENSÃO	71
IV.5.1. <i>Ensaio aplicado – percentual e ângulo harmônico</i>	71
IV.5.2. <i>Percentual para distorção harmônica de tensão – resultados</i>	71
IV.5.3. <i>Ângulos dos harmônicos – resultados</i>	76
IV.5.4. <i>Considerações Finais</i>	81
V. MEDIÇÃO DE POTÊNCIAS ELÉTRICAS	83
V.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	84
V.2. ENSAIOS APLICADOS DE POTÊNCIA E RESULTADOS	84
V.2.1. <i>Ensaio - Sistema ideal</i>	86
V.2.2. <i>Desequilíbrio na tensão e carga equilibrada</i>	89
V.2.3. <i>Equilíbrio na tensão e carga desequilibrada</i>	96
V.2.4. <i>Sistema com fonte equilibrada e carga linear equilibrada -retificadora de seis pulsos equilibrada</i>	103
V.2.5. <i>Sistema com fonte equilibrada e carga não linear equilibrada - três retificadores monofásicos</i>	105
V.2.6. <i>Sistema com fonte equilibrada e não senoidal e carga equilibrada resistiva</i>	108
V.2.7. <i>Equilíbrio de tensão com ocorrência de distorções harmônicas e carga equilibrada indutiva</i>	111
V.2.8. <i>Equilíbrio de tensão com ocorrência de distorções harmônicas e carga equilibrada capacitiva</i>	114
V.2.9. <i>Fonte com tensão desequilibrada e não senoidal e carga equilibrada resistiva</i>	117

V.2.10. Sistema com fonte de tensão desequilibrada e cargas não lineares monofásicas	120
V.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	124
VI. CONCLUSÕES	125
VI.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	126
VI.2. RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS	128
APÊNDICE A.....	131
APÊNDICE B.....	134
APÊNDICE C.....	139
APÊNDICE D.....	149
APÊNDICE E.....	150
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	152

LISTA DE FIGURAS

Figura II.1- Forma de onda com desequilíbrio de tensão de 2% obtido no <i>software</i> PQ <i>Signal Generator</i> da OMICRON.....	30
Figura II.2 - Forma de onda com desequilíbrio de tensão de 2% obtido no <i>software</i> LabVIEW. ...	30
Figura III.1 - Fonte programável geradora de sinais de tensão e corrente, modelo CMC 256-6.	45
Figura IV.1 - Afundamentos trifásicos de tensão com magnitude de 70% e duração de 16,67 ms.	65
Figura V.1 - Programa Harmonics usado nos testes de potência.	85
Figura V.2 – Software desenvolvido em plataforma LabVIEW, mostrando a maneira de inserir magnitude e ângulo para a tensão aplicada.	85
Figura V.3 - Resultados de medição de potência para sistema ideal e carga indutiva.	87
Figura V.4 - Resultados de medição de fator de potência para carga indutiva.	88
Figura V.5 - Resultados de medição de potência para sistema ideal e carga capacitiva.	89
Figura V.6 - Resultados de medição de fator de potência com carga capacitiva.	89
Figura V.7 - Resultados de medição de potência para sistema com desequilíbrio de tensão e carga equilibrada resistiva.	92
Figura V.8 - Resultados de medição de fator de potência com tensão desequilibrada e carga equilibrada resistiva.	92
Figura V.9 - Resultados de medição de potência para sistema com desequilíbrio de tensão e carga equilibrada indutiva.....	93
Figura V.10 - Resultados de medição de fator de potência com tensão desequilibrada e carga equilibrada indutiva.....	94
Figura V.11 - Resultados de medição de potência para sistema com desequilíbrio de tensão e carga equilibrada capacitiva.....	95
Figura V.12 - Resultados de medição de fator de potência com tensão desequilibrada e carga equilibrada capacitiva.....	96
Figura V.13 - Resultados de medição de potência para sistema equilibrado de tensão e carga resistiva desequilibrada.	98
Figura V.14 - Resultados de medição de fator de potência com tensão equilibrada e carga resistiva desequilibrada.	99
Figura V.15 - Resultados de medição de potência para sistema equilibrado de tensão e carga indutiva desequilibrada.	99
Figura V.16 - Resultados de medição de fator de potência com tensão equilibrada e carga indutiva desequilibrada.	101
Figura V.17 - Resultados de medição de potência para sistema equilibrado de tensão e carga capacitiva desequilibrada.	101
Figura V.18 - Resultados de medição de fator de potência com tensão equilibrada e carga capacitiva desequilibrada.	103
Figura V.19 - Resultados de medição de potência para sistema equilibrado de tensão e carga retificadora de 6 pulsos equilibrada.	104

Figura V.20 - Resultados de medição de fator de potência com tensão equilibrada e carga retificadora de 6 pulsos equilibrada.	105
Figura V.21 - Resultados de medição de potência para sistema equilibrado de tensão e carga equilibrada com três retificadores monofásicos.	106
Figura V.22 - Resultados de medição de fator de potência com tensão equilibrada e carga com três retificadores monofásicos equilibrados.	108
Figura V.23 - Resultados de medição de potência para sistema equilibrado de tensão com distorções harmônicas e carga equilibrada resistiva.....	110
Figura V.24 - Resultados de medição de fator de potência para tensão equilibrada com distorção harmônica e carga equilibrada resistiva.	111
Figura V.25 - Resultados de medição de potência para sistema equilibrado de tensão com distorções harmônicas e carga equilibrada indutiva.....	113
Figura V.26 - Resultados de medição de fator de potência para tensão equilibrada com distorção harmônica e carga equilibrada indutiva.	114
Figura V.27 - Resultados de medição de potência para sistema equilibrado de tensão com distorções harmônicas e carga equilibrada capacitiva.....	116
Figura V.28 - Resultados de medição de fator de potência para tensão equilibrada com distorção harmônica e carga equilibrada capacitiva.	117
Figura V.29 - Resultados de medição de potência para sistema com desequilíbrio de tensão somado a distorções harmônicas e carga equilibrada resistiva.....	119
Figura V.30 - Resultados de medição de fator de potência com desequilíbrio de tensão somado a distorções harmônicas e carga equilibrada resistiva.....	120
Figura V.31 - Resultados de medição de potência para sistema com desequilíbrio de tensão e cargas harmônicas monofásicas.	121
Figura V.32 - Resultados de medição de fator de potência com desequilíbrio de tensão e cargas harmônicas monofásicas.	123

LISTA DE TABELAS

Tabela II.1- Principais recomendações sobre desequilíbrios.	32
Tabela II.2 - Categorias e características típicas de fenômenos eletromagnéticos do sistema de potência.	34
Tabela II.3 - Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração.....	35
Tabela II.4 - Níveis de referência para distorções harmônicas individuais de tensão (em porcentagem da tensão fundamental).	39
Tabela III.5- Normas internacionais.....	51
Tabela IV.1 - Atribuição de nota de desempenho associada a uma faixa de erro relativo.....	56
Tabela IV.2 - Nota de desempenho associada ao erro do ângulo de fase do harmônico.	56
Tabela IV.3 - Atribuição dos conceitos finais por módulo.	57
Tabela IV.4 - Aplicando desequilíbrio de tensão de 1% nos medidores e seus respectivos percentuais de erros referente ao ensaio 1.....	57
Tabela IV.5 - Aplicando desequilíbrio de tensão de 1,5% nos medidores e seus respectivos percentuais de erros referente ao ensaio 2.....	58
Tabela IV.6 - Aplicando Desequilíbrio de tensão de 2,0% nos medidores e seus respectivos percentuais de erros referente ao ensaio 3.....	58
Tabela IV.7- Desequilíbrio de tensão - Avaliação da magnitude de tensão registrada.	58
Tabela IV.8- Medição de fator de desequilíbrio.....	59
Tabela IV.9 - Desequilíbrio de tensão - Avaliação dos medidores para fator de desequilíbrio.	59
Tabela IV.10 - Afundamento monofásico de tensão de 85% - 16,67 ms – resultados do ensaio 4..	60
Tabela IV.11 - Afundamento monofásico de tensão de 85% - 300 ms – resultados do ensaio 5.....	60
Tabela IV.12 - Afundamento monofásico de tensão de 70% - 16,67 ms – resultados do ensaio 6..	61
Tabela IV.13 - Afundamento monofásico de tensão de 70% - 300 ms – resultados de ensaio 7.....	61
Tabela IV.14 - Afundamento monofásico de tensão de 40% - 16,67 ms – resultados de ensaio 8..	61
Tabela IV.15 - Afundamento monofásico de tensão de 40% - 300 ms – resultados do ensaio 9.....	61
Tabela IV.16 - Afundamento monofásico de tensão de 10% - 16,67 ms – resultados do ensaio 10.	61
Tabela IV.17 - Afundamento monofásico de tensão de 10% - 300 ms – resultados do ensaio 11...	61
Tabela IV.18 - Afundamento de tensão monofásico - magnitude.....	62
Tabela IV.19- Medição de VTCD de 70% e 120% referente ao ensaio 13.....	63
Tabela IV.20 - Medição de VTCD de 70%, 110% e 120% referente ao ensaio 14.	63
Tabela IV.21 - Medição de VTCD de 50%, 70% e 120% referente ao ensaio 15.	64
Tabela IV.22 - VTCD diferente entre fases e avaliação de magnitude.	64
Tabela IV.23 - VTCD trifásica e avaliação de magnitude.	66
Tabela IV.24 - Conceito final dos medidores para a duração de VTCD.....	70

Tabela IV.25 - Medições de componente harmônica individual de 2ª ordem referente ao ensaio 18.	72
Tabela IV.26 - Medições de componente harmônica individual de 3ª ordem referente ao ensaio 19.	72
Tabela IV.27 - Medições de componente harmônica individual de 4ª ordem referente ao ensaio 20.	73
Tabela IV.28 - Medições de componente harmônica individual de 5ª ordem referente ao ensaio 21.	73
Tabela IV.29 - Medições de componente harmônica individual de 7ª ordem referente ao ensaio 22.	73
Tabela IV.30 - Medições de componente harmônica individual de 11ª ordem referente ao ensaio 23.	74
Tabela IV.31 - Medições para componente harmônica individual de 13ª ordem referente ao ensaio 24.	74
Tabela IV.32 - Medições de componente harmônica individual de 3ª com frequência do sistema em 59,90Hz referente ao ensaio 26.	75
Tabela IV.33 - Medições de componente harmônica individual de 5ª ordem com frequência do sistema em 60,10Hz referente ao ensaio 27.	75
Tabela IV.34 - Avaliação final dos medidores para percentual de distorção harmônica de tensão.	76
Tabela IV.35 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência negativa de 2ª ordem referente ao ensaio 18.	76
Tabela IV.36 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência zero de 3ª ordem referente ao ensaio 19.	77
Tabela IV.37 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência positiva de 4ª ordem referente ao ensaio 20.	77
Tabela IV.38 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência negativa de 5ª ordem referente ao ensaio 21.	78
Tabela IV.39 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência positiva de 7ª ordem referente ao ensaio 22.	78
Tabela IV.40 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência negativa de 11ª ordem referente ao ensaio 23.	79
Tabela IV.41 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência positiva de 13ª ordem referente ao ensaio 24.	79
Tabela IV.42 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência positiva de 11ª ordem com frequência de 59,90Hz referente ao ensaio 26.	80
Tabela IV.43 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência positiva de 5ª ordem com frequência de 60,10Hz referente ao ensaio 27.	80
Tabela IV.44 - Avaliação final dos medidores para ângulos das harmônicas.	81
Tabela V.50 - Sistema com fontes senoidais, tensões equilibradas e carga linear indutiva.	86
Tabela V.51 - Sistema com fontes denoidais, tensões equilibradas e carga linear capacitiva.	86
Tabela V.3 - Desequilíbrio na tensão de 2% e carga equilibrada resistiva.	90
Tabela V.4 - Desequilíbrio na tensão de 2% e carga equilibrada indutiva.	90

Tabela V.5 - Desequilíbrio na tensão de 2% e carga equilibrada capacitiva.	91
Tabela V.6 - Condição de equilíbrio de tensão e carga resistiva desequilibrada.	96
Tabela V.7 - Condição de equilíbrio de tensão e carga indutiva desequilibrada.....	97
Tabela V.8 - Condição de equilíbrio de tensão e carga capacitiva desequilibrada.	97
Tabela V.9 - Equilíbrio de tensão e carga retificadora equilibrada.....	103
Tabela V.10 - Ensaio simulando sistema de tensões equilibradas e três retificadores monofásicos como carga equilibrada.	106
Tabela V.11 - Equilíbrio de tensão do sistema com ocorrência de distorções harmônicas em carga equilibrada resistiva.	109
Tabela V.12 - Sistema equilibrado para tensão e carga indutiva, com a existencia de ditorções harmônicas.	112
Tabela V.13 - Sistema de tensões e correntes equilibradas com influencia de distorções harmônicas e carga de natureza capacitiva.....	115
Tabela V.14- Sistema com tensões desequilibradas influenciadas por distorções harmônicas e presença de carga resistiva.	118
Tabela V.15 - Sistema com tensões desequilibradas e carga monofásica geradora de harmônicos.	121
Tabela V.16 – Avaliação final dos medidores para potência ativa.	124
Tabela V.17 - Avaliação final dos medidores para potência aparente.	124
Tabela V.18 - Avaliação final dos medidores para fator de potência.	124
Tabela VI.1 - Classificação final dos medidores de QEE.....	131
Tabela A1 - Resultado de medição de duração para afundamento monofásico de tensão com 16,67ms, referente ao ensaio 4.....	132
Tabela A2 - Resultado de medição de duração para afundamento monofásico de tensão com 300ms, referente.....	132
Tabela A3 - Resultado de medição de duração para afundamento monofásico de tensão com 16,67ms, referente ao ensaio 6.....	132
Tabela A4 - Resultado de medição de duração para afundamento monofásico de tensão com 300ms, referente ao ensaio 7.....	132
Tabela A5 - Resultado de medição de duração para afundamento monofásico de tensão com 16,67ms, referente ao ensaio 8.....	132
Tabela A6 - Resultado de medição de duração para afundamento monofásico de tensão com 300ms, referente ao ensaio 9.....	133
Tabela A7 - Resultado de medição de duração para afundamento monofásico de tensão com 16,67ms, referente ao ensaio 10.....	133
Tabela A8 - Resultado de medição de duração para afundamento monofásico de tensão com 300ms, referente ao ensaio 11.....	133
Tabela A9 - Resultados para medição de duração de VTCD com 300ms, com início em 100ms e término em 400ms, referente ao ensaio 13.....	134
Tabela A10 - Resultados para medição de duração de VTCD com 50 ms, com início em 100ms e término em 150ms, referente ao ensaio 14.....	134

Tabela A11 - Resultados para medição de duração de VTCD com 200 ms, com início em 100ms e término em 300ms, referente ao ensaio 15.....	134
Tabela B1 - Resultados de medição para afundamento monofásico de tensão com magnitude de 85% e duração de 33,33ms.....	135
Tabela B2 - Erro de medição para afundamento monofásico de tensão com magnitude de 85% e duração de 33,33ms.....	137
Tabela C1 - Resultados de medição para afundamento trifásico de tensão com magnitude de 70% e duração de 16,67ms.....	140
Tabela C2 - Erro de medição de afundamento trifásico de tensão com magnitude de 70% e duração de 16,67ms.....	142
Tabela C3 - Resultados de medição para afundamento trifásico de tensão com magnitude de 40% e duração de 33,33ms.....	145
Tabela C4 - Erro de medição para afundamento trifásico de tensão com magnitude de 40% e duração de 33,33ms.....	147
Tabela D1 - Medição de percentual harmônico em ensaio para composição de harmônicos.....	150
Tabela E1 - Medição de ângulo de fase em ensaio para composição de harmônicos.....	151

I.1.

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AMT	Afundamento Momentâneo de Tensão
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANSI	<i>American National Standard Institute</i>
BT	Baixa Tensão
CBEMA	<i>Computer and Business Equipment Manufactures Association</i>
CENELEC	<i>European Committee Electrotechnical Standardization</i>
CERIn	Centro de Excelência em Redes Inteligentes
CIGRÈ	<i>Conseil International des Grands Reseaux Électriques</i>
COMTRADE	<i>Common Format for Transient Data Exchange</i>
DIT	Distorção Harmônica Individual de Tensão
DTT	Distorção Harmônica total de Tensão
EMT	Elevação Momentânea de Tensão
EN	<i>European Normalization</i>
GQEE	Grupo de Estudos em Qualidade de Energia Elétrica
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
INDUSCON	Conferência Internacional de Aplicações Industriais
ITIC	<i>Information Technology Industry Curve</i>
KVA	Quilovolt Ampère – Unidade de Medida de Potência Elétrica Aparente
KVA _r	Quilovolt Ampère Reativo – Unidade de Medida de Potência Elétrica Reativa
KW	Quilowatt – Unidade de Medida de Potência Elétrica Ativa
LabVIEW	<i>Short for Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench</i>
ms	Milissegundos – Unidade de medida de tempo
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association</i>
NRS	<i>South African National Standard</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PQ	<i>Power Quality</i>
PRODIST	Procedimentos de Distribuição da Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
p.u.	Por unidade
QEE	Qualidade da Energia Elétrica
RMS	<i>Root Mean Square</i> (valor eficaz)
SER	<i>Sequential Events Recorder</i>
THD	<i>Total Harmonic Distortion</i>
VSSI	<i>Voltage Sag / Swell / Interruption</i>

VTCD	Varição de Tensão de Curta Duração
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UNB	Universidade de Brasília
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá

RESUMO

Este trabalho objetiva avaliar o desempenho de medidores de qualidade da energia elétrica (QEE). Usando uma fonte programável de tensão e corrente de alta precisão vários medidores são analisados e comparados. Inicialmente, sinais trifásicos de tensão são aplicados em vários tipos de medidores de qualidade da energia elétrica, considerando tensões desequilibradas, VTCDs, bem como distorções harmônicas. Em seguida esses parâmetros são medidos, comparados e avaliados tendo em conta os diferentes medidores. Em uma análise posterior, sinais de tensão e corrente são aplicados em diferentes situações, na presença de harmônicos e desequilíbrios, a fim de se obter as medições de potências elétricas. Depois da análise dos dados gerados de todos os testes, esforços são empregados para o estabelecimento de uma relação entre os valores de erro das medições. Considerando o percentual de erro, uma pontuação é atribuída a cada instrumento de medição. Este trabalho se justifica já que o Brasil está implantando uma padronização em termos de medições de qualidade da energia elétrica, visando regulamentar procedimentos e valores limites de índices.

Palavras-chave: Análise de desempenho, Medidores, Qualidade da Energia Elétrica (QEE)

ABSTRACT

This paper aims to evaluate the performance of commercial power quality meters. By using a high precision programmable voltage and current source, several meters are analyzed and compared. At first, distorted three-phase voltage signals are applied to several kinds of PQ instruments, considering harmonics, sags, swells, as well as unbalanced voltages. Next, the features of these events are measured, compared and evaluated taking into account the different instruments. In further analysis, voltage and current signals are applied in different situations, with and without harmonic and imbalances, in order to obtain the measurements of electrical power. After analyzing the data generated in all these tests, efforts are focused on establishing a relationship between the error values of the measurements. Considering the percentages of errors, a score is assigned to each measurement instrument. This work is justified since Brazil is deploying a standardization in terms of power quality measurements aiming regulatory procedures and limit values of indices.

keywords: Performance Analysis, Meters, Power Quality (PQ)

I. INTRODUÇÃO

I.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O capítulo I apresenta inicialmente as questões que serviram de elemento motivador para a realização do estudo, observado na seção I.2. O levantamento bibliográfico relacionado ao estudo proposto é descrito na seção I.3. Adiante será apresentado o que realmente se pretende descobrir no desenvolvimento da pesquisa, além de suas contribuições, descritas na seção I.4. Por fim, segue a estrutura elaborada para a escrita desta dissertação, conforme mostra a seção I.5.

I.2. RELEVÂNCIA DO TEMA

Um medidor de qualidade da energia elétrica (QEE) deve atender os fabricantes, os clientes ou ambos? Acerca de uma década e meia iniciou-se um movimento de profissionais envolvidos nos temas da área da qualidade da energia elétrica para avaliar os diversos medidores que existiam no mercado. Esta avaliação dos medidores ocorre por meio da chamada ‘campanha de medição’, a qual foi o pontapé inicial para começar a responder a questão colocada. Ocorre que no Brasil não existem regulamentações que coloquem todos os medidores em um nível mínimo de confiança acerca dos seus resultados de medições. O documento Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST, 2012) contém, em seu módulo 8, algumas diretrizes associadas a forma de medição, ainda de forma embrionária, tendo em vista que o objetivo do documento é apontar limites para as diferentes grandezas e situações que envolvem o sistema elétrico nacional, com relação à distribuição da energia elétrica.

Com a inexistência de um modelo único de algoritmo de medição, a ideia de uma campanha corroborou, através dos resultados das medições, a necessidade de se avaliar os medidores de QEE.

Outro ponto relevante ainda em função da ausência de uma norma definitiva é a falta de padronização dos testes ou ensaios, o que fragiliza os meios de se medir os distúrbios de QEE.

Neste trabalho, com a finalidade de avaliar alguns analisadores de QEE, foi usada uma fonte programável de alta precisão, com aplicação de alguns dos distúrbios de energia mais habituais como, por exemplo, desequilíbrio de tensão, variações de tensão de curta duração especificamente afundamentos e elevações de tensão e, por fim, as distorções

harmônicas. Esses fenômenos têm influência direta na qualidade da energia elétrica do sistema e a frequência com que ocorrem aumenta à medida que as cargas baseadas em tecnologia eletroeletrônica evoluem.

Além dos problemas de QEE registrados e observados nos medidores através das medições de tensão, também serão analisadas as potências elétricas, através da aplicação também de corrente. Neste último caso, serão analisados o fator de potência, a potência ativa e aparente, bem como as potências não ativas de deslocamento, de desequilíbrio e de distorção harmônica. O que se vê cada vez mais é a presença e influência de cargas não lineares, contribuindo para o aparecimento das potências não ativas mencionadas, que precisam ser mensuradas por tais medidores.

I.3. ESTADO DA ARTE

Estudos relacionados com a avaliação de medidores de QEE têm uma história recente no país e os trabalhos têm sido conduzidos através de incansáveis testes em laboratório, como também por meio de campanhas de campo com os fabricantes dos medidores. Essas medidas têm como objetivos principais alcançar um nível satisfatório de uniformidade de medição entre os diversos medidores acessíveis, além de regulamentar um procedimento único de medição para qualificação dos analisadores da QEE. Os distúrbios encontrados na literatura técnica e aplicados nos testes propostos concentram-se nos distúrbios de QEE definidos em (DUGAN, 2002), que constituem em flutuação de tensão, desequilíbrio de tensão, variação de tensão de curta duração, variação de tensão de longa duração, distorções harmônicas de tensão e variações de frequência.

Para o desequilíbrio de tensão recomenda-se medir a magnitude da tensão fase-fase de forma a eliminar possíveis efeitos das componentes de sequência zero conforme (PRODIST, 2012). Este fenômeno de QEE é avaliado a partir do fator de desequilíbrio, que é a relação entre a magnitude da tensão de sequência negativa e a magnitude da tensão de sequência positiva. O valor de referência determinado para desequilíbrio de tensão nos barramentos do sistema de distribuição deve ser inferior ou igual a 2%, exceto na baixa tensão que não tem valor definido.

As VTCDs ou variações de tensão de curta duração são analisadas através da magnitude da tensão e da duração de ocorrência do distúrbio. Além disso, a frequência

com que acontecem os eventos de VTCDs contribui para a análise da severidade do fenômeno. Vale lembrar que afundamento, elevação e interrupção momentânea ou temporária de tensão são fenômenos referentes às VTCDs.

Os estudos relacionados com distorção harmônica encontrados na literatura monitoram, principalmente, o percentual da componente harmônica de tensão aplicada. Existem ainda trabalhos no qual o índice de QEE examinado se refere à distorção harmônica total.

Foi elaborado no ano de 2001 um roteiro de testes para medidores de QEE, coordenado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), em parceria com a Universidade Federal de Uberlândia (UFU), cuja finalidade era exercer a função de guia para avaliação dos medidores de QEE disponíveis no mercado, considerando os diferentes distúrbios de tensão, que posteriormente vieram a ser contemplados no PRODIST.

Em (RIBEIRO, et al, 2003), foram apresentados os resultados da avaliação de 12 instrumentos de medição de QEE quando submetidos aos distúrbios de desequilíbrio de tensão, variação de tensão de curta duração, distorção harmônica, flutuação de tensão e variação de tensão em regime permanente. Dentre algumas contribuições do artigo pode-se citar que os testes ajudaram a avaliar a precisão relativa dos instrumentos em função dos específicos desvios de medição registrados, como também possibilitou realizar uma comparação relativa de um número significativo de instrumentos comercialmente disponíveis. Além disso, o processo permitiu uma seleção preliminar de instrumentos classificados como aceitável / adequado para as medições da qualidade da energia e o qual certamente melhoraram a qualidade do monitoramento da rede básica no Brasil, como também irão melhorar o nível das campanhas de campo no futuro próximo.

Em 2004 o artigo cujo tema é “Comparação de Medidores de Qualidade da Energia Elétrica Quanto a Distorção Harmônica” (SOUZA, et al, 2004) teve como foco da pesquisa comparar três medidores quanto aos erros e incertezas advindas dos resultados das medições de distorção harmônica total de corrente. A forma de onda de corrente analisada no trabalho corresponde à carga de um apartamento, ou seja, corrente de classe C, que abrange todos os equipamentos luminosos incluindo os reguladores de intensidade (*dimmers*). A principal conclusão da pesquisa se refere ao fato de que resultado algum de medição de QEE será sustentado, por melhor que seja o fabricante ou a mais alta

tecnologia empregada, se o instrumento em teste não for devidamente calibrado por um padrão rastreado. Sem a calibração, a medição realizada não terá a confiabilidade pertinente para as ações necessárias.

Em 2008 o artigo intitulado “O Problema da Ausência de Metodologia Oficial Uniformizada para Medição da Qualidade de Energia Elétrica no Brasil” (BELCHIOR, et al, 2008) foi apresentado na VIII Conferência Internacional de Aplicações Industriais (INDUSCON). Dentre as questões apresentadas no artigo, uma delas abordou a preocupação referente à inexistência de padronização oficial para medição de QEE no Brasil, sendo que o problema poderia se agravar se fossem oficialmente definidos índices de QEE antes mesmo da definição de um protocolo de medição padronizado. O mesmo artigo fez uma comparação de desempenho dos instrumentos de medição avaliados em duas campanhas de campo realizadas na UFU em parceria com o ONS. Os autores concluíram afirmando que os esforços realizados durante as campanhas foram válidos no sentido de que instrumentos que utilizados na primeira campanha corrigiram adequadamente seus equipamentos na posterior oportunidade. Outra questão prioritária era a definição de padronização oficial de protocolo de medição dos vários fenômenos que afetam a qualidade da energia elétrica no país para o caso de vir a subsidiar processo regulatório de estabelecimento de indicadores e limites adequados às situações adversas da QEE no Brasil.

Em 2008 a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou a primeira versão do PRODIST (ANEEL, 2008) que em seu módulo oito incluía os assuntos pertinentes à área de QEE. O documento na sua última revisão (ANEEL, 2012) é referência no setor de distribuição da energia elétrica do Brasil faz considerações em relação a conceitos e terminologias dos distúrbios na tensão. Também do referido módulo são obtidas informações a respeito de metodologias de medição como também dos valores de referência para os distúrbios de QEE adotados nessa dissertação que correspondem a desequilíbrio de tensão, variação de tensão de curta duração e distorção harmônica de tensão.

Em 2008 a tese intitulada “Proposição de Novas Metodologias para Avaliação das Medições de Energia Elétrica Frente a Condições Não Senoidais e de Desequilíbrio” (ALMEIDA, 2008) apresentou um estudo das duas principais e novas definições de potência que foram propostas nas últimas décadas que são válidas para sistemas elétricos

não ideais, ou seja, em condições de distorção e desequilíbrio dos sinais elétricos. A contribuição mais importante do ponto de vista desta dissertação foram os programas computacionais cujos algoritmos poderão ser utilizados como parâmetros de medição em medidores de QEE.

Em 2010 a monografia intitulada “Avaliação Comparativa Entre Dois Instrumentos de Medição Para Análise da Qualidade da Energia Elétrica” (SILVA, 2010) apresentou uma linha similar de estudo deste trabalho de dissertação. No caso foram comparados e avaliados dois instrumentos para os distúrbios de variação de tensão de curta duração, distorção harmônica, flutuação de tensão e tensões constantes ou variando suavemente seu valor nominal. O autor considerou que os resultados dos ensaios foram válidos no sentido de assegurar suas contribuições, permitindo que as avaliações cumprissem com os objetivos almejados. Ainda o autor considera positiva a verificação na exatidão dos medidores, no desempenho individual dos instrumentos e também na comparação entre os modelos.

Em 2014 o artigo “Comparative Analysis of Power Quality Instruments Measuring Voltage and Power” (ICHQP, 2014) abordou o tema relacionado à avaliação de desempenho de medidores de QEE submetidos a tensões desequilibradas, VTCDs e distorções harmônicas. O principal objetivo deste trabalho foi de apresentar uma classificação por conceito (excelente, bom, regular, inferior) para os medidores comerciais considerados.

I.4. OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

O principal objetivo é a avaliação de medidores de QEE, através da aplicação, via fonte programável de alta precisão, de distúrbios como desequilíbrios de tensão, diferentes tipos de VTCDs, bem como distorções harmônicas de tensão e corrente, nos medidores propostos. Basicamente todos os medidores estarão conectados a uma bancada de testes juntamente com a fonte geradora de distúrbios que aplicará os sinais distorcidos ao mesmo tempo nos instrumentos e em iguais condições.

De posse das medições dos instrumentos os trabalhos concentram-se em obter um ‘raio-x’ do desempenho dos medidores para os conhecidos distúrbios, através dos critérios

de avaliação que associam de maneira geral percentual de erro nas medições com uma nota ou conceito final classificatório.

Utilizando um programa desenvolvido no *software* LabVIEW busca-se comparar os valores de potência elétrica, em particular às potências não ativa, apresentadas por ele com os números de potência registrados em cada medidor. Feito isto pretende-se descobrir se os analisadores de QEE são capazes ou não de medir potência não ativa de deslocamento, desequilíbrio e distorção.

O trabalho proposto contribuiu primeiramente no sentido de avaliar instrumentos não testados anteriormente nas diferentes situações propostas deste trabalho, com o objetivo de retratar as condições reais do sistema.

Na literatura referente aos estudos da qualidade da energia elétrica não foi encontrada referência alguma no que diz respeito à avaliação de medidores para ângulo de fase das componentes harmônicas, que será vista neste documento.

O trabalho apresentou parecer conclusivo dos medidores de QEE a respeito da medição das potências não ativas de deslocamento, de desequilíbrio e distorção.

I.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O capítulo inicial da dissertação traz informações de relevância do tema, estado da arte, objetivos e contribuições da dissertação além da estrutura do documento.

O capítulo II é o capítulo que fala dos fenômenos que afetam a qualidade da energia elétrica além de incluir o assunto relacionado com as potências elétricas. O capítulo é dividido em quatro seções sendo: (i) desequilíbrio de tensão, (ii) variações de tensão de curta duração (VTCD), (iii) distorção harmônica e por fim (iv) o tema das potências elétricas especialmente as potências não ativas de deslocamento, desequilíbrio e distorção.

No capítulo III são apresentados os medidores de QEE usados, como também a fonte programável de distúrbios. A fonte programável que é responsável por injetar os sinais de tensão e corrente com distorções de QEE é introduzida com suas principais características técnicas, além do seu *software* que contém alguns módulos exclusivos para a QEE. Nas seções seguintes do capítulo são apresentados os instrumentos A, B, C, D, E e F com suas informações resumidas, que serão alvos da proposta de avaliação do trabalho.

O capítulo IV se refere basicamente às informações de roteiro dos testes de QEE como também dos resultados e avaliações que os medidores obtiveram para os eventos de desequilíbrio de tensão, variações de tensão de curta duração e distorções harmônicas. Antes, será apresentado o método empregado na análise e avaliação dos medidores, o qual tem por objetivo traduzir os valores apresentados nas medições em uma nota e/ou conceito final de avaliação.

O capítulo V, seguindo a linha de raciocínio do capítulo anterior, apresenta as características e procedimentos adotados nos ensaios de medição das potências elétricas. No final do capítulo os resultados registrados por cada medidor são convertidos em uma nota de avaliação final. No início do capítulo faz-se uma breve introdução do programa LabVIEW e da fonte programável de tensão usado nos testes, além dos medidores avaliados neste capítulo.

O capítulo VI é destinado às observações e conclusões da pesquisa elaborada. Também são feitas considerações e sugestões para a realização de trabalhos futuros.

Na sequência são apresentadas as referências para o desenvolvimento do estudo bem como os apêndices A, B, C, D e E descritos a seguir:

- Apêndice A, resultados de medição para duração de VTCDs.
- Apêndice B, resultados e erros de medição para afundamentos monofásicos de tensão.
- Apêndice C, resultados e erros de medição para afundamentos trifásicos de tensão.
- Apêndice D, medição de percentual para harmônico de tensão.
- Apêndice E, medição de ângulo de fase para harmônicos de tensão.

II. QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

II.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O capítulo II é a seção da dissertação destinada ao conteúdo teórico dos distúrbios da qualidade da energia elétrica considerados no estudo, bem como das potências elétricas. Efeitos, normas e definições serão apresentados para desequilíbrios de tensão, variações de tensão de curta duração, distorções harmônicas e potências elétricas.

II.2. DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO

II.2.1. Normas e definições

Segundo a norma (IEC, 2008), desequilíbrio de tensão é a condição em um sistema polifásico no qual o valor rms da tensão de linha (componente fundamental), e /ou ângulos de fase entre tensões de linha consecutivas não são todas iguais.

Para (VELASCO, 2007) o desequilíbrio de tensão frequente na rede elétrica origina-se pela alteração do padrão de sistemas de transmissão/distribuição. É a condição, na qual as fases apresentam tensões com módulos diferentes entre si, ou defasagem angular diferente de 120° , ou ainda, as duas situações simultaneamente.

Existem muitas formas de se mensurar o grau de desequilíbrio da tensão do sistema elétrico. Neste trabalho optou-se em trabalhar com o método da norma IEC e Prodist que são iguais e se expressam pela relação entre os módulos da tensão de sequência negativa e da tensão de sequência positiva apresentados ainda neste capítulo. No estudo do desequilíbrio de tensão existem ainda outras recomendações/normas para calcular o fator de desequilíbrio como por exemplo a NRS 048, CENELEC, ANSI e IEEE, sendo as últimas duas brevemente apresentadas neste documento.

O indicador para avaliar o desequilíbrio de tensão, segundo Teixeira (2003), nos barramentos da Rede Básica, é o fator de desequilíbrio de tensão (K), que exprime a relação entre as componentes de sequência negativa (V_2) e sequência positiva (V_1) da tensão, expresso em termos percentuais dos valores trifásicos de tensão rms. O valor de referência nos barramentos do sistema de distribuição, com exceção da BT, deve ser igual ou inferior a 2% (ANEEL, 2012). As Figuras 1 e 2 ilustram a forma de onda de tensão com um desequilíbrio

de 2%, cuja assimetria se observa nas linhas vermelha e branca das respectivas formas de onda.

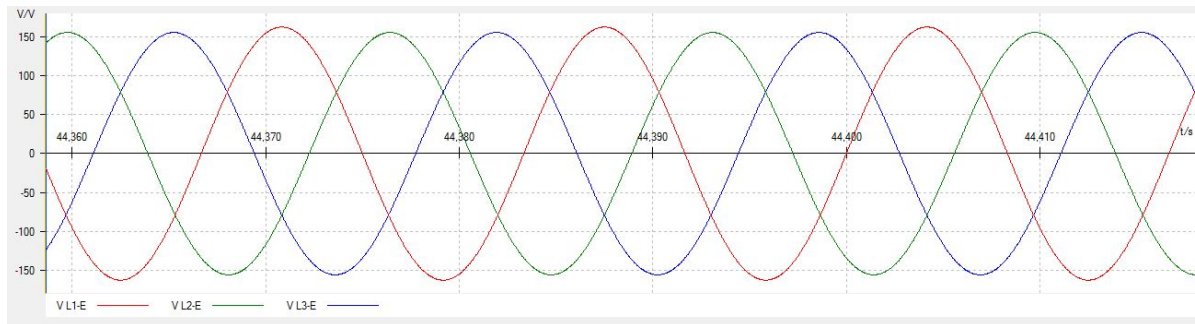


Figura II.1- Forma de onda com desequilíbrio de tensão de 2% obtido no *software* PQ Signal Generator da OMICRON.

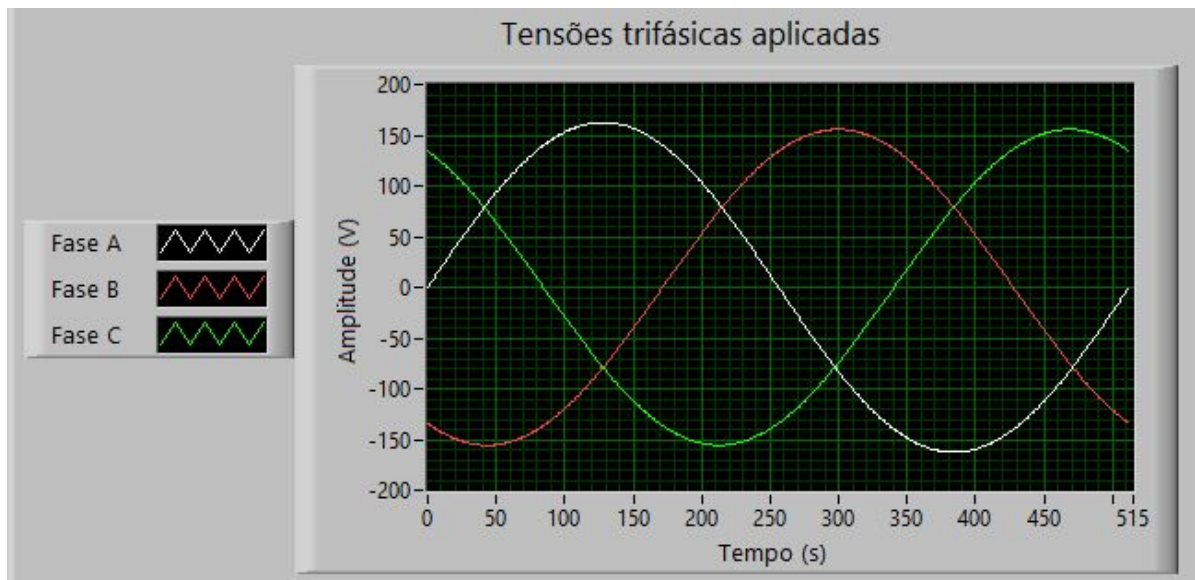


Figura II.2 - Forma de onda com desequilíbrio de tensão de 2% obtido no *software* LabVIEW.

II.2.2. Cálculo do desequilíbrio de tensão pelo método IEC e Prodist

A forma de onda da tensão ou corrente desequilibrada pode ser decomposta em componentes simétricas de sequência positiva, sequência negativa e sequência zero. Um conjunto trifásico de tensões equilibradas possui apenas componentes de sequência positiva

para 60Hz. O surgimento, por alguma razão, de componentes de sequência zero, apenas provoca a assimetria das tensões de fase. Entretanto, a presença de componentes de sequência negativa introduz um desequilíbrio nas tensões de linha. Este fator, em porcentagem, é dado pela equação (2.1) segundo (ANEEL, 2012):

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

$V_{(-)}$ - Módulo da componente de sequencia negativa;

$V_{(+)}$ - Módulo da componente de sequencia positiva.

Para as formulações de definição do nível de desequilíbrio, utilizando componentes simétricas, são considerados apenas os valores para a componente de sequência negativa, pois esta é a mais apropriada no caso de possíveis interferências em equipamentos conectados ao sistema.

Embora a determinação do grau de desequilíbrio seja dependente apenas dos módulos das componentes sequenciais, a determinação analítica das mesmas requer procedimentos que envolvem cálculos vetoriais, e, portanto, leva em consideração tanto o módulo como os ângulos de fase das grandezas originais. Uma vez que os ângulos das tensões não são, usualmente, grandezas disponibilizadas, a aplicação de tal método pode criar maiores dificuldades para os procedimentos de medição.

II.2.3. Cálculo do desequilíbrio de tensão por outros métodos

Como mencionado existem outras recomendações para calcular o desequilíbrio de tensão. Segundo (NEMA, 1994) MG 1 - 14.34 define-se o fator de desequilíbrio de tensão como sendo a relação entre o máximo desvio da tensão e a tensão média, tomando-se como referência as tensões de linha. Em (2.2) este fator, em porcentagem, é dado por:

$$VUF(\%) = \frac{\Delta U}{U_{AV}} \times 100 \quad (2.2)$$

Em que:

ΔU - máximo desvio da tensão média [V];

UAV - tensão média [V].

Alternativamente, pode-se usar a expressão (2.3) conhecida como CIGRÉ-C04, que é dada por:

$$VUF = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6 \cdot \beta}}{1 + \sqrt{3 - 6 \cdot \beta}}} \quad (2.3)$$

Em que

$$\beta = \frac{|V_{ab}|^4 + |V_{bc}|^4 + |V_{ca}|^4}{(|V_{ab}|^2 + |V_{bc}|^2 + |V_{ca}|^2)^2} \quad (2.4)$$

Por fim, o IEEE recomenda que o desequilíbrio possa ser obtido pela seguinte relação de (2.5):

$$VUF = \frac{3 \cdot (V_{MAX} - V_{MIN})}{V_A + V_B + V_C} \cdot 100\% \quad (2.5)$$

As definições anteriores indicam maneiras diferentes de avaliação dos desequilíbrios de tensão no sistema elétrico, apresentadas na normalização internacional. Elas constituem-se nas definições mais utilizadas.

A Tabela 1 apresenta um resumo das principais normas e recomendações de várias instituições para calcular o desequilíbrio de tensão.

Tabela II.1- Principais recomendações sobre desequilíbrios.

Recomendações/Normas	Expressões
IEC	$FD = \frac{V_2}{V_1} \times 100$
ONS/PRODIST	$FD = \frac{V_2}{V_1} \times 100$ ou $FD = 100 \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}$, em que $\beta = \frac{V_{AB}^4 + V_{BC}^4 + V_{CA}^4}{(V_{AB}^2 + V_{BC}^2 + V_{CA}^2)^2}$

CENELEC	$FD = \frac{V_2}{V_1} \times 100$
NRS 048	$FD = \frac{V_N}{V_P} \times 100$ ou $FD = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}$, em que $\beta = \frac{V_{12}^4 + V_{23}^4 + V_{31}^4}{(V_{12}^2 + V_{23}^2 + V_{31}^2)^2} \times 100$
ANSI	$VUF(\%) = \frac{DV_{MÁX}}{V_{MED}} \times 100$

II.3. VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO (VTCD)

De acordo com o capítulo de definições da norma IEEE Std 1159-2009 (IEEE *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*) define-se variações de tensão de curta duração (VTCD) como uma variação do valor rms nominal da tensão com duração maior que 0,5 ciclo e menor ou igual 1 min. Quando a variação rms ocorre na tensão classifica-se a magnitude da variação de tensão em afundamento, elevação e interrupção. A duração da variação de tensão pode ser classificada em instantânea, momentânea e temporária.

A IEEE Std 1159-1995 apresentou a definição de VTCD que é até hoje considerada na versão de 2009.

Ainda em relação à variação rms da magnitude da tensão retirada da IEEE de 2009 conclui-se que essa categoria está em concordância com a classe de fenômenos da IEC que correspondem aos afundamentos e elevações de tensão.

Os motivos que causam as variações de tensão de curta duração segundo IEEE Std 1159-2009 incluem principalmente faltas e energização de grandes cargas que demandam

correntes elevadas de partida. A falta pode provocar elevações temporárias da tensão, afundamentos ou uma perda completa de tensão (interrupção), e a localização da falta juntamente com as condições do sistema tem grande influência nessa questão. A falta pode estar próxima ou distante do ponto de interesse. Em ambos os casos, o impacto na tensão durante a falta é uma variação de curta duração.

Tabela II.2 - Categorias e características típicas de fenômenos eletromagnéticos do sistema de potência.

Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
1.0 Transients			
1.1 Impulsive			
1.1.1 Nanosecond	5 ns rise	< 50 ns	
1.1.2 Microsecond	1 μ s rise	50 ns – 1 ms	
1.1.3 Millisecond	0.1 ms rise	> 1 ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low frequency	< 5 kHz	0.3–50 ms	0–4 pu ^a
1.2.2 Medium frequency	5–500 kHz	20 μ s	0–8 pu
1.2.3 High frequency	0.5–5 MHz	5 μ s	0–4 pu
2.0 Short-duration root-mean-square (rms) variations			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Sag		0.5–30 cycles	0.1–0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5–30 cycles	1.1–1.8 pu
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		0.5 cycles – 3 s	< 0.1 pu
2.2.2 Sag		30 cycles – 3 s	0.1–0.9 pu
2.2.3 Swell		30 cycles – 3 s	1.1–1.4 pu
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		>3 s – 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag		>3 s – 1 min	0.1–0.9 pu
2.3.3 Swell		>3 s – 1 min	1.1–1.2 pu
3.0 Long duration rms variations			
3.1 Interruption, sustained		> 1 min	0.0 pu
3.2 Undervoltages		> 1 min	0.8–0.9 pu
3.3 Overvoltages		> 1 min	1.1–1.2 pu
3.4 Current overload		> 1 min	
4.0 Imbalance			
4.1 Voltage		steady state	0.5–2%
4.2 Current		steady state	1.0–30%
5.0 Waveform distortion			
5.1 DC offset		steady state	0–0.1%
5.2 Harmonics	0–9 kHz	steady state	0–20%
5.3 Interharmonics	0–9 kHz	steady state	0–2%
5.4 Notching		steady state	
5.5 Noise	broadband	steady state	0–1%
6.0 Voltage fluctuations	< 25 Hz	intermittent	0.1–7% 0.2–2 P _u ^b
7.0 Power frequency variations		< 10 s	\pm 0.10 Hz

Fonte: IEEE, 2009.

As variações de tensão de curta duração são geralmente, de acordo com Boolen (1998) provocadas por faltas no sistema elétrico, energização de grandes blocos de carga, perda de conexão intermitente na instalação, entre outros. Dependendo da localização da falta e das condições operacionais do sistema, afundamentos bem como elevações e interrupções de

tensão, como citado na referência anterior, existirão nas adjacências qualquer que seja a localização da falta. No caso das EMTs seu aparecimento durante a falta dependerá das condições de tensão.

No módulo 8 de QEE, retirado dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (Prodist), define-se variações de tensão de curta duração como desvios significativos no valor eficaz da tensão em curtos intervalos de tempo (PRODIST, 2012).

As variações de tensão de curta duração são classificadas de acordo com a Tabela 3 do PRODIST.

Acerca da metodologia de medição além dos parâmetros duração e amplitude já definidos, a severidade da VTCD, medida entre fase e neutro, de determinado barramento do sistema de distribuição é também caracterizada pela frequência de ocorrência (ANEEL, 2012). Esta corresponde à quantidade de vezes que cada combinação dos parâmetros duração e amplitude ocorrem em determinado período de tempo ao longo do qual o barramento tenha sido monitorado. No caso de VTCD não são atribuídos padrões de desempenho a este fenômeno.

Tabela II.3 - Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração.

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

Fonte: PRODIST, 2012.

II.3.1. Interrupções

A perda do suprimento de tensão colabora de forma influente para as interrupções, que correspondem a um valor inferior a 0,1 pu com duração temporária entre 3s e 3 min. Falhas, falhas em equipamentos e falhas de controle estão entre os motivos que ocasionam as interrupções. Quando a magnitude de tensão cai abaixo de 10% do valor nominal, inicia-se a contagem para a duração da interrupção. A duração total da interrupção depende do tempo de atendimento da equipe emergencial. Eventos particulares que também causam faltas contribuem para a duração da interrupção (IEEE, 2009).

Se o sistema de alimentação sofrer uma falta, a chance de ocorrer uma interrupção precedida por um afundamento é muito grande. A contagem da duração da interrupção ocorre entre o tempo de desligamento do sistema pela proteção até o instante em que o sistema é restaurado.

II.3.2. Afundamento de tensão

Na comunidade de qualidade da energia elétrica existem basicamente duas linhas de estudo com definições particulares para afundamentos de tensão, o *Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE* e a *International Electrotechnical Commission - IEC*.

Um afundamento de tensão é uma diminuição na tensão rms entre 0,1 e 0,9 p.u. com duração de 0,5 ciclos a 1 min e tem essa definição sustentada pela norma IEEE *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality 1159-2009* (IEEE, 2009). Ainda conforme IEEE a intensidade de um afundamento é definida como a menor tensão remanescente resultante da perturbação. Junto com a tensão remanescente, o IEEE utiliza a duração do evento para classificar os afundamentos em instantâneo, momentâneo e temporário com intervalos de 0,5 a 30 ciclos, 30 ciclos a 3s e 3s a 60s respectivamente. Se um evento tiver valor inferior a 0,1 p.u., será definido pelo IEEE como interrupção. Para o trabalho em específico considerou-se o intervalo entre 0,1 e 0,9 p.u. de amplitude de tensão e duração superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a 3s caracterizando afundamento de tensão, definido no módulo 8 do Prodist como se observa na Tabela 3.

De acordo com a norma (IEC, 2008) define-se afundamento de tensão como uma redução temporária da magnitude da tensão num ponto no sistema elétrico entre um valor rms

de tensão de 0,10 p.u a 0,99 p.u. durante um período de tempo compreendido entre 0,5 ciclo a alguns segundos. Para essa mesma norma a interrupção ocorrerá quando a tensão cair acima de 0,99 p.u., resultando em menos de 0.01 p.u. de tensão remanescente.

As faltas no sistema elétrico, sem sombra de dúvida, são a principal causa do afundamento de tensão, sobretudo no sistema da concessionária, devido à existência de milhares de quilômetros de linhas aéreas de transmissão e de distribuição, sujeitas a toda a sorte de fenômenos naturais.

Curtos-circuitos também ocorrem em subestações terminais de linhas e em sistemas industriais, porém, com menor frequência. Em sistemas industriais, por exemplo, a distribuição primária e secundária é tipicamente realizada através de cabos isolados, que possuem reduzida taxa de falta se comparados às linhas aéreas.

As faltas em linhas de alta tensão ocorrem principalmente devido à incidência de descargas atmosféricas. Nos sistemas de distribuição o problema é mais crítico porque são geralmente desprovidos de cabos guarda. Portanto, pode-se concluir que a ocorrência de afundamentos de tensão está fortemente correlacionada com o nível isoceráunico da região onde as linhas aéreas se encontram instaladas. Outras causas de ocorrência de curtos-circuitos são as queimadas em plantações, vendavais, contatos por animais e aves, contaminação de isoladores, falhas humanas, etc.

II.3.3. Elevação de tensão

Elevação de tensão é um aumento na tensão rms acima de 1,1 p.u. para duração de 0,5 ciclo a 1 min de acordo com (IEEE, 2009). Magnitudes típicas então entre 1,1 p.u. e 1,2 p.u..

De acordo com a norma (IEC, 2008) define-se elevação de tensão como aumento temporário da magnitude da tensão num ponto do sistema elétrico acima de um limiar.

Segundo (ANEEL, 2012), elevação de tensão tem valor eficaz superior a 1,1 p.u. com duração de 0,5 ciclos a 3s ou superior a 3s e inferior a 3 min para as classificações de duração momentânea e temporária, respectivamente, sendo esta a definição considerada para as elevações de tensão simuladas nos testes.

Como afundamentos, elevações de tensão são usualmente associadas com condições de faltas no sistema. Uma falta fase-terra no sistema pode causar a ocorrência de uma

elevação de tensão, nas fases sadias, dependendo do grau de aterramento do sistema elétrico. Elevações de tensão podem, além disso, tirar de operação grandes cargas, provocar perda de carga ou forçar a saída de grandes bancos de capacitores (IEEE, 2009).

II.4. DISTORÇÕES HARMÔNICAS

II.4.1. Normas e definições

Os primeiros relatos relacionados a harmônicos em sistemas elétricos remontam à década de 1920, com a instalação de conversores em refinarias de cobre nos Estados Unidos, que provocaram a interrupção dos sistemas telefônicos. Este e outro similar, ocorrido em uma mineração no Canadá, são dois casos históricos registrados sobre este importante fenômeno presente no sistema elétrico, principalmente em instalações industriais segundo (PAULILO, 2013).

Em um sistema polifásico ideal, espera-se que o mesmo apresente sinais senoidais, alternando formas de onda de tensão e corrente de frequência única. Porém, em um sistema real com a presença de cargas não lineares ou a ocorrência de fenômenos transitórios, as formas de onda de tensão e corrente assumem um perfil diferente de uma senoide. Esta forma de onda não senoidal é uma combinação de ondas senoidais de diferentes frequências. Assim, os sinais do sistema de potência real são constituídos da componente fundamental bem como das componentes harmônicas (CHATTOPADHYAY, 2011).

De acordo com (IEEE, 1992) define-se harmônicos como uma componente senoidal ou quantidade de uma onda periódica com uma frequência que é um múltiplo inteiro da frequência fundamental. Outra definição importante é a da taxa de Distorção Harmônica Total de Tensão expressa em percentual do valor fundamental da tensão e obtida da relação entre a raiz quadrática do somatório das tensões harmônicas de ordem h pela tensão fundamental.

A (IEC, 2010) traz algumas definições relacionadas aos harmônicos como ordem harmônica, valor RMS de uma componente harmônica, valor RMS de um grupo harmônico, valor RMS de um subgrupo harmônico e frequência harmônica como sendo múltiplo inteiro da frequência fundamental do sistema de potência.

Segundo (ANEEL, 2012) as distorções harmônicas são fenômenos associados com deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da

frequência fundamental. Deste mesmo documento foram adotados os valores padrões das componentes harmônicas de 2ª, 3ª, 4ª, 5ª, 7ª, 9ª, 11ª e 13ª ordens, aplicadas nos testes dos medidores para os percentuais de $V_n \leq 1$ kV conforme a Tabela 4.

Tabela II.4 - Níveis de referência para distorções harmônicas individuais de tensão (em porcentagem da tensão fundamental).

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

Fonte ANEEL,2012.

II.4.2. Determinando valor das distorções harmônicas

Para a quantificação das distorções harmônicas, são avaliadas as contribuições individuais de cada ordem harmônica (distorção harmônica individual de tensão de ordem h - $DIT_h\%$) e a contribuição total de todas as ordens (Distorção harmônica total de tensão - $DTT\%$).

As expressões de cálculo para tais grandezas são as seguintes:

$$DIT_h \% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 \quad (2.6)$$

Em que:

$DIT_h\%$ - Distorção harmônica individual de tensão de ordem h;

V_h - tensão harmônica de ordem h;

V_1 - tensão fundamental medida.

$$DTT = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hmáx} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (2.7)$$

Em que:

DTT - Distorção harmônica total de tensão;

$Hmáx$ - Ordem harmônica máxima;

V_h - tensão harmônica de ordem h;

V_1 - tensão fundamental medida.

II.4.3. Efeitos das distorções harmônicas

As distorções harmônicas provocam efeitos indesejados no funcionamento de diversos equipamentos, tais como: sobreaquecimento, elevação de perdas e redução da vida útil de cabos e transformadores, redução do rendimento de motores trifásicos, ressonância em bancos de capacitores, mal funcionamento de dispositivos de proteção, entre outros (ANEEL, 2011).

Além disso, casos típicos de ferro-ressonância em transformadores e reatores na presença de harmônicos provocam o aparecimento de vibrações e ruído. Outro efeito indesejado das distorções harmônicas é o aumento de perdas por histerese e correntes parasitas em núcleos de motores, geradores, transformadores, reatores e relés, que culminam com o sobreaquecimento de núcleos ferromagnéticos (DECKMANN, 2010).

Existem ainda erros de medição de grandezas elétricas com medidores de energia a disco de indução e erros na atuação da proteção em relés eletromagnéticos atracando devido à contribuição das harmônicas e ainda relés eletrônicos e digitais com erro de calibração na presença de distorções (DECKMANN, 2010).

II.5. POTÊNCIAS ELÉTRICAS

De acordo com a (IEEE, 2010), a potência aparente efetiva em um sistema trifásico, senoidal, não senoidal, equilibrado, ou desequilibrado, pode ser calculado como:

$$S_e = 3 \cdot V_e \cdot I_e \quad (2.8)$$

Onde V_e e I_e são a tensão e corrente efetiva, respectivamente, dada por:

$$V_e = \sqrt{\frac{1}{18} \left[3(V_a^2 + V_b^2 + V_c^2) + V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2 \right]} \quad (2.9)$$

$$I_e = \sqrt{\frac{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2 + I_n^2}{3}} \quad (2.10)$$

Em (ALMEIDA, 2009, 2010) os autores mostram que os resultados apresentam pequenas diferenças entre alguns equacionamentos, incluindo a potência aparente y , de acordo com a equação (2.11).

$$S_y = \sqrt{V_a^2 + V_b^2 + V_c^2} \cdot \sqrt{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2 + I_n^2} \quad (2.11)$$

Onde

$$V_i = \sqrt{\sum_h V_{ih}^2} \quad (2.12)$$

$$I_i = \sqrt{\sum_h I_{ih}^2} \quad (2.13)$$

onde V e I são os valores rms de tensão e corrente, a variável i representa as fases a, b, c e n (neutro) e a variável h a ordem harmônica, incluindo a fundamental ($h=1$). A corrente I_n será igual a zero em um sistema sem neutro.

Baseado nesta teoria, temos a potência aparente do sistema (S) e todas as potências ativa (P), não ativa, incluindo a potência não ativa de deslocamento (Q), potência não ativa de distorção (D), potência não ativa de desequilíbrio (A), bem como fator de potência (pf).

Sendo assim, os testes que foram feitos com instrumentos de QEE e medidores de energia consideraram as equações de (2.11) a (2.13), incluindo os cálculos de P , Q , D e A . Um programa na plataforma LabVIEW foi desenvolvido, incluindo todas as formulações de (IEEE, 2010), (ALMEIDA, 2009, 2010), bem como (DEPENBROCK, 1992), e os resultados foram usados como referência durante os testes.

No entanto, é importante ressaltar que os instrumentos sob teste não tem protocolos de medição que levam em consideração a potência não ativa de distorção (D), a potência não ativa de desequilíbrio (A) e a potência não ativa de deslocamento (Q), assim como nos documentos (IEEE, 2010), (ALMEIDA, 2010) e (DEPENBROCK, 1992). Assim, um erro comparado ao programa de referência é inevitável.

II.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação ao desequilíbrio de tensão algumas normas foram apresentadas, sendo adotada neste trabalho as normas da IEC e PRODIST para o cálculo do desequilíbrio.

No caso das VTCDs, que incluem afundamentos, elevações e interrupções de tensão, optou-se neste trabalho por considerar valores e limites recomendados pelo PRODIST.

Para o caso de distorções harmônicas de tensão, os percentuais e ordens dos harmônicos adotados nos testes, foram extraídos da tabela do PRODIST para o nível de tensão de 1 kV.

No caso das potências elétricas, além do estudo considerar as potências ativa e aparente, também serão analisadas as potências não ativas de deslocamento, desequilíbrio e distorção. Um programa desenvolvido no LabVIEW serviu de referência para os valores adotados dessas potências.

O capítulo III traz as informações técnicas dos instrumentos de medição e da fonte programável de tensão e corrente. Essas informações são basicamente sobre normas que os instrumentos seguem, precisão de medição dos mesmos além de características e funções dos softwares usados.

III. MEDIDORES E FONTE

III.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Como mencionado na seção 1.3 da dissertação, a finalidade deste trabalho resume-se em saber se o medidor de QEE, instalado em uma bancada de laboratório, conseguirá medir com exatidão determinado sinal de tensão e corrente, aplicado através de uma fonte programável.

Neste capítulo serão apresentadas as características técnicas básicas da fonte programável de tensão e corrente CMC 256-6, além dos 6 medidores de QEE avaliados no trabalho, classificados alfabeticamente em medidores A, B, C, D, E e F.

Todos os instrumentos envolvidos, fonte e medidores, têm suas particularidades, que se concentram especificamente nos seus *softwares* de trabalho, resumidamente descritos nas seções seguintes.

III.2. FONTE CMC 256-6 - OMICRON

A fonte programável de tensão e corrente escolhida para o desenvolvimento deste trabalho corresponde à CMC 256-6 do fabricante Omicron, observada na Figura III.1. É uma fonte capaz de injetar independentemente sinais de tensão e corrente. Possui quatro saídas de tensão e suas principais faixas de ajustes são a 4 fios AC (L-N) com ajuste de tensão de 0 até 300 V, 3 fios AC (L-N) com tensão de 0 até 300 V ou ainda a 1 fio AC (L-L) com ajuste de tensão de 0 até 600 V. Como mencionado a CMC é configurável para injetar corrente independentemente dos ajustes de tensão e possui duas portas A e B totalizando seis saídas de corrente. As principais faixas de ajustes são a 6 fios AC (L-N) com corrente em cada um dos fios variando de 0 até 12,5 A e a 3 fios AC (L-N) com corrente em cada fase chegando a 25 A, isso com as portas A e B ligadas em paralelo (OMICRON, 2013).

A CMC 256-6 possui excelente exatidão. Além disso, possui um hardware opcional de exatidão estendida. Isso significa que devido sua alta exatidão ela é capaz de realizar testes em medidores até a classe 0.2 S, de acordo com a IEC 62053, sem um medidor padrão adicional.

A exatidão da CMC 256-6 básica corresponde a um erro tipicamente menor que 0,025% e o garantido é um erro menor que 0,1% entre 30 e 300 V. A fonte torna-se mais

exata com a aquisição de *hardware* opcional. Os erros típicos e garantidos são respectivamente menores que 0,02% e 0,05% na faixa de 30 a 300 V.

A exatidão e flexibilidade únicas fazem da CMC 256-6 ideal para fabricantes de equipamentos de proteção e medição, para pesquisa, desenvolvimento, produção e ensaios de tipo (OMICRON, 2013).



Figura III.1 - Fonte programável geradora de sinais de tensão e corrente, modelo CMC 256-6.

III.2.1. Software Test Universe

A OMICRON ainda fornece o *software Test Universe* que é um programa ou um pacote com vários outros programas voltados para estudos e testes nas áreas de proteção e medição. Dentre os vários módulos de testes disponíveis foram usados basicamente dois nos trabalhos desta dissertação. O primeiro é o módulo *PQ Signal Generator* que é opcional e reúne a maioria dos distúrbios da QEE. O segundo módulo nomeado *Harmonics* que disponibiliza as funções para a execução de testes, particularmente para o caso de distorções harmônicas.

III.2.2. PQ Signal Generator

Este módulo voltado para estudos na área da QEE aliado a alta precisão de sua fonte, viabiliza meios para a execução de testes em medidores para os diversos indicadores de QEE. É possível aplicar uma série de distúrbios de acordo com a IEC 61000-4-30, IEC 61000-4-7 e

IEC 61000-4-15. Esses distúrbios podem ser aplicados de diversas formas e em sequência com a possibilidade de visualização de oscilografia do sinal injetado e geração de relatórios.

A fonte e o *software* juntos são capazes de fornecer meios para a realização de estudos com os principais distúrbios de QEE como se observa (OMICRON, 2013):

- Desequilíbrios de tensão;
- Afundamentos e Elevações de tensão;
- Distorções Harmônicas;
- Frequência;
- *Flicker*;
- Interrupção de Tensão;
- Tensões Transitórias;
- Inter-harmônicos;
- Mudança Rápida da Tensão;
- Magnitude de tensão.

III.2.3. Harmonics

O módulo *Harmonics* é uma ferramenta de teste que permite ao usuário gerar sinais de corrente e/ou tensão fundamentais sobrepostos por harmônicos múltiplos inteiros de 60 Hz. Pode-se injetar componentes harmônicas até a 16ª ordem. No módulo é possível manipular a frequência simulando casos com alteração da frequência nominal do sistema elétrico. Ainda é permitido configurar a duração do sinal poluído com as componentes harmônicas. Os sinais harmônicos podem ser aplicados diretamente ou exportados como arquivo COMTRADE (OMICRON, 2013).

III.3. MEDIDORES A E B

Os medidores A e B possuem ajustes automatizados que fornecem detecção instantânea de circuitos e configurações, garantindo que o instrumento está pronto para coletar os dados com sucesso. As informações contidas nesta seção foram obtidas do manual dos instrumentos.

O medidor B possui amostragem de alta velocidade (1 microssegundo/canal), além disso o equipamento de 8 canais registra e caracteriza simultaneamente milhares de parâmetros, usando uma variedade de modos operacionais padrões e personalizáveis.

Os dois instrumentos apresentam o que existe de mais avançado em recursos de monitoramento de QEE. Classificados como classe A para medições de distúrbios da qualidade da energia elétrica, os mesmos seguem as principais normas do assunto como IEEE 1159-2009, IEC 61000-4-30 classe A e EN50160. Os instrumentos apresentam precisão dos valores de tensão e corrente rms na faixa de $\pm 0,1\%$ da leitura e ainda $\pm 0,2\%$ da leitura para frequência que os confere o enquadramento de medidores classe A. O valor rms de tensão é atualizado a cada 0,5 ciclos e calculado ciclo a ciclo.

Os instrumentos utilizam um programa específico para tratar e analisar o volume de dados de medição que são registrados em um cartão de memória alojado no próprio medidor. Na sequência algumas funções usadas durante os testes serão introduzidas rapidamente.

III.3.1. Modo escopo

Equipado com canais independentes os instrumentos apresentam em seu modo escopo funções como de um osciloscópio, exibindo forma de onda de tensão e corrente em tempo real para até oito canais simultâneos em um intervalo de 1 segundo de faixa de atualização. As cores da forma de onda exibidas são programáveis pelo usuário. O modo escopo fornece, além disso, uma tela textual com valores rms e frequência.

III.3.2. Modo medidor

No modo medidor o instrumento funciona como um verdadeiro voltímetro e amperímetro. Medições de corrente e tensão, juntamente com outros parâmetros calculados são exibidos na tela no modo medidor, em ambos os formatos, texto e gráfico. No caso da análise de distorções harmônicas é exibida na tela do instrumento a amplitude e o ângulo de fase de cada harmônico até a 63^a ordem nos formatos texto e gráfico. Na tela fasor apresenta-se um gráfico que ilustra o defasamento angular entre a tensão e a corrente que são medidas.

III.3.3. Diagrama de fasores

O diagrama fasor exibe fasores de tensão e corrente para todos os canais. Funcionando como um medidor de ângulo de fase, o aparelho pode exibir condições de desequilíbrio do sistema e fornece essas informações também de forma textual. A exibição de ângulo de fase também pode verificar se as conexões de monitoramento foram feitas corretamente. Pode ser exibida também uma demonstração animada de rotação dos fasores para cargas resistivas, indutivas e capacitivas.

III.3.4. Ajustes de monitoramento

Para os dois medidores a configuração de limiares dos parâmetros que serão registrados pelos mesmos podem ser ajustadas pelo usuário. Os mesmos podem optar por ajustes como *automatic setup*, *wizard setup* e *advanced setup* que correspondem às normas da qualidade da energia da IEC, IEEE e EN.

III.3.5. Cartão de memória

Os medidores A e B disponibilizam o uso de cartão de memória com pelo menos 32 MB de capacidade de armazenamento. O cartão de dados substituível pelo usuário é utilizado como armazenamento primário para dados. O registro não pode ocorrer sem o cartão de memória. Os medidores são projetados para acomodar o compacto cartão de memória em seu formato nativo e não requer o uso de um adaptador. No entanto, para exportar os dados das medições do cartão para um *software* específico é necessário um adaptador para este cartão possibilitando assim a leitura das medições em um *laptop* ou outro microcomputador.

III.4. MEDIDOR C

O instrumento em questão é um medidor e registrador de grandezas em tempo real para sistemas elétricos monofásicos, bifásicos e trifásicos. Possui três canais de entrada para sinais de tensão, três canais de entrada para sinais de corrente e ainda três canais de entrada para grandezas auxiliares definidas pelo usuário. As descrições técnicas resumidas nesta seção foram retiradas do manual do instrumento.

A partir dos sinais de entrada de tensão e corrente, o medidor C calcula e indica no mostrador alfanumérico os valores de tensão, corrente, fator de potência, potências e energia.

Enquanto indica os valores medidos, o instrumento também os armazena na sua memória de massa para que, posteriormente, os dados possam ser transferidos via RS 232 para o computador, e então analisados na forma de gráficos e relatórios através do seu *software*. Estes gráficos e relatórios irão relacionar os diversos valores medidos e registrados com o horário em que ocorreram. Desta forma será possível analisar o comportamento das diversas variáveis no período de medição, com seus valores máximos e mínimos.

Como o instrumento pode ser usado em diferentes situações e para diferentes finalidades, torna-se necessário adaptar o registrador a cada uma, através da programação de seus parâmetros. Esta programação realizada via teclado do medidor ou através do computador, permite que o usuário ajuste o equipamento para a situação específica de aplicação.

Com relação à medição de tensão e corrente o medidor possui classe de exatidão 0,5 (não deve exceder 0,6% de erro) e classe 1 para potências.

III.4.1. Software de exportação de dados

O medidor possui programas (ambiente Windows) que foram desenvolvidos para análise de dados provenientes dos registradores da sua série.

O programa possibilita ler o conteúdo da memória do registrador, transformar os dados lidos em arquivos, gerar vários tipos de gráficos e relatórios (de acordo com o tipo de registrador), observar a forma de onda das tensões e correntes, assim como valores rms, valores instantâneos, etc., tudo na tela de um computador. Possibilita também a programação de parâmetros dos registradores.

III.5. MEDIDOR D

O medidor D proporciona alta precisão de medição de índices da qualidade da energia elétrica para concessionárias de energia elétrica e em aplicações industriais. As características técnicas desta seção foram obtidas do manual do instrumento. O medidor possui certificação

pela ANSI C12.20:2002 como medidor classe A. O valor rms de tensão é calculado a cada ¼ de ciclo.

III.5.1. Software de análise de dados

Cada medidor deste fabricante inclui um *software* que permite configurações de medição, monitoramento, teste e recuperação de registros. O programa pode armazenar e baixar configurações de registro. Oferece a possibilidade de carregar arquivos de configurações no medidor ou monitorar dados do sistema de potência em tempo real. Afundamentos, elevações e interrupções de tensão podem ser exportados para o formato de arquivo CSV.

III.5.2. Qualidade da energia e análise de eventos

O medidor oferece três estilos de registro de eventos que são *Waveform Capture Event Reports*, *Sequential Events Recorder (SER) Report* e *Voltage Sag/Swell/Interruption (VSSI) Report*.

Waveform capture também conhecido como oscilografia permite que o medidor grave as formas de onda de tensão e corrente associadas com as condições programáveis de trigger, tal como uma interrupção de tensão. A faixa e duração da captura da forma de onda são predeterminados usando a configuração do *Event Report*. As faixas amostrais suportadas são 1 e 8 kHz. O uso da faixa amostral de 8 kHz captura conteúdo harmônico até 50ª ordem. A faixa amostral de 1 kHz captura conteúdo harmônico até a 7ª ordem.

O *VSSI report* captura perturbações de tensão e exibe um resumo ou informações detalhadas, conforme IEC 61000-4-30 e CBEMA/ITIC.

III.6. MEDIDOR E

O Analisador oferece um conjunto extenso e poderoso de medições para verificar os sistemas de energia. Dependendo da medição pode-se ter uma impressão geral do desempenho do sistema ou ainda disponibilizar medições mais específicas. O medidor possui recursos adicionais, tais como registro, precisão da tensão de entrada de 0,1% de acordo com a IEC61000-4-30 Classe A 2003 e memória extra para armazenar dados provenientes de

medições. O valor rms é atualizado a cada 0,5 ciclos e calculado ciclo a ciclo. As informações técnicas foram obtidas pelo manual do instrumento.

III.6.1. Medições gerais

Para verificar se os cabos de tensão e pinças de corrente estão conectados corretamente usa-se a forma de onda *scope* e *phasor scope*. Os *clamps* são marcados com uma seta para facilitar a instalação de acordo com a polaridade do sinal apropriado. Para se ter uma impressão geral da qualidade do sistema de energia usa-se a função monitor. Ela exibe uma tela com gráficos de barras das tensões de fase. Um histograma muda de verde para vermelho, se a medição não atende aos limites.

III.6.2. Medições de detalhes

O modo *scope* verifica a forma de onda. Usa-se *Dips* e *Swells* para gravar mudanças bruscas de tensão. O modo Transitório captura anomalias de tensão. Para correntes de fase usam-se as opções Volts/Amps/Hertz e *Dips & Swells* para checar a relação entre corrente e tensão. A opção *Harmonics* checa tensões e correntes harmônicas e THD por fase. No menu, através de ajustes, a modalidade *Dips & Swells* gravam mudanças bruscas de tensão tão curtas como meio ciclo.

III.6.3. Normas

A Tabela III.1 traz um resumo das principais normas que o medidor E atende.

Tabela III.1- Normas internacionais.

<i>Measurement methods used</i>	IEC61000-4-30 class A
<i>Measurement performance</i>	IEC61000-4-30 class A
<i>Power Quality</i>	EN50160
<i>Flicker</i>	IEC 61000-4-15
<i>Harmonics</i>	IEC 61000-4-7

III.7. MEDIDOR F

O analisador F reúne no seu *display* informações gerais de ajustes para a execução das medições como, por exemplo, esquemas de conexão do medidor com a bancada de testes, ajustes de tensão e corrente nominais, programação do registro de índices de qualidade da energia elétrica ou ainda informações acerca de data e hora da realização das medições. O fabricante garante precisão que vai desde $\mp 0,3\%$ nas medições de tensão e corrente até $\mp 1,0\%$ no registro de fator de potência. Estas informações foram obtidas no manual do instrumento. O medidor de acordo com o fabricante possui certificação classe A para a norma EN 61326 A3 de 2003. O valor rms de tensão é calculado ciclo a ciclo e atualizado a cada 0,5 ciclos.

III.7.1. Software de trabalho

No *software* do medidor F é possível visualizar uma janela exibindo em rms os valores de flutuação de tensão. É possível ver afundamentos, elevações e interrupções de tensão exibidos através de uma lista como também informações detalhadas dos eventos, formas de onda de tensão e corrente exibidas juntas ou ainda visualizadas independentes uma da outra. Para o caso específico de distorções harmônicas o programa faz as medições mas não é capaz de registrá-las.

III.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentadas a fonte programável de tensão e corrente, bem como os medidores objetos de estudo. A fonte CMC da linha 256-6 é uma fonte de alta precisão e foi usada para injetar os sinais de tensão e corrente com os distúrbios desejados. Em relação a fonte apresentou-se o *Test Universe*, *PQ Signal Generator* e *Harmonics*, sendo o primeiro uma espécie de pacote de programas e os outros dois ferramentas computacionais do *Test Universe*.

Em relação aos medidores, 6 foram escolhidos para passar pelos testes de precisão afim de avaliar seus desempenhos. Cada um deles foi descrito demonstrando suas particularidades, exemplificadas no *software* de trabalho e nos valores de precisão de medição.

O próximo capítulo apresenta os ensaios de medição, método de avaliação das medições e os resultados gerados para os desequilíbrios de tensão, VTCDs e distorções harmônicas.

IV. DISTÚRBIOS: DESEQUILÍBRIOS, VTCDS E HARMÔNICOS

IV.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo traz os detalhes dos testes realizados nos medidores analisados nesta dissertação. Foram aplicados sinais de tensão elétrica através de uma fonte programável, OMICRON, modelo CMC 256-6. Os testes foram programados com vários distúrbios com a finalidade de avaliar tais medidores em condições não ideais, frequentes em um sistema elétrico de potência. O valor nominal de tensão aplicado nos ensaios deste capítulo 4 corresponde a 127 V fase-neutro. Dentre os distúrbios de QEE aplicados em medidores com resultados apresentados neste trabalho de dissertação pode-se citar desequilíbrios de tensão, variações de tensão de curta duração (VTCD) e distorções harmônicas.

IV.2. MÉTODO DE AVALIAÇÃO

O método de avaliação para os medidores da qualidade da energia elétrica proposto neste estudo analisa uma série de aspectos característicos e particulares de cada distúrbio de energia elétrica encontrado no sistema elétrico. A avaliação dos medidores parte inicialmente da ideia de separar essa análise por distúrbios, ou seja, o medidor terá uma classificação de desempenho para desequilíbrio de tensão outra para VTCD e mais uma para distorção harmônica, conforme (Teixeira, 2003), (Ribeiro, 2004) e (Silva, 2010).

De acordo com este método, a avaliação do desequilíbrio de tensão se baseia na análise do fator de desequilíbrio registrado pelos instrumentos, considerando as magnitudes e os ângulos de fase.

Com a tensão injetada, propositalmente desequilibrada, traduzida em um fator de desequilíbrio padrão, e ainda o valor do fator de desequilíbrio de tensão registrado pelo medidor, chega-se ao erro relativo. Com este, será possível avaliar o desempenho desses instrumentos para o referido distúrbio.

Já a avaliação do VTCD significa considerar a característica de magnitude de tensão, ou seja, o valor máximo ou mínimo da tensão durante o distúrbio. Outro ponto a se considerar nesse caso é a duração necessária para que essa tensão retorne ao seu valor nominal ou para uma faixa aceitável de tensão. Comparando-se o nível de tensão da VTCD padrão com o nível de tensão da VTCD registrada pelo instrumento, obtém-se o erro relativo para classificação quanto à magnitude. A classificação do medidor em relação à duração da VTCD se resume obtendo-se um valor final em módulo proveniente da

diferença entre o valor medido e o valor de referência.

A avaliação de distorção harmônica de tensão ocorre obtendo-se o erro relativo em função do percentual harmônico padrão e o percentual harmônico registrado, sempre por fase. O maior erro dentre as fases servirá como valor final para a classificação do medidor.

A Tabela IV.1 é usada como parâmetro para a classificação dos medidores. Realizados os testes nos equipamentos e obtidos seus respectivos percentuais de erro decorrentes das medições registradas em cada um dos medidores, busca-se comparar tais percentuais com as faixas de erros e associá-las a uma determinada nota (Ribeiro, 2004).

Tabela IV.1 - Atribuição de nota de desempenho associada a uma faixa de erro relativo.

Faixa de Erros (%)	Nota
$0 \leq \text{Erro} (\%) \leq 5$	10
$5 < \text{Erro} (\%) \leq 10$	5
$10 < \text{Erro} (\%) \leq 20$	2
Superior a 20	0

A Tabela IV.2 é mais uma a auxiliar os trabalhos de pesquisa dos medidores quando o assunto estudado relaciona a distorção harmônica de tensão com ângulo de fase das componentes harmônicas. Obtido o valor de erro existente entre o ângulo de fase padrão da componente harmônica de tensão com o valor de ângulo de fase registrado pelo medidor, compara-se tal resultado com as faixas de erro desta Tabela, a fim de fornecer uma avaliação preliminar do instrumento para aquele teste em específico.

Tabela IV.2 - Nota de desempenho associada ao erro do ângulo de fase do harmônico.

Faixa de Erros (°)	Nota
$0 \leq \text{Erro} (^\circ) \leq 10$	10
$10 < \text{Erro} (^\circ) \leq 20$	5
$20 < \text{Erro} (^\circ) \leq 30$	2
Superior a 30°	0

Ainda buscando formas complementares e mais conclusivas no estudo de desempenho dos instrumentos, usa-se a Tabela IV.3. A faixa de notas que vai de 0 a 10 é obtida a partir da média de todos os testes envolvidos para um distúrbio em específico. Com o uso desta Tabela será possível ter outra forma de visualização e classificação dos medidores, que para este trabalho, será o seu conceito final dos mesmos.

Tabela IV.3 - Atribuição dos conceitos finais por módulo.

Conceitos	Faixa de Notas
Excelente	10 a 9
Bom	9 a 7
Regular	7 a 4
Inferior	Inferior a 4

A seguir serão apresentados os resultados dos 27 testes aplicados aos 6 medidores analisados, contemplando 3 testes de desequilíbrios, 14 de VTCD e, por fim, 10 com distorção harmônica de tensão.

IV.3. RESULTADOS – DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

Para os ensaios com desequilíbrio de tensão foram aplicados os fatores de desequilíbrios de 1%, 1,5% e 2%, totalizando 3 testes. Os valores de tensão fase-fase correspondentes a cada desequilíbrio são mostrados nas Tabelas IV.4, IV.5 e IV.6

As Tabelas IV.5, IV.6, IV.7 e IV.9 trazem um resumo dos resultados obtidos para estes ensaios, incluindo os erros obtidos tanto para as tensões fase-fase quanto para os fatores de desequilíbrio. Na Tabela IV.4 percebe-se um desempenho satisfatório dos medidores.

Tabela IV.4 - Aplicando desequilíbrio de tensão de 1% nos medidores e seus respectivos percentuais de erros referente ao ensaio 1.

Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
AB	217,50	216,93	-0,26	217,10	-0,18	217,73	0,11	217,50	0,00	217,55	0,003	217,2	-0,13
BC	214,30	213,64	-0,31	213,83	-0,22	214,52	0,10	214,27	-0,01	214,34	0,02	214,1	-0,05
CA	217,60	217,63	0,06	217,90	0,14	217,68	0,04	217,57	-0,01	217,63	0,02	217,2	-0,15

A Tabela IV.5 traz os resultados do ensaio para desequilíbrio de tensão de 1,5%.

Exceto o medidor C que não registrou corretamente as informações, todos os outros repetiram o desempenho satisfatório do caso anterior.

Tabela IV.5 - Aplicando desequilíbrio de tensão de 1,5% nos medidores e seus respectivos percentuais de erros referente ao ensaio 2.

Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
AB	221,08	222,57	0,68	222,77	0,77	---	---	223,1	0,94	223,21	0,97	222,7	0,76
BC	217,81	217,11	-0,32	217,26	-0,25	---	---	217,7	-0,04	217,80	0,00	217,5	-0,12
CA	218,94	219,03	0,04	219,23	0,13	---	---	218,8	-0,03	218,93	0,00	218,7	-0,07

O ensaio 3 como observado na Tabela IV.6 apresenta as configurações para reproduzir o desequilíbrio de tensão de 2%. Repetindo o desempenho dos ensaios anteriores os medidores tiveram boa performance para este caso em particular.

Tabela IV.6 - Aplicando Desequilíbrio de tensão de 2,0% nos medidores e seus respectivos percentuais de erros referente ao ensaio 3.

Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
AB	222,12	221,49	-0,28	221,66	-0,21	221,19	-0,42	222,0	-0,02	222,12	0,00	221,6	-0,21
BC	215,49	214,82	-0,31	215,00	-0,23	217,89	1,11	215,4	-0,03	215,49	0,00	215,3	-0,07
CA	222,12	222,21	0,04	222,41	0,13	221,05	-0,48	222,0	-0,03	222,12	0,00	221,8	-0,12

Em função dos resultados apresentados pelos medidores nos três ensaios para o distúrbio em questão, observou-se pela Tabela IV.7 de avaliação de magnitudes de tensão um excelente e idêntico desempenho dos instrumentos atendendo os requisitos desejados.

Tabela IV.7- Desequilíbrio de tensão - Avaliação da magnitude de tensão registrada.

Qualificação	Instrumentos
Excelente	A, B, C, D, E, F
Bom	---
Regular	---
Inferior	---

A Tabela IV.8 apresenta os resultados das medições para o fator de desequilíbrio de

tensão. Conforme já visto, os percentuais aplicados para esse índice foram de 1%, 1,5% e 2%. Exceto o medidor C que não registrou corretamente as informações desejadas no ensaio 2 os outros testes foram positivos do ponto de vista de perfeito funcionamento dos instrumentos.

Tabela IV.8- Medição de fator de desequilíbrio.

Ensaio	FD Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
1	1	1,019	1,9	1,016	1,6	---	---	1,00	0,0	1,00	0,00	1,1	10,0
2	1,5	1,614	7,6	1,610	7,3	---	---	1,50	0,0	1,50	0,00	1,4	-6,67
3	2	2,138	6,9	2,138	6,9	---	---	2,00	0,0	2,00	0,00	2,1	5,0

Baseado nos resultados apresentados pela Tabela IV.8 percebe-se uma diferença de desempenho entre os medidores analisados. De acordo com a Tabela IV.9 observa-se que a maioria dos instrumentos (A, B e F) teve avaliação regular. O instrumento C foi o que apresentou pior qualificação com classificação inferior. Apenas os medidores D e E atenderam as expectativas obtendo a qualificação máxima, ou seja, excelente.

Tabela IV.9 - Desequilíbrio de tensão - Avaliação dos medidores para fator de desequilíbrio.

Qualificação	Instrumentos
Excelente	D, E
Bom	---
Regular	A, B, F
Inferior	C

IV.4. RESULTADOS – VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO (VTCD)

Nesta seção serão vistas as características dos ensaios realizados para VCTD, bem como os resultados obtidos por cada medidor. Os ensaios propostos foram implementados com a preocupação de recriar situações comuns e frequentes quanto aos VTCDs.

IV.4.1. Ensaios aplicados – afundamentos de tensão monofásicos

Os afundamentos monofásicos aplicados nos medidores ocorreram sempre na fase A. Seus ajustes de percentual de afundamento de tensão escolhidos foram quase ao limite da faixa de 0,1 p.u. a 0,9 p.u., assim como valores intermediários dessa faixa. Em relação a frequência de afundamentos de tensão duas situações características ocorrem, a primeira simula afundamento de tensão uma única vez, posteriormente uma série de afundamentos de tensão são gerados, contabilizando 20 eventos. Nos testes com um único evento a duração orientada para o caso foi de 16,67 ms e 300 ms. O ensaio que simulou vários afundamentos em sequência teve duração de 33,33 ms para cada evento. Como última informação sobre os testes, foram injetados sinais de tensão para afundamentos de tensão de 85%, 70%, 40% e 10%, contemplando 9 ensaios.

As Tabelas IV.10 a IV.17 e a Tabela VIII.12, disponível na Seção de apêndice deste documento mostram os resultados dos afundamentos monofásicos aplicados. Observa-se um comportamento semelhante dos medidores quando submetidos a estes ensaios. De forma geral, os valores registrados nos medidores atenderam às expectativas quando submetidos aos afundamentos característicos.

Tabela IV.10 - Afundamento monofásico de tensão de 85% - 16,67 ms – resultados do ensaio 4.

Fase	Padrão (%)	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
A	85,00	84,87	-0,15	84,97	-0,04	84,94	-0,07	85,00	0,00	84,96	-0,05	85,82	1,00
B	100,00	99,79	-0,21	99,91	-0,09	100,30	0,30	100,0	0,00	99,92	-0,08	100,0	0,00
C	100,00	99,79	-0,21	99,91	-0,09	100,25	0,25	100,0	0,00	100,0	0,00	100,0	0,00

Tabela IV.11 - Afundamento monofásico de tensão de 85% - 300 ms – resultados do ensaio 5.

Fase	Padrão (%)	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
A	85,00	84,88	-0,14	84,96	-0,05	84,79	-0,25	84,90	-0,12	84,96	-0,05	84,72	-0,32
B	100,00	99,78	-0,22	99,92	-0,08	100,38	0,38	99,90	-0,10	99,92	-0,08	100,0	0,00
C	100,00	99,78	-0,22	99,91	-0,09	100,24	0,24	100,0	0,00	99,92	-0,08	100,0	0,00

Tabela IV.12 - Afundamento monofásico de tensão de 70% - 16,67 ms – resultados do ensaio 6.

Fase	Padrão (%)	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
A	70,00	69,91	-0,12	-0,03	-0,04	21,34	-0,07	70,00	0,00	70,00	0,00	71,81	2,59
B	100,00	99,79	-0,21	-0,09	-0,09	0,31	0,30	99,90	-0,10	99,92	-0,08	100,0	0,00
C	100,00	99,79	-0,21	-0,09	-0,09	-0,26	0,25	100,00	0,00	99,92	-0,08	100,0	0,00

Tabela IV.13 - Afundamento monofásico de tensão de 70% - 300 ms – resultados de ensaio 7.

Fase	Padrão (%)	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
A	70,00	69,91	-0,13	69,98	-0,03	69,82	-0,26	69,90	-0,14	69,92	-0,11	69,52	-0,67
B	100,00	99,79	-0,21	99,89	-0,11	100,36	0,36	99,90	-0,10	99,92	-0,08	100,0	0,00
C	100,00	99,79	-0,21	99,90	-0,10	100,27	0,27	99,90	-0,10	99,92	-0,08	100,0	0,00

Tabela IV.14 - Afundamento monofásico de tensão de 40% - 16,67 ms – resultados de ensaio 8.

Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
A	40,00	39,96	-0,10	39,99	-0,02	-0,30	-0,07	40,00	0,00	40,00	0,00	43,54	8,86
B	100,00	99,80	-0,20	99,89	-0,11	0,28	0,30	100,00	0,00	99,92	-0,08	100,0	0,00
C	100,00	99,80	-0,20	99,91	-0,09	-0,31	0,25	100,00	0,00	99,92	-0,08	100,0	0,00

Tabela IV.15 - Afundamento monofásico de tensão de 40% - 300 ms – resultados do ensaio 9.

Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
A	40,00	39,95	-0,12	39,99	-0,02	39,83	-0,07	39,80	-0,50	39,92	-0,20	39,13	-2,17
B	100,00	99,80	-0,20	99,88	-0,12	100,37	0,30	99,90	-0,10	99,92	-0,08	100,0	0,00
C	100,00	99,80	-0,20	99,90	-0,10	99,73	0,25	100,00	0,00	99,92	-0,08	100,0	0,00

Tabela IV.16 - Afundamento monofásico de tensão de 10% - 16,67 ms – resultados do ensaio 10.

Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
A	10,00	9,98	-0,16	9,99	-0,08	9,77	-2,25	9,90	-1,00	10,00	0,00	9,52	-4,73
B	100,00	99,80	-0,20	99,92	-0,08	100,06	0,06	99,90	-0,10	99,92	-0,08	100,0	0,00
C	100,00	99,80	-0,20	99,91	-0,09	99,84	-0,16	100,00	0,00	99,92	-0,08	100,0	0,00

Tabela IV.17 - Afundamento monofásico de tensão de 10% - 300 ms – resultados do ensaio 11.

Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
A	10,00	9,99	-0,08	-0,06	-0,08	9,97	-0,31	9,90	-1,00	10,00	0,00	9,52	-4,73
B	100,00	99,80	-0,20	-0,09	-0,08	100,03	0,03	99,90	-0,10	99,92	-0,08	100,0	0,00
C	100,00	99,80	-0,20	-0,09	-0,09	100,64	0,64	100,00	0,00	99,92	-0,08	100,0	0,00

Utilizou-se o método de avaliação da Seção IV.2 para classificar os medidores em relação à magnitude de afundamento de tensão monofásico. A Tabela IV.18 traz a qualificação dos medidores quanto aos afundamentos de tensão monofásicos aplicados. Como se pode observar, todos os instrumentos de medição analisados obtiveram qualificação excelente.

Tabela IV.18 - Afundamento de tensão monofásico - magnitude.

Qualificação	Instrumentos
Excelente	A, B, C, D, E, F
Bom	---
Regular	---
Inferior	---

IV.4.2. Ensaios aplicados – afundamentos e elevações trifásicas com diferentes magnitudes

Estes ensaios, aplicados de forma trifásica, contemplaram sinais de tensão com afundamentos e, ao mesmo tempo, com elevações de tensão. Portanto, ao mesmo tempo em que ocorrer afundamentos de tensão nas fases A e B, a fase C recebia uma elevação de tensão. Estes afundamentos e elevações de tensão ocorreram uma única vez, semelhante ao caso de afundamento monofásico. A duração dos eventos ocorreu igualmente nas três fases e começou sempre no mesmo instante com incidência total de 300 ms por fase. Por fim os valores para os afundamentos e elevações de tensão injetados foram de 50%, 70%, 110% e 120%, respectivamente, contemplando 3 ensaios.

A Tabela IV.19 apresenta os resultados da aplicação de afundamento de tensão de 70% nas fases A e B e elevação de tensão de 120% para a fase C. Nota-se que os instrumentos apresentaram medições satisfatórias e não tiveram dificuldades em registrar os valores injetados pela fonte programável de tensão.

Tabela IV.19- Medição de VTCD de 70% e 120% referente ao ensaio 13.

Início do evento (ms)	Fim do evento (ms)	Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
100	400	A	70,00	69,90	-0,13	69,94	-0,08	69,83	-0,25	69,90	-0,14	69,92	-0,11	69,53	-0,67
100	400	B	70,00	69,85	-0,20	69,91	-0,13	70,16	0,22	69,90	-0,14	69,92	-0,11	69,61	-0,56
100	400	C	120,00	119,74	-0,21	119,85	-0,12	119,98	-0,02	120,10	0,08	119,69	-0,26	121,02	0,85

Um dado importante nesse teste é o tempo de exposição ou duração com que as fases são afetadas pelo referido distúrbio. O ensaio 14 tem duração de 50 ms conforme a Tabela IV.20, diferente do ensaio 13 que durava 300 ms. Além da mudança da duração do evento tem-se também a alteração do valor da elevação de tensão, bem como a dinâmica em geral do teste proposto. Apesar de todas essas mudanças na configuração dos testes os resultados das medições apresentadas continuam sendo positivas. Os medidores A, B e C tiveram uma ligeira piora nos seus resultados se comparados com o caso anterior enquanto que D teve o mesmo resultado. O instrumento E foi perfeito em duas fases e na outra fase apresentou valor superior, levando a um pior desempenho comparado ao ensaio 13. Finalmente, o medidor F registrou erro igual nas fases A e C e o maior erro foi na fase B. Comparado com o ensaio 13 seu desempenho melhorou.

Tabela IV.20 - Medição de VTCD de 70%, 110% e 120% referente ao ensaio 14.

Início do evento (ms)	Fim do evento (ms)	Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
100	150	A	110,00	109,84	-0,14	109,84	-0,14	109,71	-0,27	110,10	0,09	110,00	0,00	109,92	-0,07
100	150	B	70,00	69,76	-0,34	70,08	0,11	69,99	-0,01	69,90	-0,14	70,00	0,00	69,92	-0,11
100	150	C	120,00	119,53	-0,39	119,76	-0,20	119,88	-0,10	120,10	0,08	119,37	-0,52	119,92	-0,07

O último ensaio deste grupo tem modificações na dinâmica dos distúrbios com afundamentos nas fases A e C de 50% e elevação de tensão na fase B de 120%. A duração do evento, igual nas fases, foi de 200 ms. Analisando as medições nas fases A, B, C e considerando o maior valor de erro dentre as mesmas, percebe-se que em comparação com os resultados dos ensaios 14 e 15, de características semelhantes de teste, que o instrumento A teve o mesmo desempenho. Os medidores B e D tiveram melhor desempenho em medir predominantemente elevações de tensão com uma duração menor, referente ao ensaio 14. Exatamente o contrário ocorreu para os medidores C e E, que

apresentaram melhores resultados medindo predominantemente afundamentos de tensão com uma duração maior, de acordo com o ensaio 15 da Tabela IV.21. O medidor F apresentou ligeira piora no teste 15.

Tabela IV.21 - Medição de VTCD de 50%, 70% e 120% referente ao ensaio 15.

Início do evento (ms)	Fim do evento (ms)	Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
100	300	A	50,00	50,00	0,00	49,84	-0,31	50,02	0,04	49,90	-0,20	50,00	0,00	49,29	-1,42
100	300	B	120,00	119,53	-0,39	119,76	-0,20	120,09	0,08	120,10	0,08	120,00	0,00	119,92	-0,07
100	300	C	70,00	69,76	-0,34	70,00	0,00	70,00	0,00	69,90	-0,14	70,00	0,00	69,92	-0,11

Todas as análises feitas anteriormente entre os medidores nos ensaios propostos são pertinentes e mostram o desempenho do instrumento em cada ensaio. Com o intuito de fornecer uma avaliação mais abrangente a respeito do fenômeno em questão usa-se a mesma análise individual feita anteriormente, porém é obtida uma nota associada ao percentual de erro da pior fase para cada ensaio de acordo com a Tabela IV.1 e também obtida a média simples. Feito isso foi possível construir a Tabela IV.22, a qual traz a avaliação final. Como previsto pelos resultados prévios de cada ensaio, os medidores foram classificados com qualificação excelente.

Tabela IV.22 - VTCD diferente entre fases e avaliação de magnitude.

Qualificação	Instrumentos
Excelente	A, B, C, D, E, F
Bom	---
Regular	---
Inferior	---

IV.4.3. Ensaio aplicado – afundamentos trifásicos de tensão

O ensaio proposto consiste em injetar, através da fonte programável de tensão, sinais de tensão com afundamentos de tensão trifásicos equilibrados. Para este caso em particular existe uma diferença considerável em relação aos outros ensaios aplicados: o

número de eventos consecutivos, iguais a 20. As durações consideradas apropriadas para avaliar os medidores foram de 16,67 ms, e 333,33 ms, sempre uniformes nas fases. Finalizando, os valores aplicados para afundamento de tensão foram de 40% e 70%.

O primeiro teste para fundamentos trifásicos de tensão, considerou-se o evento com magnitude de 70% e duração de 16,67 ms. Ocorreram 20 afundamentos de tensão no total, com intervalos entre eles de 15 segundos definidos aleatoriamente.

No segundo teste, a alteração ocorre na magnitude e duração dos afundamentos de tensão, que correspondem respectivamente a 40% e 333,33 ms. A Figura IV.1 dá uma ideia da dinâmica de ocorrência dos afundamentos.



Figura IV.1 - Afundamentos trifásicos de tensão com magnitude de 70% e duração de 16,67 ms.

IV.4.3.1. Análise do Ensaio – afundamentos de tensão com magnitude de 70% e duração de 16,67ms.

Todos os medidores analisados apresentaram percentuais de erro que os conferem ótimas avaliações, analisando evento por evento para o ensaio 16, conforme as Tabelas C1 e C2. Ainda complementando a análise do ensaio, pode-se verificar que o maior percentual de erro entre todos os medidores ocorreu com o medidor F, com percentual de 7,79%. O menor percentual de erro considerado para avaliação desses estudos foi obtido pelo medidor B, no valor de 0,07%, referente ao evento 1, conforme Tabela C2. O medidor D se destacou com excelência de exatidão, para os eventos 3, 4, 5, 11 e 13. O medidor A apresentou percentuais muito bons e também muito próximos nas três fases. O medidor E registrou todos os eventos sempre apresentando os mesmos índices.

IV.4.3.2. Ensaio – afundamento de tensão com magnitude de 40% e duração de 333,33ms.

Os resultados do ensaio 17 observados nas Tabelas C3 e C4 mostram que os

medidores repetiram o bom desempenho já visto no ensaio 16. Analisando um a um, os medidores A, B, C e D tiveram desempenhos ligeiramente piores nessa situação (ensaio 17), mas não o suficiente para modificar sua classificação final. Em contrapartida, E e F foram melhores. Finalizando as análises particulares, tem-se o medidor E, que se destacou registrando os 20 afundamentos de tensão sem erro de medição.

Na avaliação desse específico teste é necessário analisar cada evento de afundamento de tensão, dos 20 aplicados. Cada afundamento de tensão resultará em uma nota, obtida da Tabela IV.1, sendo que a nota refere-se ao pior resultado de erro entre as fases. Com as 20 notas referente aos 20 afundamentos de tensão, calcula-se através de média simples uma nota final do ensaio. Após fazer isto para os dois ensaios as notas são somadas e é obtida uma nova nota através da média das duas. Por fim, esta nota final, comparada com a Tabela IV.3, revela o conceito final dos medidores para magnitude de VTCD trifásica, de acordo com a Tabela IV.23. A maioria dos instrumentos submetidos aos testes obtiveram classificação excelente e apenas o instrumento F destoou dos demais, obtendo a qualificação boa, comprovando um desempenho satisfatório dos mesmos.

Tabela IV.23 - VTCD trifásica e avaliação de magnitude.

Qualificação	Instrumentos
Excelente	A, B, C, D, E
Bom	F
Regular	---
Inferior	---

IV.4.4. Duração da VTCD - resultados

A seção a seguir analisará os mesmos ensaios já realizados para VTCD com os mesmos valores para magnitude do afundamento e elevação de tensão. O valor de ajuste da duração dos eventos também será o mesmo encontrado nas tabelas anteriores e também em tabelas localizadas no apêndice do documento.

Basicamente são três tipos de ensaios que serão analisados para avaliar os medidores de QEE. O primeiro se refere às durações dos afundamentos monofásicos de tensão. O segundo trata da duração das VTCDs diferentes entre fases e por ultimo a

duração dos afundamentos trifásicos de tensão. Todos os ensaios mencionados serão usados com o objetivo de obter uma avaliação final para o referido tema em questão.

Os testes com afundamentos monofásicos de tensão foram configurados basicamente com valores de duração de 1 ciclo (16,67ms), 2 ciclos (33,33ms) e 18 ciclos (300ms). Os percentuais dos afundamentos aplicados são os mesmos apresentados na seção IV.4, para os quais o estudo estava concentrado no desempenho dos medidores quanto às magnitudes medidas. Agora, a visão adotada busca avaliar o que de fato medem os instrumentos em relação ao tempo de duração dos eventos.

Considerando que meio ciclo (8,33ms) seja o limite para aprovação dos instrumentos e olhando para o primeiro teste na Tabela A.1 contida no apêndice A é possível perceber que 5 dos 6 medidores testados tiveram registros dentro do limite permitido (8,33 ms). A e B tiveram valores aproximados, C e D apresentaram os melhores resultados, E registrou valor mais próximo do limite e F foi o único a ultrapassar este valor.

As Tabelas A.1 e A.2 apresentam resultados das medições para afundamento monofásico de tensão de 85% com durações de 16,67ms e 300ms. Enquanto que os medidores A e C foram piores medindo evento com maior duração, B e D foram melhores nessa ocasião. E e F ultrapassaram o limite, porém em ensaios diferentes.

Nas Tabelas A.3 e A.4 os resultados são obtidos para afundamento de tensão de 70% com durações de 16,67ms e 300ms . Estabelecendo uma comparação entre as duas tabelas, nota-se que os instrumentos A, B, C, D e F foram coerentes uns com os outros, apresentando números razoavelmente próximos. O medidor E, diferentemente dos outros, acusou dificuldade em medir para um afundamento de 1 ciclo, o que não ocorreu na situação de maior duração para o mesmo evento.

Nas Tabelas A.5 e A.6 os resultados são obtidos para afundamento de tensão de 40% com durações de 16,67ms e 300ms. Os medidores A, C, D, E e F foram melhores registrando o evento com duração de 300ms. B foi o único que mediu melhor no evento de menor duração. O instrumento E foi o único a ultrapassar o limite de meio ciclo no teste com 16,67 ms.

Nas Tabelas A.7 e A.8 os resultados são obtidos para afundamento de tensão de 10% com durações de 16,67ms e 300ms. Nessas últimas Tabelas para afundamentos monofásicos de tensão, os instrumentos A, B, D e E apresentaram percentuais de erro

menores para o período de 300ms. O medidor C teve melhor percentual de erro para o evento com duração de 16,67ms. Os instrumentos D e E foram extremamente precisos na segunda situação e D reafirma o bom desempenho obtido em todos os testes. O equipamento F foi mal nesses testes que sem dúvida são os mais severos para este tipo de afundamento de tensão. O medidor apresentou problemas desconhecidos e não registrou medição no teste de afundamento com duração de 16,67ms. No teste de maior duração o mesmo registrou erro superior a meio ciclo.

As tabelas B1 e B2 referentes ao apêndice B apresentam os resultados de medição de afundamentos de tensão com magnitude de 85% e duração de 33,33 ms. Todos os medidores analisados tiveram bom desempenho. Os medidores C e D tiveram os melhores resultados com os valores de erro de 0,32ms e 0,33ms, respectivamente, predominantes estes valores ao longo dos 20 eventos. Valores estes que ficaram abaixo do limite de meio ciclo (8,33ms).

Resumidamente estes foram os resultados apresentados pelos medidores para o primeiro tipo de afundamento de tensão, considerando exclusivamente análise em relação à duração dos eventos. A sequência trará o segundo tipo estudado que corresponde ao caso de VTCD diferente entre fases.

A Tabela A.9 traz os resultados para o ensaio aplicado nos medidores cujas características principais são afundamentos de tensão na ordem de 70% nas fases A e B e elevação de tensão de 120% na fase C. Todas as fases afetadas pelo evento foram expostas ao mesmo período de tempo ou duração de 300ms e tiveram início e término iguais em todas as fases. Medidores A, D e E registraram dentro de meio ciclo, em relação à marcação do início do evento. Os demais ficaram acima desse limite. Analisando o tempo registrado pelos medidores para o término do evento apenas D e E conseguiram ficar dentro de meio ciclo. O medidor C não registrou medição alguma nesse teste e nem nos testes seguintes. A, B e F apresentaram tempos superiores para esta situação.

A Tabela A.10 traz os resultados para o ensaio aplicado nos medidores cujas características principais são elevações de tensão na ordem de 110% e 120% nas fases A e C respectivamente e afundamento de tensão de 70% na fase B. Todas as fases afetadas pelo evento foram expostas a uma duração de 50ms e tiveram início e término iguais em todas as fases. Medidores A, B, D e F registraram acima de meio ciclo, em relação à marcação

de início do evento. Apenas E teve sucesso nesse caso. Analisando o tempo registrado pelos medidores para o término do evento apenas E conseguiu ficar dentro de meio ciclo. A teve apenas duas fases dentro do limite nas marcações de início e fim do evento enquanto que B teve sucesso com apenas uma fase para a marcação de fim do evento. F não conseguiu fazer medições para a fase A.

A Tabela A.11 traz os resultados para o ensaio aplicado nos medidores cujas características principais são afundamentos de tensão na ordem de 50% e 70% nas fases A e C e elevação de tensão de 120% na fase B. Os medidores foram afetados pelos eventos com tempo de duração de 200ms e tiveram início e término ao mesmo tempo em todas as fases. Medidores B e F registraram dentro de meio ciclo, em relação à marcação de início do evento. Os medidores A e E conseguiram em duas das três fases atingirem o mesmo objetivo. O instrumento D registrou acima de meio ciclo nessa ocasião. Analisando o tempo registrado pelos medidores para o término do evento apenas D conseguiu ficar dentro de meio ciclo. Os medidores B e E conseguiram em duas das três fases registrar duração do evento menor que meio ciclo. O equipamento F conseguiu apenas em uma fase o feito de D para a duração de fim do evento.

Este ensaio encerra a análise da duração dos eventos para VTCDs diferentes entre fases. O próximo grupo de testes analisados estudará a duração dos afundamentos trifásicos de tensão aplicados nos medidores de QEE.

As Tabelas C.1, C.2, C.3 e C.4 trazem medições e valores de erro para os afundamentos trifásicos de tensão. As Tabelas C.1 e C.2 informam sobre um valor de 70% nos afundamentos de tensão aplicados, com duração de um ciclo (16,67ms). Esses afundamentos se repetem 20 vezes com intervalos de 15 segundos definidos aleatoriamente. As Tabelas C.3 e C.4 mostram injeções de afundamentos de tensão de 40% com duração para cada afundamento de 333,33ms com um total de 20 afundamentos de tensão.

Todos os instrumentos da Tabela C.2 apresentaram registros para duração do afundamento de tensão ao longo dos 20 eventos, abaixo ou igual ao limite de 8,33ms. Os medidores A, B e C mantiveram do início ao fim os registros de duração bastante parecidos. O equipamento D apresentou os melhores resultados e mesmo assim ocorreram variações de medições de duração ao longo dos eventos. Os instrumentos E e F por

diversas vezes durante o ensaio atingiram o limite de 8,33ms, porém atenderam o objetivo.

No teste seguinte como se observa na Tabela C.4 apenas o instrumento D foi capaz de registrar o tempo dos eventos abaixo de meio ciclo. Medidores A, B e E apresentaram medições praticamente iguais até o fim, mas registraram acima da marca de 8,33ms. O instrumento C também apresentou medições com variações dos valores medidos e apenas em 11 eventos é que se manteve abaixo do limite permitido. O medidor F, em todos os eventos, apresentou na fase B valor acima do limite (8,33ms). Com esta última análise finaliza-se os comentários dos resultados para o terceiro e último estudo relacionado à VTCD, voltado exclusivamente para a duração dos eventos.

Depois de obtidos os registros de duração dos eventos fez-se uma avaliação final dos medidores para a tal característica. Basicamente, foram obtidos os tempos médios divididos em 5 grupos de ensaios: 2 referentes a afundamentos trifásicos de tensão, 2 para afundamentos monofásicos de tensão e 1 para afundamentos e elevações trifásicas com diferentes amplitudes. Com as 5 notas calculou-se por média simples o erro médio em ms. Feito isso foi possível gerar a Tabela IV.24 que resume as informações conclusivas do assunto.

Tabela IV.24 - Conceito final dos medidores para a duração de VTCD.

Medidor	Erro Médio em [ms]	Registrados [%]	Nota Média
A	7,70	100	Apr
B	8,12	100	Apr
C	8,53	94,2	Rep
D	1,39	100	Apr
E	13,88	100	Rep
F	9,38	99,3	Rep

A Tabela informa se o medidor obteve ou não aprovação final por meio da associação com o valor médio de erro da duração da VTCD e também apresenta o percentual de VTCD registrado pelos instrumentos ao longo dos 165 eventos gerados em todos os testes. Dos 6 medidores avaliados, 3 não conseguiram obter erro médio abaixo de meio ciclo (8,33 ms). O medidor C reprovou principalmente pelos resultados do ensaio de afundamento trifásico de tensão com magnitude de 40% e duração de 333,33 ms. Além do desempenho ruim neste mesmo ensaio, o medidor E reprovou também em função do

ensaio para afundamento de tensão monofásico com a ocorrência de 1 evento. Por último, o medidor F, que reprovou devido o ensaio de afundamentos e elevações trifásicas com diferentes magnitudes.

IV.5. RESULTADOS – DISTORÇÃO HARMÔNICA DE TENSÃO

Nesta seção serão mostradas as características dos ensaios programados para distorção harmônica de tensão, além dos resultados apresentados pelos medidores analisados. A avaliação se dividiu em duas partes: a primeira atenta na obtenção dos percentuais harmônicos injetados e a segunda verificando o ângulo dos harmônicos. Os valores injetados através da fonte programável de tensão estão em concordância com o módulo 8 do Prodist.

IV.5.1. Ensaios aplicados – percentual e ângulo harmônico

O ensaio de distorção harmônica de tensão ocorreu inicialmente injetando-se sinais de tensão com a presença de componentes harmônicas individuais. Os testes consideraram harmônicos de 2^a, 3^a, 4^a, 5^a, 7^a, 11^a e 13^a ordens, de forma individual. Posteriormente, uma composição dos mesmos foi aplicada. Outra característica estudada buscou avaliar os medidores em relação ao ângulo de fase das componentes harmônicas. Também ocorreram testes os quais a injeção de harmônicos simulava uma alteração da frequência do sistema para 59,90Hz e 60,10Hz. Os valores nominais de tensão e frequência adotados foram de 127V e 60Hz, respectivamente.

IV.5.2. Percentual para distorção harmônica de tensão – resultados

A seguir serão apresentadas algumas Tabelas que trazem informações a respeito das características de casa ensaio para percentual harmônico de tensão e o desempenho dos medidores para a configuração de teste a que foram submetidos.

A Tabela IV.25 apresenta o ensaio 18, cujas informações principais dizem respeito à componente harmônica de 2^a ordem e percentual padrão adotado de 2,5%. Antes de analisar os resultados de cada medidor é válido fazer uma consideração sobre a forma de

obtenção dessas medições. Existem duas formas de colher as informações desejadas de medição. A primeira e mais rápida se resume em ler em tempo real as informações diretamente do display do instrumento e a outra forma, mais completa, é feita exportando os dados registrados da memória do instrumento para um *software* apropriado que fornecerá as ferramentas adequadas ao processo de tratamento de registro das medições. Percebe-se a diferença dos valores apresentados de E e F em relação aos demais medidores. E e F foram precisos enquanto que B e C apresentaram uma diferença considerável entre suas fases. A e D acertaram, bem com medições praticamente iguais entre as fases. Neste tipo de ensaio considera-se o pior resultado por fase para a avaliação final do específico grupo analisado.

Tabela IV.25 - Medições de componente harmônica individual de 2ª ordem referente ao ensaio 18.

Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
A	2,50	2,503	0,15	2,496	-0,14	2,350	-6,00	2,480	-0,80	2,50	0,00	2,50	0,00
B	2,50	2,495	-0,17	2,584	3,36	2,440	-2,40	2,490	-0,40	2,50	0,00	2,50	0,00
C	2,50	2,500	0,00	2,608	4,35	2,430	-2,80	2,480	-0,80	2,50	0,00	2,50	0,00

A Tabela IV.26 apresenta os números do ensaio 19 para a componente harmônica de 3ª ordem e percentual padrão adotado de 6,5%. Os instrumentos E e F continuam sempre precisos. Os medidores A, B, C e D também conseguiram bons desempenhos, sempre observando o pior resultado de cada um, fase a fase.

Tabela IV.26 - Medições de componente harmônica individual de 3ª ordem referente ao ensaio 19.

Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
A	6,50	6,477	-0,35	6,485	-0,23	6,540	0,62	6,239	-4,00	6,50	0,00	6,50	0,00
B	6,50	6,478	-0,34	6,483	-0,26	6,610	1,69	6,239	-4,00	6,50	0,00	6,50	0,00
C	6,50	6,510	0,15	6,505	0,08	6,540	0,62	6,239	-4,00	6,50	0,00	6,50	0,00

A Tabela IV.27 apresenta o ensaio 20 para a componente harmônica de 4ª ordem e percentual padrão adotado de 1,5%. Os instrumentos A e B foram bem no teste e se aproximaram nos números. O medidor D foi excelente se igualando aos analisadores E e F. O medidor C novamente apresentou uma limitação maior medindo um percentual harmônico de menor intensidade.

Tabela IV.27 - Medições de componente harmônica individual de 4ª ordem referente ao ensaio 20.

Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
A	1,50	1,503	0,26	1,503	0,21	1,550	3,33	1,500	0,00	2,500	0,00	1,50	0,00
B	1,50	1,502	0,16	1,502	0,14	1,510	0,67	1,500	0,00	2,500	0,00	1,50	0,00
C	1,50	1,501	0,07	1,502	0,15	1,400	-6,67	1,500	0,00	2,500	0,00	1,50	0,00

A Tabela IV.28 traz as medições do ensaio 21 para a componente harmônica de 5ª ordem e percentual padrão adotado de 7,5%. Chamam atenção principalmente os instrumentos A e C. O primeiro por algum motivo desconhecido apresentou erro absurdo nas fases A e B. Esse resultado foi descartado. O analisador C teve novamente resultado melhor quando aplicado um percentual harmônico mais alto, se comparados os ensaios 20 e 21. Mesmo com uma avaliação mais criteriosa em relação a E e F o medidor D igualou-se aos dois com excelente desempenho.

Tabela IV.28 - Medições de componente harmônica individual de 5ª ordem referente ao ensaio 21.

Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
A	7,50	5,360	-28,5	7,482	-0,24	7,590	1,20	7,500	0,00	7,500	0,00	7,50	0,00
B	7,50	5,490	-26,8	7,475	-0,33	7,480	-0,27	7,500	0,00	7,500	0,00	7,50	0,00
C	7,50	7,643	1,91	7,477	-0,31	7,430	-0,93	7,500	0,00	7,500	0,00	7,50	0,00

A Tabela IV.29 apresenta os valores do ensaio 22 para a componente harmônica de 7ª ordem e percentual padrão adotado de 6,5%. Os medidores apresentaram bons desempenhos com percentuais pequenos de erro. Mesmo com o pior resultado entre os medidores, o instrumento A voltou a registrar corretamente. Medidores E e F até então sempre corretos analisando-se os resultados diretamente da tela do medidor.

Tabela IV.29 - Medições de componente harmônica individual de 7ª ordem referente ao ensaio 22.

Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
A	6,50	6,482	-0,31	6,460	-0,28	6,490	-0,62	6,50	0,00	6,50	0,00	6,50	0,00
B	6,50	6,483	-1,20	6,500	-0,26	6,470	0,00	6,50	0,00	6,50	0,00	6,50	0,00
C	6,50	6,490	-2,20	6,520	-0,15	6,490	0,31	6,50	0,00	6,50	0,00	6,50	0,00

A Tabela IV.30 apresenta os dados do ensaio 23 para a componente harmônica de

11ª ordem e percentual padrão adotado de 4,5%. O medidor D voltou a repetir excelente desempenho semelhante a E e F. O instrumento C teve uma ligeira piora com a redução do percentual harmônico de 6,5% para 4,5 %. Mediores A e B melhoraram comparados com o caso anterior e no geral todos tiveram bons desempenhos.

Tabela IV.30 - Medições de componente harmônica individual de 11ª ordem referente ao ensaio 23.

Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
A	4,50	4,402	-2,18	4,490	-0,22	4,520	0,44	4,500	0,00	4,50	0,00	4,50	0,00
B	4,50	4,468	-0,71	4,495	-0,11	4,540	0,89	4,500	0,00	4,50	0,00	4,50	0,00
C	4,50	4,473	-0,60	4,495	-0,11	4,480	-0,44	4,500	0,00	4,50	0,00	4,50	0,00

A Tabela IV.31 a seguir apresenta os números do ensaio 24 para a componente harmônica de 13ª ordem e percentual padrão adotado de 4,0%. Os medidores A, B, C e D apresentaram uma ligeira piora para percentual menor do distúrbio. Os instrumentos E e F novamente tiveram excelente desempenho.

Tabela IV.31 - Medições para componente harmônica individual de 13ª ordem referente ao ensaio 24.

Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
A	4,00	3,987	-0,32	3,987	-0,32	4,040	1,00	3,990	-0,25	4,00	0,00	4,00	0,00
B	4,00	3,956	-1,10	3,995	-0,12	4,040	1,00	3,960	-1,00	4,00	0,00	4,00	0,00
C	4,00	3,864	-3,40	3,991	-0,22	4,070	1,75	3,970	-0,75	4,00	0,00	4,00	0,00

A Tabela D.1 situada no apêndice D apresenta o teste de medição de percentual de distorção harmônica para ensaios de harmônicos compostos aplicados aos medidores propostos.

O instrumento A teve excelente desempenho, porém não evitou de apresentar o maior erro, se comparado aos demais medidores, de 8,31% no caso da componente harmônica par de 4ª ordem. O medidor B semelhante a A registrou pior erro de -2,23%. Os medidores C e D seguiram A diferenciando-se apenas nos valores de erro de 3,33% e 1,33% respectivamente. O instrumento E teve como pior valor de erro 2,50% referente à fase A quando aplicado 4% de distorção para 13ª ordem. O analisador F foi o melhor e não apresentou erro de medição..

A Tabela IV.32 apresenta além das informações já conhecidas, outra, que se refere

ao valor da frequência do sistema, que neste caso equivale a 59,90Hz. Os medidores registraram a distorção harmônica de tensão com menores ou iguais percentuais de erro se comparados com o ensaio 19 de mesmas características com frequência nominal de 60,00Hz.

Tabela IV.32 - Medições de componente harmônica individual de 3ª com frequência do sistema em 59,90Hz referente ao ensaio 26.

Frequência (Hz)	Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
59,90	A	6,50	6,483	-0,26	6,487	-0,20	6,45	-0,77	6,50	0,00	6,50	0,00	6,50	0,00
	B	6,50	6,489	-0,17	6,487	-0,20	6,51	0,15	6,50	0,00	6,50	0,00	6,50	0,00
	C	6,50	6,486	-0,22	6,488	-0,18	6,49	-0,15	6,50	0,00	6,50	0,00	6,50	0,00

A Tabela IV.33 assim como a anterior apresenta a mesma linha de raciocínio só que agora aplicando distorção harmônica individual de tensão de 7,5% para 5ª ordem com frequência de 60,10Hz. O medidor A anotou erro máximo de - 2,01% na fase A. Não foi possível estabelecer um comparativo dos ensaios 21 e 26 em função do descarte das medições deste medidor para o ensaio 21. Os medidores B e D registraram erro maior no teste do ensaio 26, com a frequência alterada, diferente do analisador C que foi pior no ensaio 21. Os medidores E e F foram iguais nas duas situações.

Tabela IV.33 - Medições de componente harmônica individual de 5ª ordem com frequência do sistema em 60,10Hz referente ao ensaio 27.

Frequência (Hz)	Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
60,10	A	7,50	7,349	-2,01	7,476	-0,32	7,490	-0,13	7,470	-0,40	7,50	0,00	7,50	0,00
	B	7,50	7,480	-0,27	7,756	3,41	7,460	-0,53	7,490	-0,13	7,50	0,00	7,50	0,00
	C	7,50	7,432	-0,91	7,767	3,56	7,570	0,93	7,490	-0,13	7,50	0,00	7,50	0,00

Buscando uma avaliação final dos instrumentos para medição do percentual harmônico de tensão considerou-se, como de costume, o pior resultado de erro das medições, dentre todas as fases. Usando tal premissa, obteve-se a média simples que comparada com a Tabela IV.3 contribui para fornecer a Tabela IV.34 com os conceitos finais para percentual harmônico de tensão. Observa-se que todos os instrumentos conseguiram máxima qualificação, apesar de resultados ruins com um ou outro valor que extrapola os limites de erros aceitáveis ou ainda sem registro algum, os quais foram

A	0°	0°	0°	187°	7,47°	2,51°	2,51°	0,19°	0,19°	---	---	---	---
B	120°	120°	0°	109°	11°	126,11°	6,11°	119,82°	0,18°	---	---	---	---
C	240°	241°	1°	289°	49°	248,58°	8,58°	239,82°	0,18°	---	---	---	---

A Tabela IV.36 apresenta as características do ensaio 19 que já foi observado anteriormente na Tabela IV.26 e nesta acrescenta a avaliação do ângulo da componente de sequência zero para harmônico de 3ª ordem. O medidor A teve o maior desvio angular na fase B, sendo de 2° este valor. O medidor B também registrou maior erro de 2°, porém para a fase C. O medidor C teve resultado semelhante em suas fases e foi pior ao registrar o ângulo da fase C com desvio 12,64°. O analisador D repetiu a medição em duas fases e todas elas foram bem próximas com a fase C registrando pior desvio de 4,11°. Os medidores E e F não registraram os dados desejados.

Tabela IV.36 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência zero de 3ª ordem referente ao ensaio 19.

Fase	Padrão	A	Erro (°)	B	Erro (°)	C	Erro (°)	D	Erro (°)	E	Erro (°)	F	Erro (°)
A	0°	0°	0°	0°	0°	11,29°	11,29°	4,09°	4,09°	---	---	---	---
B	0°	2°	2°	0°	0°	11,24°	11,24°	4,09°	4,09°	---	---	---	---
C	0°	0°	0°	2°	2°	12,64°	12,64°	4,11°	4,11°	---	---	---	---

A Tabela IV.37 apresenta as características do ensaio 20 que já foi observado anteriormente na Tabela IV.27 e nesta acrescenta a avaliação do ângulo da componente de sequência positiva para harmônico de 4ª ordem. Os medidores A e B foram idênticos apresentando maior desvio de (2°) referente à fase C. O medidor C foi pior ao registrar o ângulo da fase A com desvio máximo de 14,14°. O analisador D repetiu a medição em duas fases novamente e todas elas foram bem próximas com as fases A e C registrando o pior desvio de 0,40°. Medidores E e F não registraram dados.

Tabela IV.37 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência positiva de 4ª ordem referente ao ensaio 20.

Fase	Padrão	A	Erro (°)	B	Erro (°)	C	Erro (°)	D	Erro (°)	E	Erro (°)	F	Erro (°)
A	0	0°	0°	0°	0°	14,14°	14,14°	0,40°	0,40°	---	---	---	---
B	240°	241°	1°	241°	1°	254,01°	14,01°	239,70°	0,30°	---	---	---	---
C	120°	122°	2°	122°	2°	129,43°	9,43°	119,60°	0,40°	---	---	---	---

A Tabela IV.38 apresenta as características do ensaio 21 que já foi observado anteriormente na Tabela IV.28 e nesta acrescenta a avaliação do ângulo da componente de sequência negativa para harmônico de 5ª ordem. O medidor A foi pior registrando ângulo para a fase A cujo desvio máximo atingiu 17°. Em B o resultado foi melhor e o desvio máximo registrado em relação à referência foi de 2° na fase C. O medidor C teve desempenho regular e registrou erro máximo na fase B para um desvio de 15,52°. O analisador D foi idêntico ao ensaio 20 exceto na fase B e registrou desvio angular máximo de 0,50° no ensaio 21.

Tabela IV.38 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência negativa de 5ª ordem referente ao ensaio 21.

Fase	Padrão	A	Erro (°)	B	Erro (°)	C	Erro (°)	D	Erro (°)	E	Erro (°)	F	Erro (°)
A	0°	17°	17°	0°	0°	14,48°	14,48°	0,40°	0,40°	---	---	---	---
B	120°	110°	10°	121°	1°	135,52°	15,52°	119,50°	0,50°	---	---	---	---
C	240°	247°	7°	242°	2°	254,74°	14,74°	239,60°	0,40°	---	---	---	---

A Tabela IV.39 apresenta as características do ensaio 22 que já foi observado anteriormente na Tabela IV.29 e nesta acrescenta a avaliação do ângulo da componente de sequência positiva para harmônico de 7ª ordem. Os medidores A e B foram idênticos com desvio angular máximo de 3° na fase C. O medidor C teve desempenho ruim neste teste e registrou maior erro angular na fase A com desvio de 27,43°. O medidor D foi o que mais se aproximou do padrão e a fase B registrou desvio angular máximo de 0,71°.

Tabela IV.39 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência positiva de 7ª ordem referente ao ensaio 22.

Fase	Padrão	A	Erro (°)	B	Erro (°)	C	Erro (°)	D	Erro (°)	E	Erro (°)	F	Erro (°)
A	0°	0°	0°	0°	0°	27,43°	27,43°	0,68°	0,32°	---	---	---	---
B	240°	241°	1°	241°	1°	266,21°	26,21°	239,29°	0,71°	---	---	---	---
C	120°	123°	3°	123°	3°	146,86°	26,86°	119,34°	0,66°	---	---	---	---

A Tabela IV.40 apresenta as características do ensaio 23 que já foi observado anteriormente na Tabela IV.30 e nesta acrescenta a avaliação do ângulo da componente de sequência negativa para harmônico de 11ª ordem. Os medidores A e B foram idênticos

com pior desvio angular de 5° para a fase C. O medidor C novamente repetiu desempenho ruim e registrou erro angular máximo também na fase A com desvio de $59,45^\circ$. O medidor D registrou desvio angular máximo de $1,30^\circ$ novamente para fase B.

Tabela IV.40 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência negativa de 11ª ordem referente ao ensaio 23.

Fase	Padrão	A	Erro (°)	B	Erro (°)	C	Erro (°)	D	Erro (°)	E	Erro (°)	F	Erro
A	0°	0°	0°	0°	0°	$59,45^\circ$	$59,45^\circ$	$1,20^\circ$	$1,20^\circ$	---	---	---	---
B	120°	122°	2°	122°	2°	$179,02^\circ$	$59,02^\circ$	$118,70^\circ$	$1,30^\circ$	---	---	---	---
C	240°	245°	5°	245°	5°	$299,12^\circ$	$59,12^\circ$	$238,80^\circ$	$1,20^\circ$	---	---	---	---

A Tabela IV.41 apresenta as características do ensaio 24 que já foi observado anteriormente na Tabela IV.31 e nesta acrescenta a avaliação do ângulo da componente de sequência positiva para harmônico de 13ª ordem. O medidor A teve desvio angular máximo de 5° na fase C, fase a qual ocorreu pior desempenho na grande maioria dos testes. O analisador B teve desempenho ruim no ensaio, sendo o desvio angular da fase B o maior com 47° . O medidor C registrou erro angular máximo de $19,63^\circ$, novamente na fase A, fato que se repetiu neste medidor. O medidor D registrou desvio angular máximo de $1,59^\circ$ na fase A e este foi um dos raros ensaios que o analisador teve erro acima de 1° .

Tabela IV.41 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência positiva de 13ª ordem referente ao ensaio 24.

Fase	Padrão	A	Erro (°)	B	Erro (°)	C	Erro (°)	D	Erro (°)	E	Erro (°)	F	Erro (°)
A	0°	0°	0°	329°	31°	$19,63^\circ$	$19,63^\circ$	$1,59^\circ$	$1,59^\circ$	---	---	---	---
B	240°	241°	2°	287°	47°	$259,09^\circ$	$19,09^\circ$	$238,49^\circ$	$1,51^\circ$	---	---	---	---
C	120°	125°	5°	124°	4°	$137,85^\circ$	$17,85^\circ$	$118,65^\circ$	$1,35^\circ$	---	---	---	---

A Tabela E.1 no apêndice E apresenta a avaliação dos medidores para medição de ângulo de fase no caso de composição de harmônicos, referente ao ensaio 25. O medidor A teve desvio máximo de 6° na fase C durante distorção harmônica com sequência de fase negativa para componente harmônica de 11ª ordem. O medidor B teve desvio máximo de 3° na fase C para as componentes harmônicas de 5ª e 11ª ordem. O medidor C teve desvio

máximo de $1,82^\circ$ na fase C durante distorção harmônica com sequência de fase positiva para componente harmônica de 7ª ordem. Por fim o medidor D teve desvio máximo de $1,50^\circ$ na fase A durante distorção harmônica com sequência de fase positiva para componente harmônica de 13ª ordem. Os medidores A, B, C e D tiveram excelente desempenho.

A Tabela IV.42 apresenta as características do ensaio 26 e nesta acrescenta a avaliação do ângulo de fase para frequência do sistema em 59,90Hz. Estabelecendo um paralelo com a Tabela IV.32, de mesma componente harmônica, mas para frequência de 60Hz, percebe-se que os medidores A, B e C foram melhores com a frequência alterada, ao contrário de D. Os instrumentos tiveram bom desempenho.

Tabela IV.42 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência negativa de 11ª ordem com frequência de 59,90Hz referente ao ensaio 26.

Fase	Padrão	A	Erro (°)	B	Erro (°)	C	Erro (°)	D	Erro (°)	E	Erro (°)	F	Erro (°)
A	0°	0°	0°	0°	0°	$8,62^\circ$	$8,62^\circ$	$7,13^\circ$	$7,13^\circ$	---	---	---	---
B	0°	1°	1°	1°	1°	$8,93^\circ$	$8,93^\circ$	$7,13^\circ$	$7,13^\circ$	---	---	---	---
C	0°	1°	1°	1°	1°	$9,33^\circ$	$9,33^\circ$	$7,17^\circ$	$7,17^\circ$	---	---	---	---

A Tabela IV.43 apresenta as características do ensaio 27 e nesta acrescenta a avaliação do ângulo de fase para frequência do sistema em 60,10 Hz. Estabelecendo um paralelo com a Tabela IV.33 de mesma componente harmônica e frequência de 60Hz, pode-se fazer algumas análises. Os medidores A e C foram melhores nesta ocasião, ao contrário de D. Exceto o medidor B que teve seu resultado descartado todos os instrumentos tiveram bom desempenho neste teste.

Tabela IV.43 - Medições de ângulo de fase de componente harmônica de sequência negativa de 5ª ordem com frequência de 60,10Hz referente ao ensaio 27.

Fase	Padrão	A	Erro (°)	B	Erro (°)	C	Erro (°)	D	Erro (°)	E	Erro (°)	F	Erro (°)
A	0°	0°	0°	152°	152°	$6,72^\circ$	$6,72^\circ$	$0,75^\circ$	$0,75^\circ$	---	---	---	---
B	120°	121°	1°	132°	12°	$126,43^\circ$	$6,43^\circ$	$119,19^\circ$	$0,81^\circ$	---	---	---	---
C	240°	243°	3°	313°	73°	$246,13^\circ$	$6,13^\circ$	$239,25^\circ$	$0,75^\circ$	---	---	---	---

Com o objetivo de obter uma avaliação final dos medidores para ângulo harmônico considerou-se o maior desvio angular de fase das medições, e comparou-se com a Tabela

IV.2 que forneceu uma avaliação preliminar de cada ensaio. A partir deste procedimento obteve-se a média simples de todos os ensaios que envolveram a medição de ângulo. Comparada com a Tabela IV.3 gerou-se a Tabela IV.44 de conceitos finais da medição de ângulo harmônico. Pode-se observar que os medidores A e D foram excelentes no registro de ângulo. O medidor B teve desempenho bom. O medidor C obteve qualificação regular. Como já mencionado, os medidores E e F não apresentam valores de ângulo na sua tela, impossibilitando as suas qualificações.

Tabela IV.44 - Avaliação final dos medidores para ângulos das harmônicas.

Qualificação	Instrumentos
Excelente	A, D
Bom	B
Regular	C
Inferior	---

IV.5.4. Considerações Finais

Os testes mostraram que 5 dos 6 medidores avaliados obtiveram conceito final excelente em todos os tipos de VTCDs analisados quanto à magnitude. O medidor F além de 2 conceitos finais excelentes obteve um conceito final bom no teste de afundamentos trifásicos de tensão.

Para o caso de duração de VTCDs, dos 6 medidores avaliados 3 foram aprovados (A, B e D) e 3 reprovados (C, E e F). As VTCDs aplicadas se resumiram a afundamentos trifásicos e monofásicos de tensão bem como afundamentos e elevações trifásicas de tensão com diferentes magnitudes.

Para o caso de distorção harmônica de tensão, avaliou-se o percentual harmônico e o ângulo dos harmônicos. Todos os medidores obtiveram conceito final excelente para percentual harmônico. Porém, para avaliação de ângulo dos harmônicos o resultado foi um pouco diferente. Os medidores A e D tiveram conceito final excelente, B obteve conceito final bom e o medidor C teve conceito final regular. Os medidores E e F não registraram ângulo harmônico devido limitações de *software*.

O capítulo seguinte abordará a medição de potências elétricas e apresentará as características propostas de ensaios além dos seu resultados. Serão considerados nos testes simulações de cargas resistivas, capacitivas e indutivas bem como os desequilíbrios de tensão e distorções harmônicas. Neste próximo capítulo serão 5 medidores avaliados (A, B, C, D e E).

V. MEDIÇÃO DE POTÊNCIAS ELÉTRICAS

V.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O capítulo em questão apresentará vários ensaios aplicando tensões e correntes trifásicas em diferentes medidores de qualidade da energia elétrica, afim de avaliar a forma como os mesmos calculam as potências elétricas. Para tanto, foi utilizada a mesma fonte programável dos ensaios do capítulo anterior, contemplando as diversas situações de distúrbios em regime permanente, ou seja, desequilíbrios e distorções harmônicas. Como feito no capítulo 4, os medidores serão avaliados através dos valores obtidos, utilizando como valores de referência de um programa desenvolvido na plataforma computacional LabVIEW, validado através da comparação com (Almeida, 2008). Os medidores usados foram A, B, C, D e E.

V.2. ENSAIOS APLICADOS DE POTÊNCIA E RESULTADOS

Foram realizados 16 ensaios, contemplando diferentes situações, considerando como valores base 115V e 5A, valores comumente encontrados nos secundários de transformadores de potencial e transformadores de corrente. A fonte CMC 256-6 da Omicron possui os programas PQ *Signal Generator* e *Harmonics*, responsáveis pelas configurações de injeção de tensão e de corrente nos medidores. A Figura V.1 apresenta uma das telas do *software harmonics*.

Ainda nesta parte do trabalho serão discutidos os resultados de cada ensaio de potência e comparados com o valor de referência. Serão cinco tipos de potência analisadas além do fator de potência. Juntamente com as potências ativa e aparente, analisar-se-ão as potências não ativa de deslocamento (comumente denominada de potência reativa), a potência não ativa de desequilíbrio, bem como a potência não ativa de distorção.

Uma observação muito importante é de que os medidores não medem as potências não ativas mencionadas, de forma separada. O que eles informam se refere à potência não ativa 'total'. Quando aplicados distúrbios de QEE como distorções harmônicas, desequilíbrios de tensão ou mesmo testes simulando a presença de cargas não lineares, a potência não ativa medida dependendo das características do ensaio poderá ser associada às potências não ativas de deslocamento, desequilíbrio e distorção.

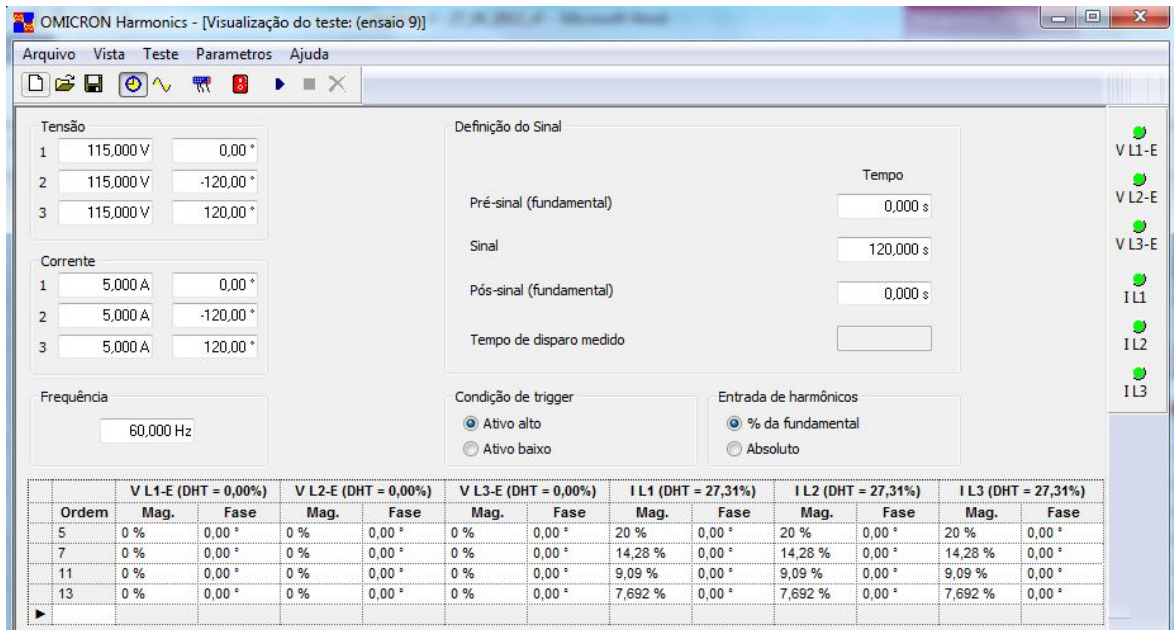


Figura V.1 - Programa Harmonics usado nos testes de potência.

Como mencionado, a plataforma LabVIEW foi utilizada para fornecer a referência de potência para comparar com os resultados obtidos dos medidores. A Figura V.2 ilustra parte do programa desenvolvido. A aba selecionada refere-se ao campo de magnitude de tensão. Outras três abas, como ÂNG.V, CORRENTE e ÂNG.I também são preenchidas para fornecer os valores de potência.

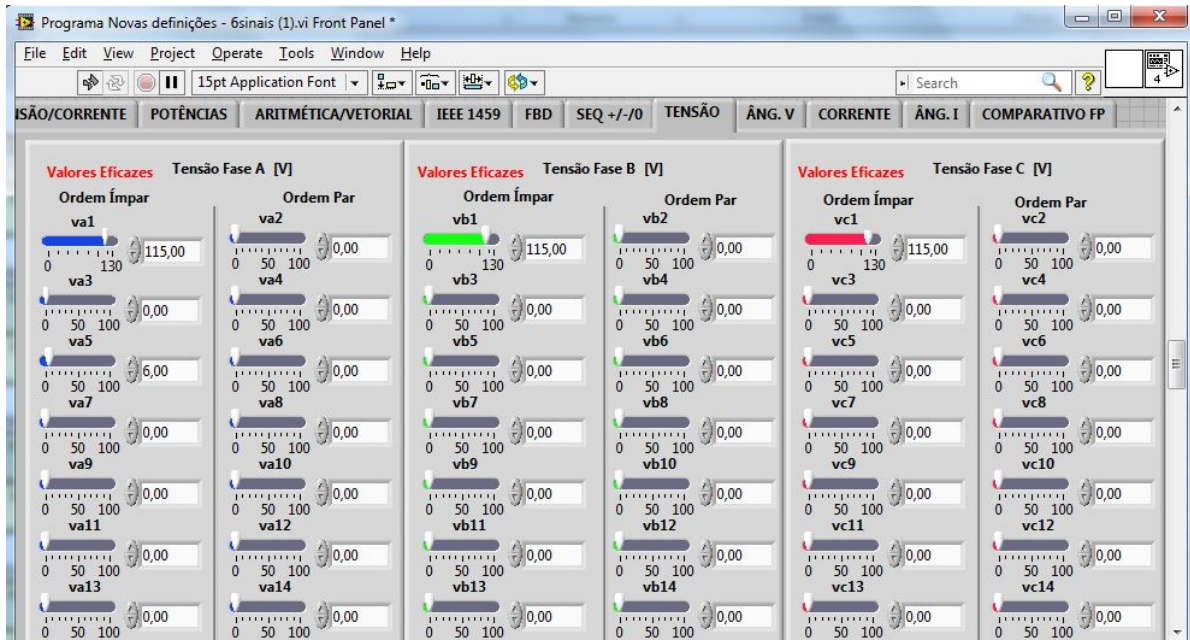


Figura V.2 – Software desenvolvido em plataforma LabVIEW, mostrando a maneira de inserir magnitude e ângulo para a tensão aplicada.

V.2.1. Ensaio - Sistema ideal

Aplicaram-se dois testes na situação ideal com valores nominais de tensão e corrente. Duas situações foram consideradas conforme tabelas V.1 e V.2: (i) a primeira com a corrente atrasada da tensão em 30° e, (ii) a corrente adiantada de 30° da tensão.

Tabela V.1 - Sistema com fontes senoidais, tensões equilibradas e carga linear indutiva.

Va (V)	Fase Va	Vb (V)	Fase Vb	Vc (V)	Fase Vc
115	0°	115	-120°	115	120°
Ia (A)	Fase Ia	Ib (A)	Fase Ib	Ic (A)	Fase Ic
5	-30°	5	-150°	5	90°

Tabela V.2 - Sistema com fontes senoidais, tensões equilibradas e carga linear capacitiva.

Va (V)	Fase Va	Vb (V)	Fase Vb	Vc (V)	Fase Vc
115	0°	115	-120°	115	120°
Ia (A)	Fase Ia	Ib (A)	Fase Ib	Ic (A)	Fase Ic
5	30°	5	-90°	5	150°

V.2.1.1. Resultados para Sistema com Fontes Senoidais e Carga Linear Indutiva

A potência ativa de referência é igual a 1,4938 kW. No caso de potência ativa o maior erro foi do medidor A com - 3,9421% para potência de 1,4350 kW, seguido de perto dos medidores B e C com potências iguais a 1,4370 kW e 1,5490 kW e erros de - 3,8082% e 3,6890% respectivamente. Os medidores D e E foram um pouco melhores marcando 0,0562% e 0,4759% para as potências de 1,4930 kW e 1,5010 kW. O teste apresentou excelente desempenho dos medidores.

A potência não ativa de deslocamento padrão foi comparada a potência não ativa apresentada pelos medidores. Essa associação foi feita pelo fato de existir apenas o distúrbio relacionado com deslocamento angular neste ensaio, ou seja, supõe-se que a potência não ativa registrada pelos medidores nada mais é do que a potência não ativa de deslocamento. A potência não ativa de deslocamento padrão equivale a 0,8625 kVAr. Os medidores A e B tiveram medição de 0,8150 kVAr e 0,8088 kVAr para os erros de - 5,5072% e -6,2261%, respectivamente. O medidor D registrou 0,8618 kVAr seguido de perto por C e E com 0,8500 kVAr e 0,8470 kVAr. Os erros dos medidores D, C e E foram

-0,0812%, -1,4493% e -1,7971%, respectivamente. Nos testes seguintes que forem simulados mais de um distúrbio, essa análise será inviável.

A potência aparente de referência vale 1,7250 kVA de acordo com a Figura V.3. A potência aparente foi medida por todos os medidores sendo o instrumento E de melhor resultado para a potência de 1,7240 kVA e erro de -0,0580%. O medidor D anotou potência de 1,7239 kVA com -0,0638% de erro. O instrumento C apresentou erro de 2,4348% e potência de 1,7670 kVA. Os medidores A e B foram semelhantes com -4,1739% e -4,2319% para as potências de 1,6530 kVA e 1,6520 kVA. No geral, os percentuais de erro encontrados foram baixos.

A Figura V.4 apresenta os valores de fator de potência medidos, comparados com o valor padrão, oriundo do software desenvolvido em LabVIEW. O valor do fator de potência padrão foi de 0,8660 indutivo. O medidor A registrou melhor fator de potência de 0,8681 e erro de 0,2425%. O medidor B mediu 0,8698, apresentando um erro de 0,4388%. Os medidores D e E se aproximaram da medição dos primeiros, obtendo valor igual a 0,8700 e erro de 0,4619%. O medidor C apresentou erro de 1,2702% com fator de potência de 0,8770. Como esperado os medidores se saíram bem no teste.

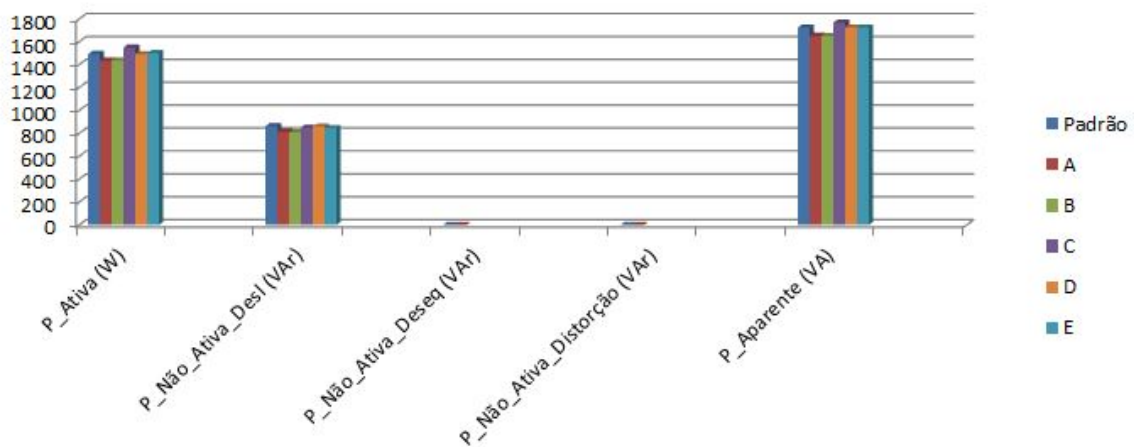


Figura V.3 - Resultados de medição de potência para sistema ideal e carga indutiva.

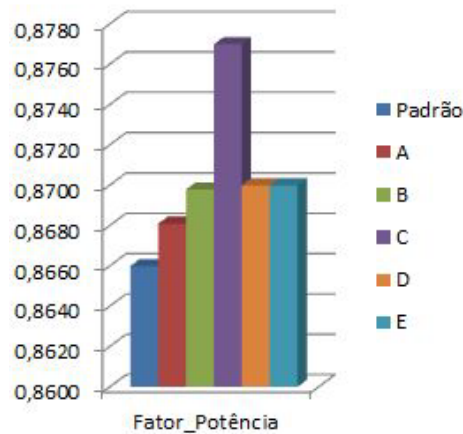


Figura V.4 - Resultados de medição de fator de potência para carga indutiva.

V.2.1.2. Resultados para Sistema com Fontes Senoidais e Carga Linear Capacitiva

A potência ativa padrão corresponde a 1,4938 kW. No caso de potência ativa A e B foram quase idênticos registrando erro de -4,4776% e -4,7453% respectivamente para as potências de 1,4270 kW e 1,4230 kW. O medidor C teve melhor desempenho que os dois primeiros e registrou erro de 1,1453% cuja potência foi de 1,5110 kW. D e E foram os melhores com erro de -0,0589% e -0,6620% cada para as potências de 1,4930 kW e 1,4840 kW, comprovando o bom desempenho dos medidores.

A potência não ativa de deslocamento padrão na Figura V.5 equivale a -0,8635 kVAr. A e B mediram -0,8370 kVAr e -0,8420 kVAr para os erros de -2,8870% e -2,3768%, respectivamente. O medidor C registrou -0,9170 kVAr enquanto D e E anotaram -0,8620 kVAr e -0,8770 kVAr. Os medidores D e E apresentaram erros de -0,0475% e 1,6812%, respectivamente. O medidor C apresentou o maior erro de 6,3188%.

A potência aparente de referência vale 1,7250 kVA. A potência aparente teve D e E iguais, com os melhores resultados sendo -0,0580% de erro para 1,7240 kVA de potência aparente. O medidor C obteve erro de 2,4928% para a potência de 1,7680 kVA. Em seguida A e B com -4,2319% e -4,2899% de erro para as potências de 1,6520 kVA e 1,6510 kVA, respectivamente. Os medidores tiveram bom desempenho.

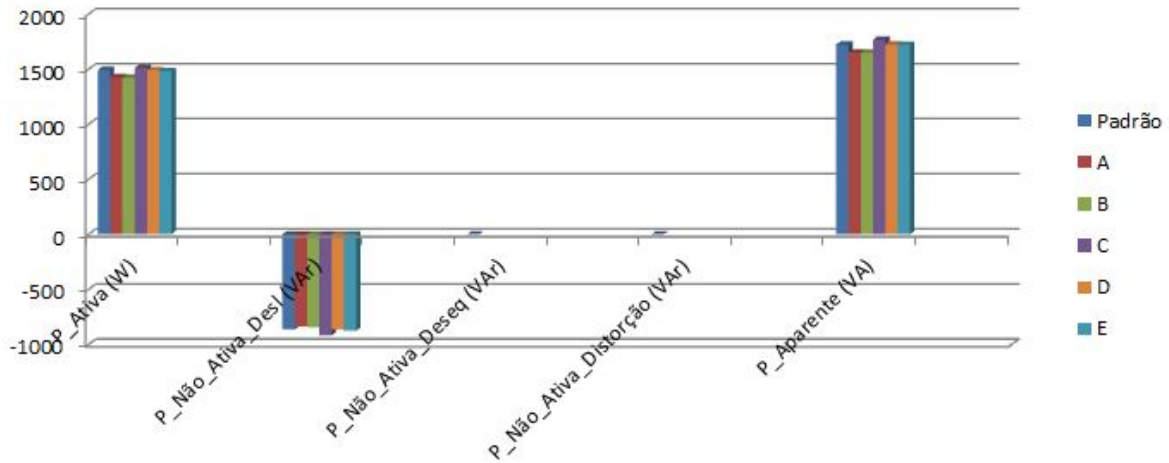


Figura V.5 - Resultados de medição de potência para sistema ideal e carga capacitiva.

A Figura V.6 mostra os resultados para fator de potência medido e padrão. O valor de referência foi de 0,8660. O medidor A foi o que mais aproximou da referência com fator de potência igual a 0,8639 e erro de -0,2425%. Logo em seguida veio nessa ordem D, B e C com fator de potência e erro de 0,8700, 0,4619%, 0,8618, -0,4850%, 0,8600 e -0,6928%, respectivamente. Por fim, o medidor C foi o ultimo na classificação com fator de 0,8550 e erro de -1,2702%. Os medidores tiveram bom desempenho no registro do fator de potência.

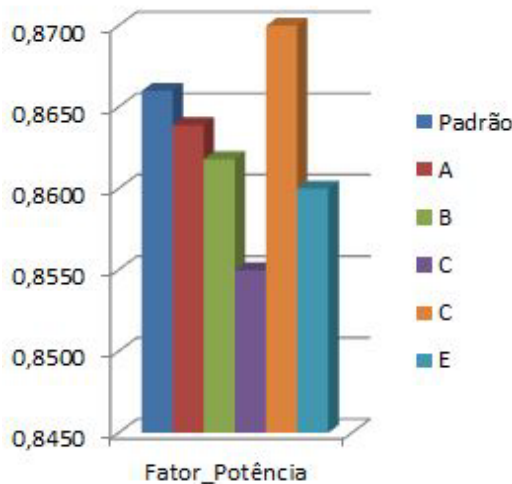


Figura V.6 - Resultados de medição de fator de potência com carga capacitiva.

V.2.2. Desequilíbrio na tensão e carga equilibrada

Os ensaios com desequilíbrio de tensão ocorreram sob as condições de carga

resistiva, indutiva e capacitiva. A magnitude e o ângulo das tensões trifásicas foram escolhidos com valores próximos da tensão nominal com o objetivo de produzir desequilíbrio de tensão referente a 2%, valor de referência obtido do PRODIST para a regulação do setor de distribuição de energia elétrica. Este percentual foi mantido em todos os ensaios. A Tabela V.3 mostra os valores aplicados no ensaio para carga resistiva, onde tensões e correntes permanecem em fase.

Tabela V.3 - Desequilíbrio na tensão de 2% e carga equilibrada resistiva.

Va (V)	Fase Va	Vb (V)	Fase Vb	Vc (V)	Fase Vc
115	0°	110,1	-120,51°	110,1	120,57°
Ia (A)	Fase Ia	Ib (A)	Fase Ib	Ic (A)	Fase Ic
5,12	0°	4,94	-120,51°	4,94	120,57°

A Tabela V.4 apresenta as fases B e C com tensões iguais a 110,1V e ângulos nas fases B e C de -120,51° e 120,57°, respectivamente, que, juntamente com módulo e ângulo da fase A, produzem o desequilíbrio de tensão. Por ser uma carga de característica indutiva a corrente se encontra atrasada da tensão.

Tabela V.4 - Desequilíbrio na tensão de 2% e carga equilibrada indutiva.

Va (V)	Fase Va	Vb (V)	Fase Vb	Vc (V)	Fase Vc
115	0°	110,1	-120,51°	110,1	120,57°
Ia (A)	Fase Ia	Ib (A)	Fase Ib	Ic (A)	Fase Ic
5,15	-30°	4,925	-150,51°	4,925	90,57°

Já no ensaio de carga capacitiva os valores de módulo e ângulo da tensão são mantidos, com a intenção de repetir o percentual de desequilíbrio. A carga capacitiva impõe um deslocamento da corrente de 30° a frente da tensão de acordo com a Tabela V.5.

Tabela V.5 - Desequilíbrio na tensão de 2% e carga equilibrada capacitiva.

Va (V)	Fase Va	Vb (V)	Fase Vb	Vc (V)	Fase Vc
115	0°	110,1	-120,51°	110,1	120,57°
Ia (A)	Fase Ia	Ib (A)	Fase Ib	Ic (A)	Fase Ic
5,15	30°	4,94	-90,51°	4,94	150,57°

V.2.2.1. Resultados para sistema com desequilíbrio de tensão e carga equilibrada resistiva

Para este ensaio, utilizando os resultados de referência obtidos do LabVIEW constata-se a existência de potências ativa, aparente e não ativa de desequilíbrio, demonstrando coerência com as características simuladas para o sistema. Através da Figura V.7 fica difícil visualizar, mas existe um pequeno valor de potência não ativa de desequilíbrio de 0,0062 kVAr. Essa potência de desequilíbrio se deve aos 2% de desequilíbrio de tensão aplicados ao sistema, conforme a Tabela V.3.

A potência ativa padrão corresponde a 1,6765 kW. No caso de potência ativa o maior erro ocorreu para o medidor A com -4,4489% para potência de 1,6020 kW. O medidor B apresentou erro de -4,2700%, com potência de 1,6050 kW. O medidor C obteve erro de 2,2910% registrando potência igual a 1,7150 kW. D e E obtiveram os melhores resultados com erros de -0,1151% e -0,0948% para as potências de 1,6740 kW e 1,6750 kW, respectivamente.

A potência não ativa de desequilíbrio vale 0,0062KVAR. O medidor D não conseguiu registrar. Os medidores A e B apresentaram potências de 0,0005 kVAr e 0,0003 kVAr respectivamente. Os medidores E e C registraram 0,0170 kVAr e -0,0380 kVAr. O medidor D não registrou potência não ativa.

A potência aparente de referência vale 1,6766 kVA. A potência aparente teve E e D com melhores resultados obtendo -0,0954% e -0,1157% e potências 1,6746 kVA e 1,6750 kVA. O medidor C obteve erro de 2,2903% para a potência de 1,7150 kVA. B e A conseguiram -4,2705% e -4,4495% com as potências de 1,6050 kVA e 1,6020 kVA.

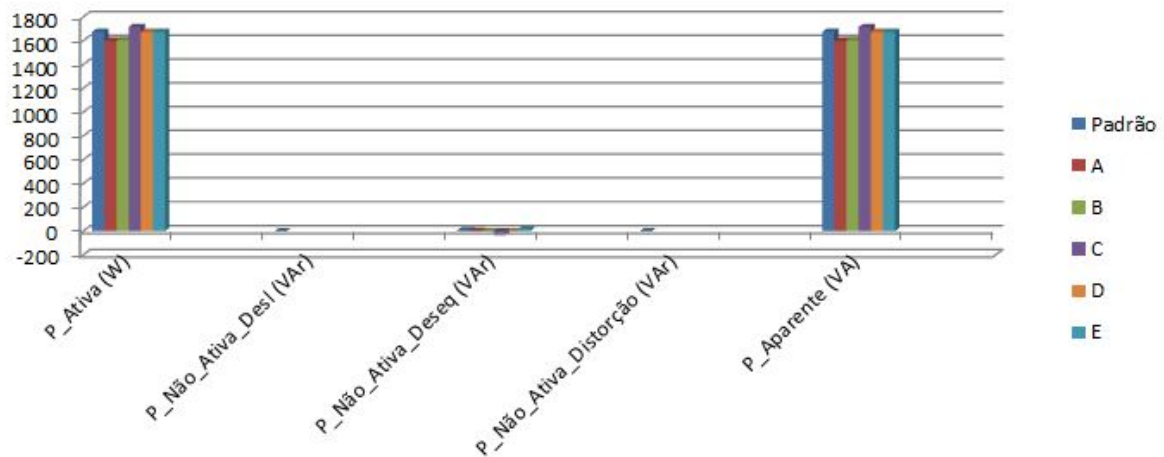


Figura V.7 - Resultados de medição de potência para sistema com desequilíbrio de tensão e carga equilibrada resistiva.

O fator de potência medido por todos os medidores foi de 1 e igual ao valor padrão, conforme Figura V.8.

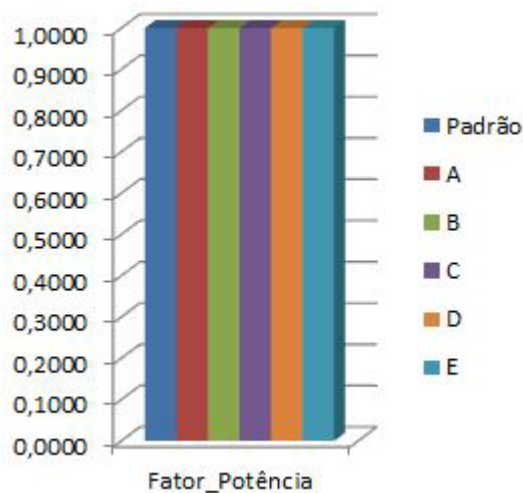


Figura V.8 - Resultados de medição de fator de potência com tensão desequilibrada e carga equilibrada resistiva.

V.2.2.2. Resultados para sistema com desequilíbrio de tensão e carga equilibrada indutiva

As potências registradas pelo LabVIEW foram ativa, aparente, não ativa de

deslocamento e não ativa de desequilíbrio, demonstrando coerência com as características simuladas para o teste. Considerando a não ocorrência de harmônicos, é natural que a potência não ativa de distorção não ocorra neste caso. Além da potência não ativa de deslocamento de 0,8383 kVAr existe uma pequena potência não ativa de desequilíbrio que não se percebe na Figura V.9, mas que vale 0,0009 kVAr. Nota-se que a influência da carga indutiva simulada foi maior do que o desequilíbrio de tensão considerado.

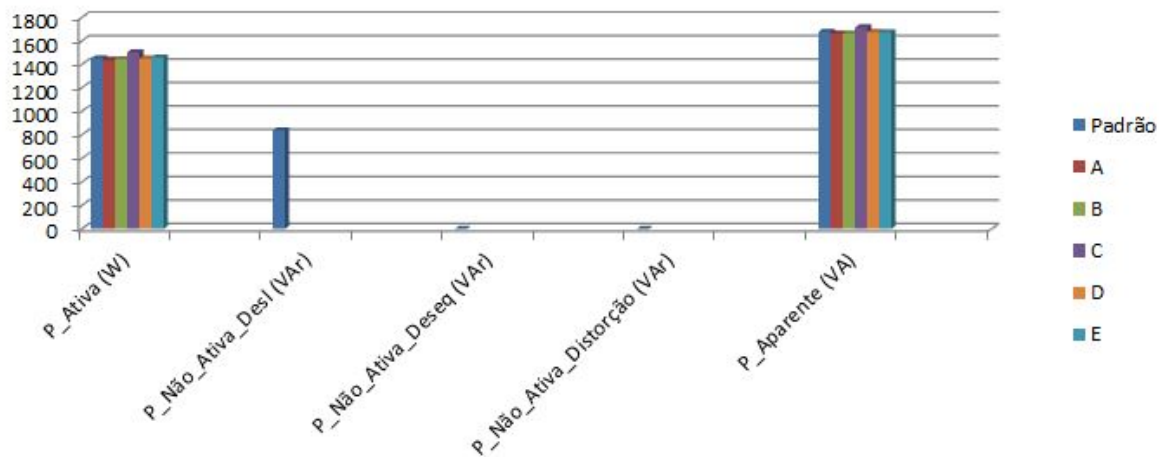


Figura V.9 - Resultados de medição de potência para sistema com desequilíbrio de tensão e carga equilibrada indutiva.

A potência ativa padrão corresponde a 1,4521 kW. Os medidores A, B, D, e E ficaram próximos nos resultados para potência ativa com -0,9021%, -0,5578%, -0,1446% e 0,4063% de erros, com potências de 1,4390 kW, 1,4440 kW, 1,4500 kW e 1,4580 kW, respectivamente. O medidor C apresentou erro um pouco maior de 3,5053% registrando a potência de 1,5030 kW.

A potência não ativa de deslocamento é igual a 0,8383 kVAr e a de desequilíbrio vale 0,0009 kVAr, as duas padrões obtidas do LabVIEW. Os medidores A, B, C, D e E registraram potência não ativa igual a 0,8313 kVAr, 0,8429 kVAr, 0,8250 kVAr, 0,8378 kVAr e 0,8230 kVAr, respectivamente. Não foi possível a comparação dessas potências com as potências não ativas padrões em função dos medidores não serem capazes de separar a potência não ativa.

A potência aparente de referência vale 1,7677 kVA. O medidor D ficou próximo de E com -0,1258% e -0,1634% respectivamente para as potências de 1,6740 kVA e 1,6746 kVA. Os medidores A e B também ficaram próximos com -0,9387% e -0,8791% e

potências de 1,6610 kVA e 1,6620 kVA. O teste com bons resultados é concluído com o medidor C que registrou erro de 2,2818% para a potência de 1,7150 kVA.

Os registros de fator de potência dos medidores na Figura V.10 foram bons com A e B sendo os que mais se aproximaram da referência com fator de potência e erro de 0,8600, 0,0000%, 0,8690 e 0,3464%, respectivamente. D e E foram iguais com valores de 0,8700 para fator de potência e 0,4619% de erro. O medidor C teve erro de 1,2702% para um fator de potência aceitável de 0,8770.

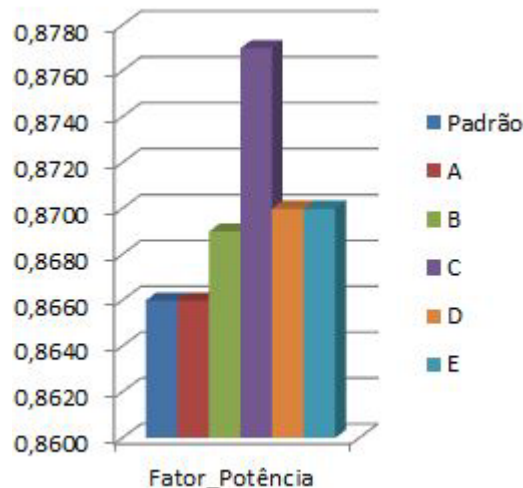


Figura V.10 - Resultados de medição de fator de potência com tensão desequilibrada e carga equilibrada indutiva.

V.2.2.3. Resultados para sistema com desequilíbrio de tensão e carga equilibrada capacitiva

As potências de referência registradas pelo LabVIEW nesse teste foram: potência ativa, aparente, não ativa de deslocamento e não ativa de desequilíbrio, demonstrando coerência com as características simuladas para o teste, semelhante ao caso anterior. Além da potência não ativa de deslocamento padrão de -0,8400 kVAr existe uma pequena potência não ativa de desequilíbrio que não é muito perceptível na Figura V.11, com valor de 0,0015 kVAr. Novamente, nota-se que a carga capacitiva simulada influenciou mais do que o desequilíbrio de tensão aplicado.

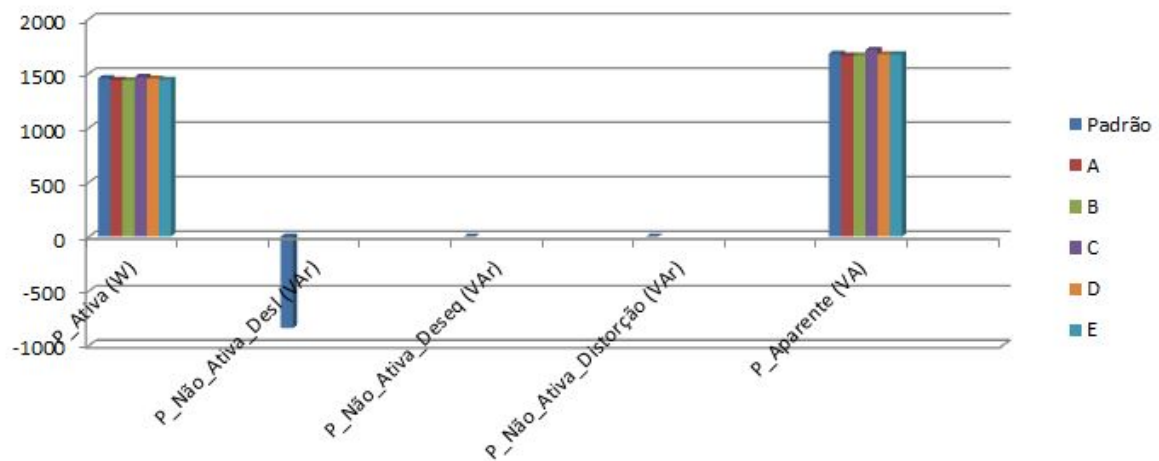


Figura V.11 - Resultados de medição de potência para sistema com desequilíbrio de tensão e carga equilibrada capacitiva.

A potência ativa padrão corresponde a 1,4549KW. Os medidores A e B tiveram desempenhos parecidos e apresentaram potência ativa de 1,4390 kW e 1,4370 kW com erros de -1,0969%, e -1,2344% respectivamente. O medidor C foi melhor que A e B e teve erro de 0,7588% para a potência de 1,4660 kW. Os medidores D e E apresentaram erro ainda menor que os demais com -0,3017 % e -0,9595 % para as potências de 1,4505 kW e 1,4410 kW, respectivamente.

Os valores padrões para as potências não ativas de deslocamento e desequilíbrio foram -0,8707 kVAr e 0,0060 kVAr, respectivamente. Os medidores registraram os valores de potência não ativa iguais a -0,8310 kVAr, -0,8409 kVAr, -0,8900 kVAr, -0,8368 kVAr e -0,8510 kVAr, respectivamente na sequência A, B, C, D e E. Novamente a questão do medidor não separar a contribuição do desequilíbrio somado a natureza capacitiva da carga dificulta uma análise melhor.

A potência aparente de referência vale 1,6800KVA. Analisando potência aparente os medidores D e E tiveram menores percentuais de erro com -0,3220% e -0,3595% e potências iguais a 1,6746KVA e 1,6740KVA respectivamente. O medidor B também teve erro próximo dos primeiros com -0,8952% para a potência de 1,6650KVA. Os instrumentos A e C apresentaram erros também aceitáveis de -1,0143% e 2,0809% para as potências de 1,6630KVA e 1,7150KVA.

O medidor A foi o que obteve melhor registro do fator de potência como se observa

na Figura V.12. Em seguida veio B com fator de potência de 0,8631 e erro de -0,3349%. O medidor D teve fator de 0,8700 e obteve erro de 0,4619% seguido por E com fator de potência de 0,8600 e erro de -0,6928%. Fechando o teste mais um bom resultado agora conferido ao medidor C com erro de -1,2702% e fator de 0,8550.

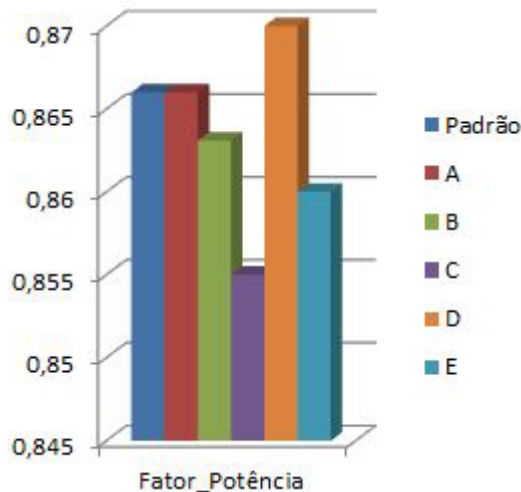


Figura V.12 - Resultados de medição de fator de potência com tensão desequilibrada e carga equilibrada capacitiva.

V.2.3. Equilíbrio na tensão e carga desequilibrada

Novamente, nestes ensaios, a carga será vista nas condições resistiva, indutiva e capacitiva. O desequilíbrio na carga ocorre no módulo das correntes. A Tabela V.6 é um exemplo de correntes e tensões em fase caracterizando situação de carga resistiva. As tensões fase-neutro são configuradas com valor nominal.

Tabela V.6 - Condição de equilíbrio de tensão e carga resistiva desequilibrada.

Va (V)	Fase Va	Vb (V)	Fase Vb	Vc (V)	Fase Vc
115	0°	115	-120°	115	120°
Ia (A)	Fase Ia	Ib (A)	Fase Ib	Ic (A)	Fase Ic
4,375	0°	5,625	-120°	5	120°

A Tabela V.7 ilustra o exemplo de carga indutiva na qual a corrente encontra-se atrasada da tensão em 30°. Va, Vb e Vc equilibradas e ajustadas em 115V.

Tabela V.7 - Condição de equilíbrio de tensão e carga indutiva desequilibrada.

Va (V)	Fase Va	Vb (V)	Fase Vb	Vc (V)	Fase Vc
115	0°	115	-120°	115	120°
Ia (A)	Fase Ia	Ib (A)	Fase Ib	Ic (A)	Fase Ic
4,375	-30°	5,625	-150°	5	90°

A Tabela V.8 apresenta condição de carga capacitiva onde a corrente encontra-se adiantada da tensão em 30°. As tensões são equilibradas com magnitudes nominais.

Tabela V.8 - Condição de equilíbrio de tensão e carga capacitiva desequilibrada.

Va (V)	Fase Va	Vb (V)	Fase Vb	Vc (V)	Fase Vc
115	0°	115	-120°	115	120°
Ia (A)	Fase Ia	Ib (A)	Fase Ib	Ic (A)	Fase Ic
4,375	30°	5,625	-90°	5	150°

V.2.3.1. Resultados para equilíbrio de tensão e carga resistiva desequilibrada

As potências de referência registradas pelo LabVIEW para estes testes foram ativa, aparente e não ativa de desequilíbrio, conforme as características simuladas no ensaio e observadas na Figura V.13. Pela simulação, a potência não ativa de desequilíbrio atingiu 0,1760 kVAr.

A potência ativa padrão corresponde a 1,7250KW. Os medidores A e B tiveram erro de -4,1739%, e -4,3478% para as potências ativas de 1,6530 kW e 1,6500 kW, sendo aceitável os seus resultados. O medidor C foi um pouco melhor e sua potência ativa de 1,7670 kW gerou erro de 2,4348%. Os medidores D e E foram os que mais se aproximaram da referência com as potências de 1,7238KW e 1,7210KW e erros iguais a -0,0690% e -0,2319%.

Os medidores registraram valores para potência não ativa que especificamente neste caso associam-se com a potência não ativa de desequilíbrio padrão, cujo valor, como já mencionado, é igual a 0,1760 kVAr. Os valores de potência registrados nos medidores ficaram todos distantes do desejado. Os valores de A, B, C e E foram -0,01400 kVAr, -0,02000 kVAr, 0,04000 kVAr e 0,01800 kVAr. O medidor D não registrou.

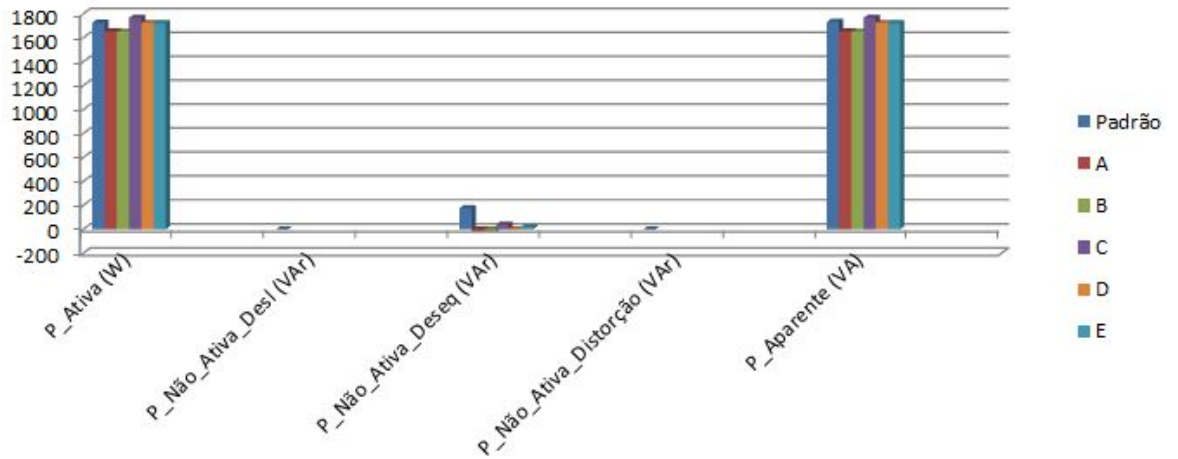


Figura V.13 - Resultados de medição de potência para sistema equilibrado de tensão e carga resistiva desequilibrada.

A potência aparente de referência vale 1,7339 kVA. Para a potência aparente, os medidores A e B apresentaram os erros mais altos, porém atendendo as expectativas. Os melhores instrumentos no teste foram D e E com percentuais abaixo de 1%. O medidor C ficou entre os dois grupos. Os valores de potência de A, B, C, D e E foram 1,7239 kVA, 1,7210 kVA, 1,7670 kVA, 1,6530 kVA, 1,6500 kVA com erros iguais a 4,6691%, -4,8421%, 1,9055%, 0,5025%, -0,7474%, respectivamente.

Observa-se neste teste que todos os medidores enxergaram o sistema simulado como tendo carga equilibrada, ou seja, fator de potencia unitário, conforme a Figura V.14 e obtiveram erro de 0,5025%, diferentemente da referência obtida da simulação que teve fator de potência igual a 0,9950. Os valores encontrados são aceitáveis.

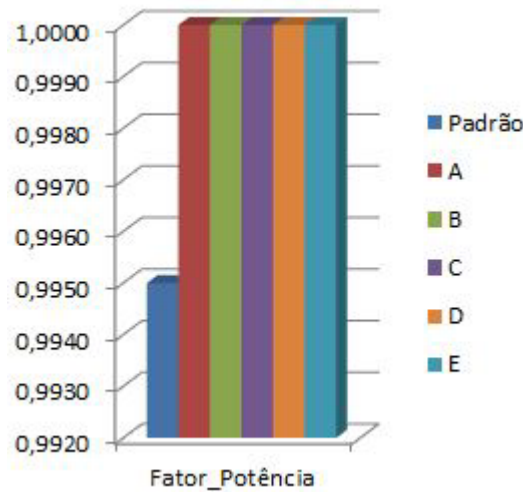


Figura V.14 - Resultados de medição de fator de potência com tensão equilibrada e carga resistiva desequilibrada.

V.2.3.2. Resultados para equilíbrio de tensão e carga indutiva desequilibrada

As potências de referência registradas pelo LabVIEW para estes testes foram ativa, aparente, não ativa de deslocamento e não ativa de desequilíbrio sendo coerentes com a característica do ensaio e observadas no gráfico de barras da Figura V.15. Pela simulação a potência não ativa de deslocamento padrão atingiu 0,8625 kVAr e a potência não ativa de desequilíbrio foi de 0,1760 kVAr.

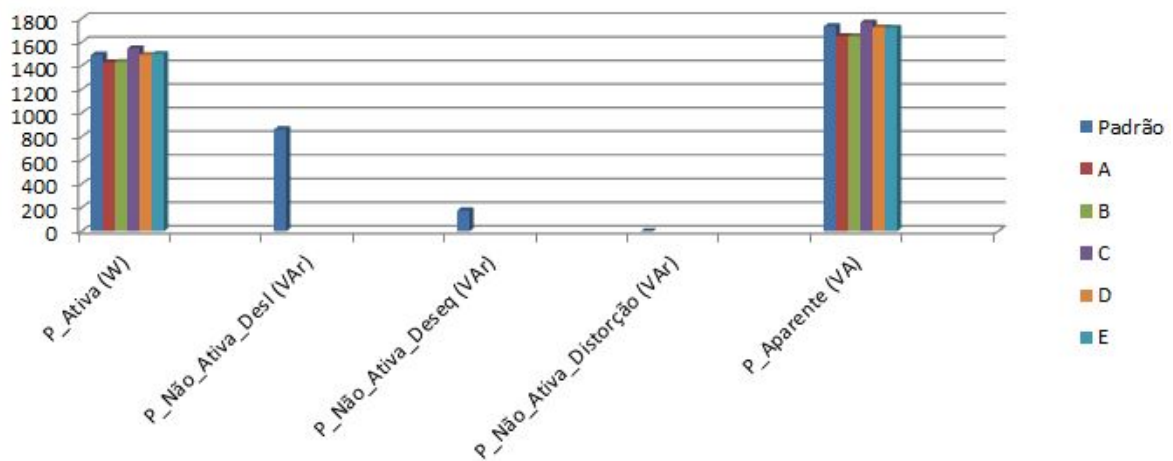


Figura V.15 - Resultados de medição de potência para sistema equilibrado de tensão e carga indutiva desequilibrada.

A potência ativa padrão corresponde a 1,4938 kW. Os medidores A e B foram

quase iguais e apresentaram erro para potência ativa de -4,3437% e -4,0759% para os valores de 1,4290 kW e 1,4330 kW, respectivamente. O medidor C foi mais além e registrou 1,5480 kW com erro de 3,6221%. Os medidores D e E também ficaram próximos e apresentaram erro ainda menor que os demais com -0,0850% e -0,4090% para as potências de 1,4926 kW e 1,5000 kW, respectivamente, atendendo as expectativas gerais.

A potência não ativa de deslocamento padrão é igual a 0,8625 kVAr e a potência não ativa de desequilíbrio vale 0,0176 kVAr. Os medidores A, B, C, D e E mediram as seguintes potências não ativas 0,8178 kVAr, 0,8100 kVAr, 0,8480 kVAr, 0,8616 kVAr e 0,8450 kVAr. Com se sabe os medidores não informam quanto desta potência não ativa refere-se à potência não ativa de deslocamento e potência não ativa de desequilíbrio, impossibilitando a comparação com os valores padrões.

A potência aparente de referência vale 1,7339 kVA. Os medidores D e E tiveram menores percentuais de erro para potência aparente com -0,6038% e -0,6898% e potências de 1,7234 kVA e 1,7220 kVA respectivamente. O medidor C registrou potência aparente de 1,7650 kVA e erro de 1,7901%. Os instrumentos A e B apresentaram erros maiores, porém aceitáveis: -4,8421% e -4,8998% para as potências de 1,650 kVA e 1,6490 kVA finalizando com bons resultados o ensaio.

O valor de referência do fator de potência no teste equivale a 0,8620. O medidor A teve erro de 0,5336% e fator igual 0,8660. O medidor B teve fator de potência um pouco maior de 0,8699 e erro de 0,9165%. O medidor C que mais se distanciou do padrão registrou fator de 0,8770 e erro de 1,7401%, que é aceitável. Os medidores D e E foram iguais e registraram fator de potência igual a 0,8700 e erro de 0,9281%, conforme mostra a figura V.16.

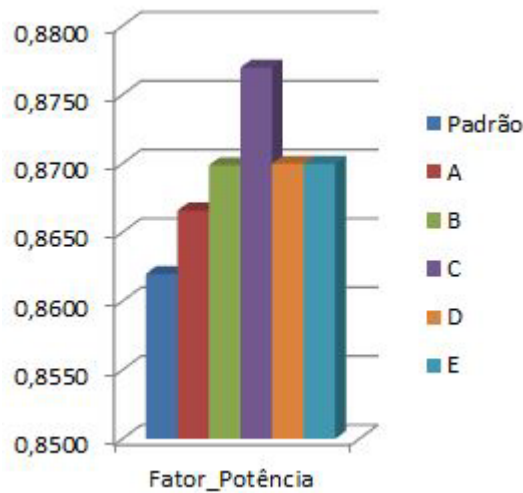


Figura V.16 - Resultados de medição de fator de potência com tensão equilibrada e carga indutiva desequilibrada.

V.2.3.3. Resultados para equilíbrio de tensão e carga capacitiva desequilibrada

As potências de referência registradas pelo LabVIEW nesse teste foram às mesmas do teste anterior, ou seja, ativa, aparente, não ativa de deslocamento e não ativa de desequilíbrio. A única diferença é a inversão do sinal da potência não ativa de deslocamento padrão que agora vale -0,8625 kVAr. A potência não ativa de desequilíbrio permaneceu valendo 0,1760 kVAr.

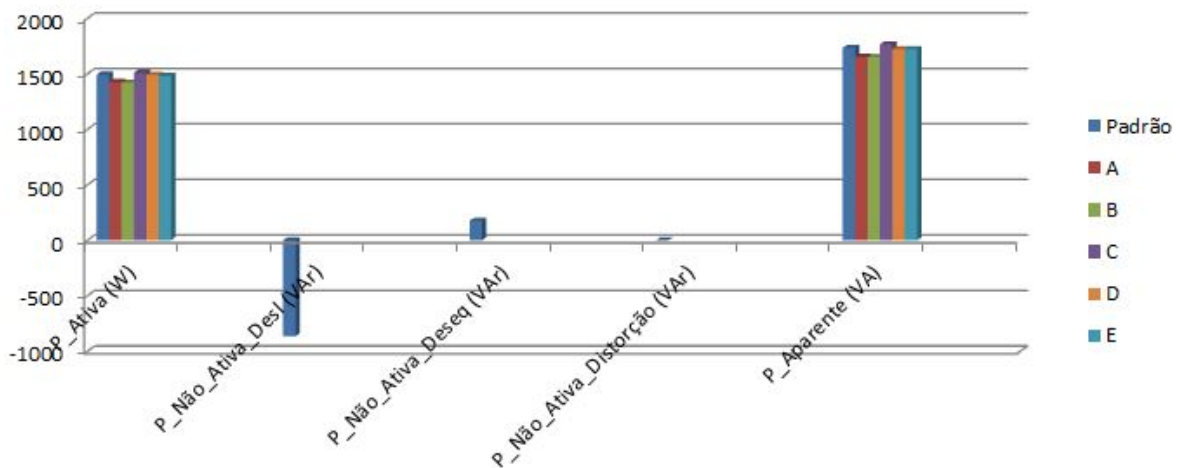


Figura V.17 - Resultados de medição de potência para sistema equilibrado de tensão e carga capacitiva desequilibrada.

A potência ativa padrão corresponde a 1,4938 kW. Os medidores na grande maioria apresentaram valores menores de potência ativa se comparados com o teste anterior. A e B apresentaram erro para potência ativa de -4,4776%, e -4,8792% e potências de 1,4270 kW e 1,4210 kW respectivamente. O medidor C registrou 1,5100 kW e erro de 1,0784%. Os medidores D e E foram melhores que os demais e tiveram erro de -0,0663% e -0,7290% para as potências de 1,4929 kW e 1,4830 kW, respectivamente. Os resultados foram positivos.

A potência não ativa de deslocamento padrão é igual a -0,8625 kVAr enquanto que a potência não ativa de desequilíbrio vale 0,1760 kVAr. Este caso é semelhante ao do teste passado e não se conclui absolutamente nada para as potências não ativa da Figura V.17. Os valores de potência reativa assinaladas pelos medidores foram de -0,8370 kVAr, -0,8420 kVAr, 0,8480 kVAr, -0,8760 kVAr e -0,9170 kVAr.

A potência aparente de referência vale 1,7339 kVA. As potências aparentes nesse teste superaram as do teste passado com uma ligeira diferença. Os medidores D e E tiveram os melhores índices de erro para potência aparente com -0,5802% e -0,6898% e potências iguais a 1,7239 kVA e 1,7220 kVA respectivamente. Com uma potência aparente de 1,7670 kVA o medidor C obteve erro de 1,9055%. Os instrumentos A e B apresentaram erros também aceitáveis de -4,6114% e -4,7268% para as potências de 1,6540 kVA e 1,6520 kVA finalizando o ensaio de forma positiva em linhas gerais.

O *software* desenvolvido no LabVIEW forneceu o valor de fator de potência de 0,8620. O medidor B foi o que se aproximou mais da referência com fator de 0,8617 e erro de -0,0348%. O medidor A registrou fator de potência igual a 0,8639 obtendo erro de 0,2204%. O medidor E se aproximou de A e obteve erro de -0,2320% para um fator de 0,8600. Pela Figura V.18 os medidores C e D aparentam ter medido muito fora, mas na verdade cada um teve erro de -0,8121 % e 0,9281% com fator de potência de 0,8550 e 0,8700 respectivamente.

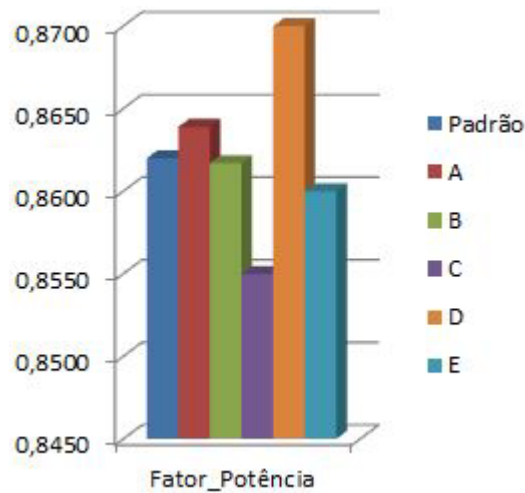


Figura V.18 - Resultados de medição de fator de potência com tensão equilibrada e carga capacitiva desequilibrada.

V.2.4. Sistema com fonte equilibrada e carga linear equilibrada -retificadora de seis pulsos equilibrada

A Tabela V.9 apresenta valores de tensão nominal, corrente nominal e corrente harmônica. A tensão nominal equilibrada aplicada é de 115V. O valor nominal de corrente injetado é de 4,8235A e os harmônicos de corrente I_{a5} , I_{a7} , I_{a11} e I_{a13} têm seus percentuais estabelecidos com base neste valor nominal (Ahmed, 2000). A ordem dos harmônicos apresentados na Tabela se deve a natureza da carga retificadora de seis pulsos.

Tabela V.9 - Equilíbrio de tensão e carga retificadora equilibrada.

Va1 (V)	Fase Va1	Vb1 (V)	Fase Vb1	Vc1 (V)	Fase Vc1
115	0°	115	-120°	115	120°
Ia1 (A)	Fase Ia1	Ib1 (A)	Fase Ib1	Ic1 (A)	Fase Ic1
4,8235	0°	4,8235	-120°	4,8235	120°
Ia5 (A)	Fase Ia5	Ib5 (A)	Fase Ib5	Ic5 (A)	Fase Ic5
0,8567	0°	0,8567	120°	0,8567	-120°
Ia7 (A)	Fase Ia7	Ib7 (A)	Fase Ib7	Ic7 (A)	Fase Ic7
0,6887	0°	0,6887	-120°	0,6887	120°
Ia11 (A)	Fase Ia11	Ib11 (A)	Fase Ib11	Ic11 (A)	Fase Ic11
0,4384	0°	0,4384	120°	0,4384	-120°
Ia13 (A)	Fase Ia13	Ib13 (A)	Fase Ib13	Ic13 (A)	Fase Ic13
0,3709	0°	0,3709	-120°	0,3709	120°

V.2.4.1. Resultados para equilíbrio de tensão e carga retificadora de 6 pulsos equilibrada

As potências de referência registradas pelo LabVIEW nesse teste, foram ativa, aparente e não ativa de distorção. Pela simulação, a potência não ativa de distorção atingiu 0,4893 kVAr.

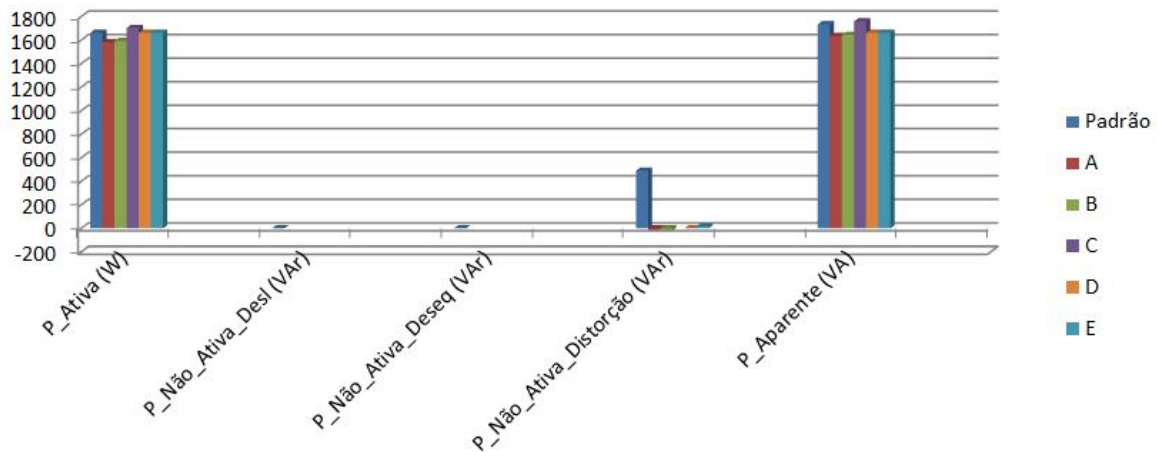


Figura V.19 - Resultados de medição de potência para sistema equilibrado de tensão e carga retificadora de 6 pulsos equilibrada.

A potência ativa padrão foi de 1,6641 kVA. Os medidores A e B apresentaram os maiores erros de potência ativa, ainda assim dentro de uma faixa de erro aceitável com índices de -4,8741%, e -4,3332% para os valores de 1,5830 kW e 1,5920 kW, respectivamente. O medidor C um pouco melhor mediu 1,7040 kW com erro de -2,3971%. Os medidores D e E apresentaram erro ainda menor que os demais com -0,1142% e -0,1268% para as potências de 1,6622 kW e 1,6620 kW sendo positivo o teste de forma geral.

Os medidores apresentaram valores de potência não ativa muito diferente da referência de 0,4893 kVAr. Os medidores A e B assinalaram potência de -0,0131 kVAr e -0,0192 kVAr. O medidor C foi o que mais se aproximou da referência e marcou 0,4390 kVAr enquanto que E apresentou 0,0170 kVAr. O medidor D não registrou potência não ativa.

A potência aparente padrão foi de 1,7350 kVA. Os medidores D e E que normalmente, apresentam bom desempenho agora obtiveram índices maiores de erro como por exemplo -4,2004% e -4,1548% para os valores de 1,6622 kVA e 1,6630 kVA

respectivamente. O medidor C foi o melhor e registrou potência aparente de 1,7590 kVA com erro de 1,3780%. Os instrumentos A e B foram razoáveis e anotaram erro de -5,7686% e -5,2499% para as potências de 1,6350 kVA e 1,6440 kVA.

Os medidores A e B nesse exemplo tiveram resultados iguais para fator de potência com 0,9685 e erro de 0,9906% observados na Figura V.20. O medidor C foi um pouco melhor que os dois primeiros e mediu um fator igual a 0,9680 e erro de 0,9385%. O medidor D não enxergou a existência de distorções harmônicas no sistema e anotou fator de potência de 1,00 com erro de 4,2753%. O medidor E se aproximou da maioria e registrou fator de potência de 0,9700, com erro de 1,1470%. Concluiu-se que mesmo com o erro do medidor D, todos os medidores tiveram bom desempenho o teste.

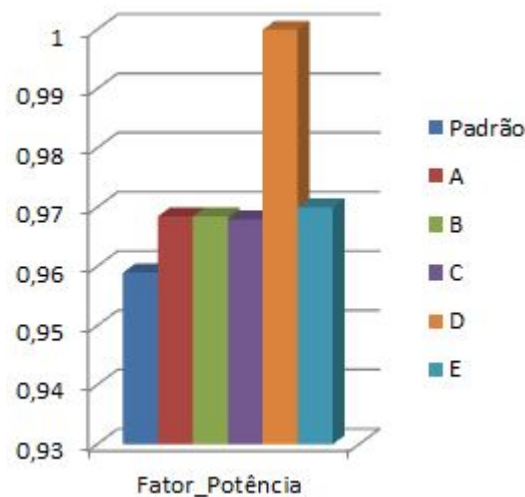


Figura V.20 - Resultados de medição de fator de potência com tensão equilibrada e carga retificadora de 6 pulsos equilibrada.

V.2.5. Sistema com fonte equilibrada e carga não linear equilibrada - três retificadores monofásicos

A Tabela V.10 apresenta os valores nominais de tensão e corrente valendo 115V e 5A respectivamente bem como as componentes harmônicas de 3^a, 5^a, 7^a, 9^a, 11^a e 13^a ordens de sequências positiva, negativa e zero. Os percentuais harmônicos de corrente adotados foram aproximadamente de 73%, 39,5%, 8,5%, 9,5%, 12,5% e 5,5%. Usaram-se três retificadores monofásicos como carga equilibrada.

Tabela V.10 - Ensaio simulando sistema de tensões equilibradas e três retificadores monofásicos como carga equilibrada.

Va1 (V)	Fase Va1	Vb1 (V)	Fase Vb1	Vc (V)	Fase Vc1
115	0°	115	-120°	115	120°
Ia1 (A)	Fase Ia1	Ib1 (A)	Fase Ib1	Ic1 (A)	Fase Ic1
3,45	0°	3,45	-120°	3,45	120°
Ia3 (A)	Fase Ia3	Ib3 (A)	Fase Ib3	Ic3 (A)	Fase Ic3
2,526	0°	2,526	0°	2,526	0°
Ia5 (A)	Fase Ia5	Ib5 (A)	Fase Ib5	Ic5 (A)	Fase Ic5
1,358	0°	1,358	120°	1,358	-120°
Ia7 (A)	Fase Ia7	Ib7 (A)	Fase Ib7	Ic7 (A)	Fase Ic7
0,2983	0°	0,2983	-120°	0,2983	120°
Ia9 (A)	Fase Ia9	Ib9 (A)	Fase Ib9	Ic9 (A)	Fase Ic9
0,3255	0°	0,3255	0°	0,3255	0°
Ia11 (A)	Fase Ia11	Ib11 (A)	Fase Ib11	Ic11 (A)	Fase Ic11
0,4344	0°	0,4344	120°	0,4344	-120°
Ia13 (A)	Fase Ia13	Ib13 (A)	Fase Ib13	Ic13 (A)	Fase Ic13
0,1895	0°	0,1895	-120°	0,1895	120°

V.2.5.1. Resultados para equilíbrio de tensão e carga equilibrada com três retificadores monofásicos

As potências de referência registradas pelo LabVIEW nesse teste foram ativa, aparente e não ativa de distorção. Pela simulação a potência não ativa de distorção chegou a 1,0143 kVAr observado na Figura V.21.

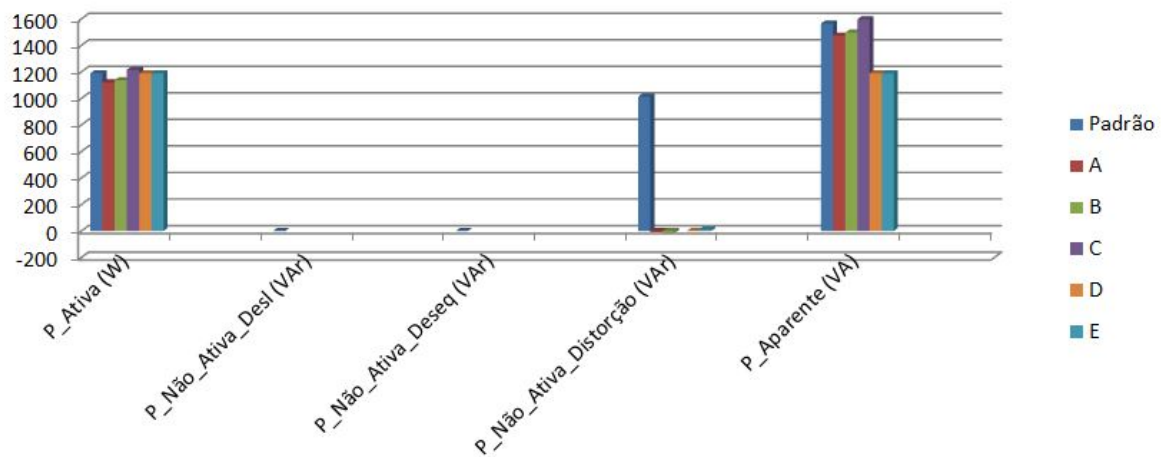


Figura V.21 - Resultados de medição de potência para sistema equilibrado de tensão e carga equilibrada com três retificadores monofásicos.

A potência ativa padrão foi de 1,1902 kVA. Os medidores A e B apresentaram erro

para potência ativa de -5,7341%, e -4,3898% para os valores de 1,1220 kW e 1,1380 kW respectivamente. No ensaio anterior que simulava uma carga retificadora de seis pulsos o erro foi menor. O medidor C registrou 1,2170 kW e erro de 2,2474% melhorando seu desempenho comparado ao teste anterior. Os medidores D e E se aproximaram dos resultados anteriores com erro de -0,1168% e -0,1050% para as potências de 1,1888 kW e 1,1890 kW, respectivamente, demonstrando bom desempenho dos medidores no teste.

Semelhante ao teste anterior as potências não ativas ficaram diferentes do esperado. O LabVIEW forneceu potência não ativa de distorção de 1,0143 kVAr. Os medidores A e B registraram potência de -0,0091 kVAr e -0,0140 kVAr. O medidor C foi o único a registrar potência com valor próximo de 1,0350 kVAr e E registrou potência igual a 0,0120 kVAr. O medidor D não registrou potência não ativa. Os medidores em geral não obtiveram sucesso nesse caso.

A potência aparente padrão foi de 1,5638 kVA. Os medidores D e E apresentaram erro muito grande de potência aparente com -23,9820% e -23,9682% para os valores de 1,1888 kVA e 1,1890 kVA, respectivamente. O medidor C registrou potência aparente de 1,5980 kVA e erro de 2,1844%. Os instrumentos A e B foram razoáveis e mediram com erro de -5,7448% e -4,3380% para as potências de 1,4740 kVA e 1,4960 kVA.

A Figura V.22 apresenta os medidores A e B, que foram os melhores no registro do fator de potência com 0,7614 e 0,7611 para os valores de erro de 0,0526% e 0,0131%. O medidor C registrou 0,7620 com erro de 0,1314%. Os medidores D e E registraram fator de potência unitário para o erro de 31,4060%.

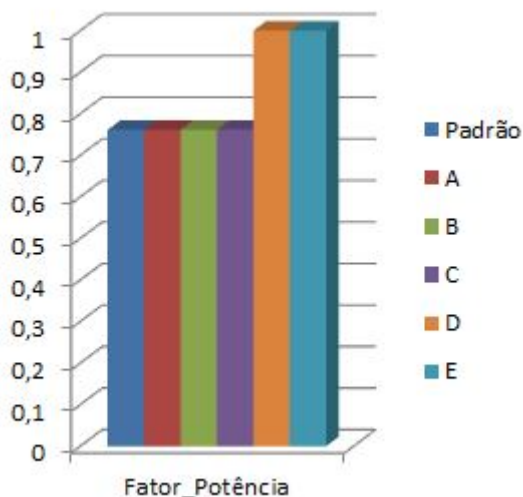


Figura V.22 - Resultados de medição de fator de potência com tensão equilibrada e carga com três retificadores monofásicos equilibrados.

V.2.6. Sistema com fonte equilibrada e não senoidal e carga equilibrada resistiva

A Tabela V.11 apresenta a proposta de ensaio para um sistema trifásico de tensões e correntes equilibradas com valores nominais de tensão e corrente.

Tabela V.11 - Equilíbrio de tensão do sistema com ocorrência de distorções harmônicas em carga equilibrada resistiva.

Va1 (V)	Fase Va1	Vb1 (V)	Fase Vb1	Vc1 (V)	Fase Vc1
115	0°	115	-120°	115	120°
Va3 (V)	Fase Va3	Vb3 (V)	Fase Vb3	Vc3 (V)	Fase Vc3
7,475	0°	7,475	0°	7,475	0°
Va5 (V)	Fase Va5	Vb5 (V)	Fase Vb5	Vc5 (V)	Fase Vc5
8,625	0°	8,625	120°	8,625	-120°
Va7 (V)	Fase Va7	Vb7 (V)	Fase Vb7	Vc7 (V)	Fase Vc7
7,475	0°	7,475	-120°	7,475	120°
Va9 (V)	Fase Va9	Vb9 (V)	Fase Vb9	Vc9 (V)	Fase Vc9
2,3	0°	2,3	0°	2,3	0°
Va11 (V)	Fase Va11	Vb11 (V)	Fase Vb11	Vc11 (V)	Fase Vc11
5,175	0°	5,175	120°	5,175	-120°
Va13 (V)	Fase Va13	Vb13 (V)	Fase Vb13	Vc13 (V)	Fase Vc13
4,6	0°	4,6	-120°	4,6	120°
Ia1 (A)	Fase Ia1	Ib1 (A)	Fase Ib1	Ic1 (A)	Fase Ic1
5	0°	5	-120°	5	120°
Ia3 (A)	Fase Ia3	Ib3 (A)	Fase Ib3	Ic3 (A)	Fase Ic3
0,325	0°	0,325	0°	0,325	0°
Ia5 (A)	Fase Ia5	Ib5 (A)	Fase Ib5	Ic5 (A)	Fase Ic5
0,375	0°	0,375	120°	0,375	-120°
Ia7 (A)	Fase Ia7	Ib7 (A)	Fase Ib7	Ic7 (A)	Fase Ic7
0,325	0°	0,325	-120°	0,325	120°
Ia9 (A)	Fase Ia9	Ib9 (A)	Fase Ib9	Ic9 (A)	Fase Ic9
0,1	0°	0,1	0°	0,1	0°
Ia11 (A)	Fase Ia11	Ib11 (A)	Fase Ib11	Ic11 (A)	Fase Ic11
0,225	0°	0,225	120°	0,225	-120°
Ia13 (A)	Fase Ia13	Ib13 (A)	Fase Ib13	Ic13 (A)	Fase Ic13
0,2	0°	0,2	-120°	0,2	120°

O teste aplica harmônicos de 3^a, 5^a, 7^a, 9^a, 11^a e 13^a ordens para percentuais de tensão e corrente iguais a 2%, 4%, 4,5%, 6,5% e 7,5%, respectivamente.

V.2.6.1. Resultados para sistema com fonte equilibrada e não senoidal e carga equilibrada resistiva

As potências de referência registradas pelo LabVIEW nesse teste foram ativa, aparente, não ativa de desequilíbrio e não ativa de distorção, conforme as características do teste.

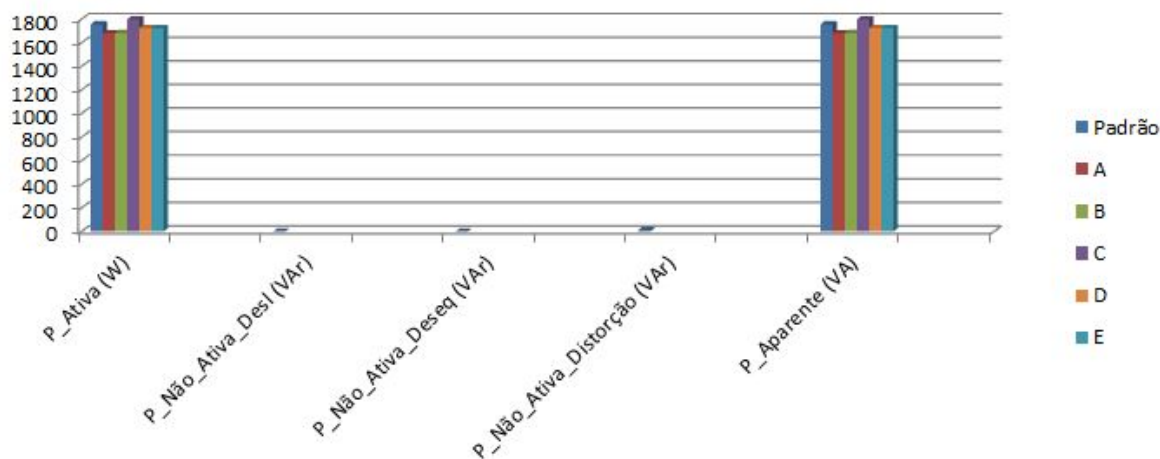


Figura V.23 - Resultados de medição de potência para sistema equilibrado de tensão com distorções harmônicas e carga equilibrada resistiva.

A potência ativa padrão é igual a 1,7555 kW. Os medidores A e B tiveram erro para potência ativa de -4,2482%, e -4,1912% e seus valores foram de 1,6810 kW e 1,6820 kW respectivamente. O medidor C registrou 1,7990 kW e erro de 2,4733%. D e E foram os melhores nessa situação e apresentaram erros de -1,7954% e -1,8558% para as potências de 1,7240 kW e 1,7230 kW respectivamente. Os resultados foram bons.

O LabVIEW apresentou duas potências não ativa de referência muito pequenas, 0,0011 kVAr como potência não ativa de desequilíbrio e 0,0133 kVAr como potência não ativa de distorção, não sendo perceptíveis na Figura V.23, portanto não se conclui absolutamente nada com as potências não ativas apresentadas pelos medidores. Os valores de potência não ativa assinaladas pelos medidores A, B, C e E foram de -0,0135 kVAr, 0,0210 kVAr, 0,040kVAr e 0,0170 kVAr. O medidor D não mediu.

A potência aparente de referência foi 1,7556 kVA. Os medidores D e E foram similares e apresentaram erro de -1,7971% e -1,8011% para as potências de 1,7240 kW e 1,7240 kW respectivamente. O medidor C registrou potência aparente de 1,7990 kVA e erro de 2,4709%. Os instrumentos A e B apresentaram erros maiores que os outros, porém aceitáveis de -4,2504% e -4,1934% para as potências de 1,6810 kVA e 1,6820 kVA demonstrando bom desempenho dos medidores registrando potência aparente.

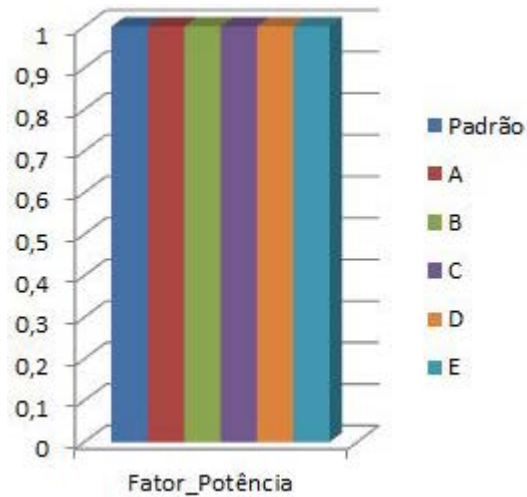


Figura V.24 - Resultados de medição de fator de potência para tensão equilibrada com distorção harmônica e carga equilibrada resistiva.

Conforme Figura V.24, os medidores foram precisos e anotaram fator de potência unitário conforme o padrão, ainda com distorções harmônicas simuladas.

V.2.7. Equilíbrio de tensão com ocorrência de distorções harmônicas e carga equilibrada indutiva

A Tabela V.12 apresenta características de ensaio semelhantes com o teste anterior no que diz respeito à natureza dos harmônicos envolvidos e seus valores. Outra característica igual se refere aos valores nominais de tensão e corrente considerados. A diferença do ensaio ocorre com a corrente nominal que passa a ser atrasada da tensão. Com isso, os harmônicos de corrente acompanham esse defasamento.

Tabela V.12 - Sistema equilibrado para tensão e carga indutiva, com a existencia de ditorções harmônicas.

Va1 (V)	Fase Va1	Vb1 (V)	Fase Vb1	Vc1 (V)	Fase Vc1
115	0°	115	-120°	115	120°
Va3 (V)	Fase Va3	Vb3 (V)	Fase Vb3	Vc3 (V)	Fase Vc3
7,475	0°	7,475	0°	7,475	0°
Va5 (V)	Fase Va5	Vb5 (V)	Fase Vb5	Vc5 (V)	Fase Vc5
8,625	0°	8,625	120°	8,625	-120°
Va7 (V)	Fase Va7	Vb7 (V)	Fase Vb7	Vc7 (V)	Fase Vc7
7,475	0°	7,475	-120°	7,475	120°
Va9 (V)	Fase Va9	Vb9 (V)	Fase Vb9	Vc9 (V)	Fase Vc9
2,3	0°	2,3	0°	2,3	0°
Va11 (V)	Fase Va11	Vb11 (V)	Fase Vb11	Vc11 (V)	Fase Vc11
5,175	0°	5,175	120°	5,175	-120°
Va13 (V)	Fase Va13	Vb13 (V)	Fase Vb13	Vc13 (V)	Fase Vc13
4,6	0°	4,6	-120°	4,6	120°
Ia1 (A)	Fase Ia1	Ib1 (A)	Fase Ib1	Ic1 (A)	Fase Ic1
5	-30°	5	-150°	5	90°
Ia3 (A)	Fase Ia3	Ib3 (A)	Fase Ib3	Ic3 (A)	Fase Ic3
0,325	-30°	0,325	-30°	0,325	-30°
Ia5 (A)	Fase Ia5	Ib5 (A)	Fase Ib5	Ic5 (A)	Fase Ic5
0,375	-30°	0,375	90°	0,375	-150°
Ia7 (A)	Fase Ia7	Ib7 (A)	Fase Ib7	Ic7 (A)	Fase Ic7
0,325	-30°	0,325	-150°	0,325	90°
Ia9 (A)	Fase Ia9	Ib9 (A)	Fase Ib9	Ic9 (A)	Fase Ic9
0,1	-30°	0,1	-30°	0,1	-30°
Ia11 (A)	Fase Ia11	Ib11 (A)	Fase Ib11	Ic11 (A)	Fase Ic11
0,225	-30°	0,225	90°	0,225	-150°
Ia13 (A)	Fase Ia13	Ib13 (A)	Fase Ib13	Ic13 (A)	Fase Ic13
0,2	-30°	0,2	-150°	0,2	90°

V.2.7.1. Resultados para equilíbrio de tensão com ocorrência de ditorções harmônicas e carga equilibrada indutiva

As potências de referência registradas pelo LabVIEW nesse teste foram ativa, aparente, não ativa de deslocamento, não ativa de ditorção e um valor pequeno de potência não ativa de desequilíbrio (0,0011 kVAr).

A potência ativa padrão corresponde a 1,5203 kW. Os medidores A e B apresentaram erros razoáveis de -6,2027%, e -6,0054% para os valores de 1,4260 kW e 1,4290 kW respectivamente. O medidor C superou todos os demais e registrou 1,5380 kW e erro de 1,1642%. O medidor D anotou potência de 1,4832 kW com erro -2,4344%. O analisador E apresentou erro de -1,2695% para uma potência de 1,5010 kW.

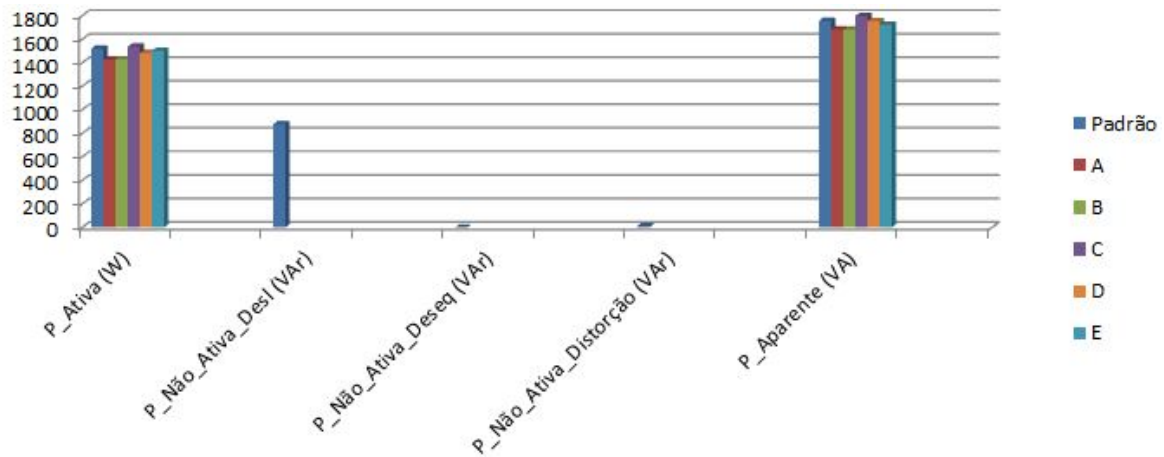


Figura V.25 - Resultados de medição de potência para sistema equilibrado de tensão com distorções harmônicas e carga equilibrada indutiva.

Na Figura V.25 além da potência referencial não ativa de deslocamento de 0,8777 kVAr existe a potência não ativa de desequilíbrio e de distorção valendo respectivamente 0,0010 kVAr e 0,0111 kVAr, imperceptíveis na figura. Os medidores nesse caso não são capazes de associar sua potência não ativa com os valores de potências não ativas mencionadas. Os valores de potência não ativa que os medidores A, B, C, D e E registraram foram de 0,8152 kVAr, 0,8086 kVAr, 0,9280 kVAr, 0,8460 kVAr e 0,9365 kVAr.

A potência aparente de referência equivale a 1,7556KVA. Os medidores D e E tiveram menores percentuais de erro para potência aparente com -0,0752% e -1,8580% para os valores de 1,7543 kVA e 1,7230 kVA respectivamente. O medidor C registrou potência aparente de 1,7970 kVA e erro de 2,3570%. Os instrumentos A e B apresentaram erros também aceitáveis de -4,1364% e -4,1934% para as potências de 1,6830 kVA e 1,6820 kVA, demonstrando bom desempenho de todos medidores.

Apesar da Figura V.26 aparentar problemas nas medições de fator de potência, o maior erro foi de -2,1363% para o medidor A que registrou fator de potência de 0,8475. O medidor E veio em seguida com o segundo pior valor com erro igual a -1,8476% para um fator de potência de 0,8500. O instrumento C também se distanciou da referência e registrou fator de potência de 0,8560 e erro de -1,1547%. Os medidores B e D foram os que mais se aproximaram da referência e mediram fator de potência de 0,8649 e 0,8700 respectivamente com percentual de erro de -0,1270% e 0,4619% cada.

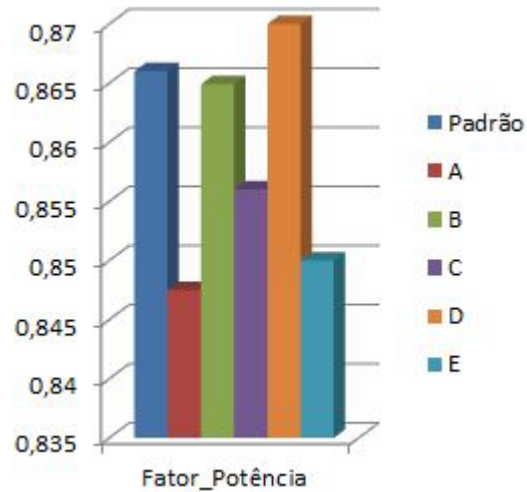


Figura V.26 - Resultados de medição de fator de potência para tensão equilibrada com distorção harmônica e carga equilibrada indutiva.

V.2.8. Equilíbrio de tensão com ocorrência de distorções harmônicas e carga equilibrada capacitiva

Nesta seção apresenta-se a Tabela V.13 onde encontramos o ensaio com características nominais de tensão e corrente, similar ao caso anterior. As distorções harmônicas neste caso são as mesmas vistas nos dois primeiros ensaios. Neste teste especificamente a carga capacitiva promove um deslocamento da corrente nominal em relação à tensão do sistema adiantando-a em 30° . As correntes harmônicas de sequência positiva, negativa e zero acompanham esse defasamento.

Tabela V.13 - Sistema de tensões e correntes equilibradas com influencia de distorções harmônicas e carga de natureza capacitiva.

Va1 (V)	Fase Va1	Vb1 (V)	Fase Vb1	Vc1 (V)	Fase Vc1
115	0°	115	-120°	115	120°
Va3 (V)	Fase Va3	Vb3 (V)	Fase Vb3	Vc3 (V)	Fase Vc3
7,475	0°	7,475	0°	7,475	0°
Va5 (V)	Fase Va5	Vb5 (V)	Fase Vb5	Vc5 (V)	Fase Vc5
8,625	0°	8,625	120°	8,625	-120°
Va7 (V)	Fase Va7	Vb7 (V)	Fase Vb7	Vc7 (V)	Fase Vc7
7,475	0°	7,475	-120°	7,475	120°
Va9 (V)	Fase Va9	Vb9 (V)	Fase Vb9	Vc9 (V)	Fase Vc9
2,3	0°	2,3	0°	2,3	0°
Va11 (V)	Fase Va11	Vb11 (V)	Fase Vb11	Vc11 (V)	Fase Vc11
5,175	0°	5,175	120°	5,175	-120°
Va13 (V)	Fase Va13	Vb13 (V)	Fase Vb13	Vc13 (V)	Fase Vc13
4,6	0°	4,6	-120°	4,6	120°
Ia1 (A)	Fase Ia1	Ib1 (A)	Fase Ib1	Ic1 (A)	Fase Ic1
5	30°	5	-90°	5	150°
Ia3 (A)	Fase Ia3	Ib3 (A)	Fase Ib3	Ic3 (A)	Fase Ic3
0,325	30°	0,325	30°	0,325	30°
Ia5 (A)	Fase Ia5	Ib5 (A)	Fase Ib5	Ic5 (A)	Fase Ic5
0,375	30°	0,375	150°	0,375	-90°
Ia7 (A)	Fase Ia7	Ib7 (A)	Fase Ib7	Ic7 (A)	Fase Ic7
0,325	30°	0,325	-90°	0,325	150°
Ia9 (A)	Fase Ia9	Ib9 (A)	Fase Ib9	Ic9 (A)	Fase Ic9
0,1	30°	0,1	30°	0,1	30°
Ia11 (A)	Fase Ia11	Ib11 (A)	Fase Ib11	Ic11 (A)	Fase Ic11
0,225	30°	0,225	150°	0,225	-90°
Ia13 (A)	Fase Ia13	Ib13 (A)	Fase Ib13	Ic13 (A)	Fase Ic13
0,2	30°	0,2	-90°	0,2	150°

V.2.8.1. Resultados para equilíbrio de tensão com ocorrência de distorções harmônicas e carga equilibrada capacitiva

As potências de referência registradas pelo LabVIEW foram às mesmas do teste anterior, ou seja, ativa, aparente, não ativa de deslocamento, não ativa de desequilíbrio e não ativa de distorção. A diferença é na inversão do sinal da potência não ativa de deslocamento padrão que agora é -0,8777 kVAr devido à carga capacitiva. A potência não ativa de desequilíbrio continua valendo 0,0010 kVAr e potência não ativa de distorção 0,0111 kVAr.

A potência ativa padrão na Figura V.27 é igual a 1,5203 kW. Os medidores A e B

apresentaram erro para potência ativa de -6,3355%, e -6,5986% para os valores de 1,4240 kW e 1,4200 kW respectivamente. O medidor C registrou 1,5060 kW e erro de -0,9419%. O medidor D comparado ao caso anterior melhorou seu rendimento e em contrapartida o instrumento E piorou. Os índices de erro para D e E foram de -2,0404% e -2,3890% e as potências de 1,4893 kW e 1,4840 kW respectivamente. A e B foram razoáveis comparados ao desempenho dos demais medidores.

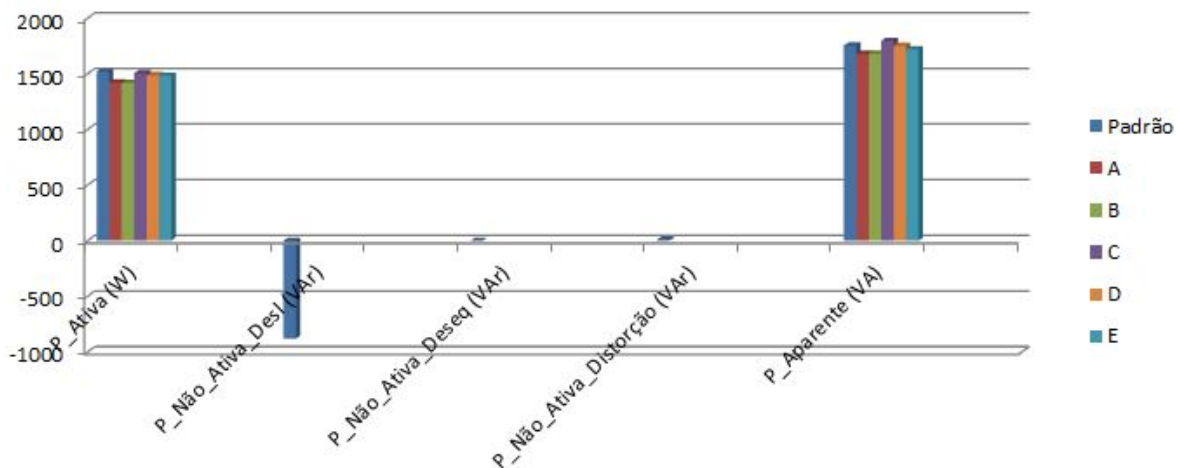


Figura V.27 - Resultados de medição de potência para sistema equilibrado de tensão com distorções harmônicas e carga equilibrada capacitiva.

Na Figura V.27 além da potência referencial não ativa de deslocamento de 0,8777 kVAr existe a potência não ativa de desequilíbrio e de distorção valendo respectivamente 0,0010 kVAr e 0,0111 kVAr, imperceptíveis na figura. Os medidores nesse caso não são capazes de associar sua potência reativa com os valores de potência não ativa mencionada. Os valores de potência reativa que os medidores A, B, C, D e E registraram foram de 0,8152 kVAr, 0,8086 kVAr, 0,9280 kVAr, 0,8460 kVAr e 0,9365 kVAr. Os testes não foram conclusivos.

A análise de potência não ativa nessa situação é a mesma do caso anterior não sendo possível associar as potências reativas registradas com as potências não ativa presentes. A potência não ativa de deslocamento padrão da figura corresponde a -0,8777 kVAr. As potências não ativa de desequilíbrio e de distorção valem respectivamente 0,0010 kVAr e 0,0111 kVAr. As potências reativas medidas em A, B, C, D e E foram -0,8373 kVAr, -0,8455 kVAr, -0,9810 kVAr, -0,9264 kVAr e -0,8760 kVAr. O teste não foi satisfatório.

A potência aparente padrão da figura equivale a 1,7556 kVA. Os medidores D e E tiveram menores percentuais de erro para potência aparente com -0,0900% e -1,8580% para os valores de 1,7540 kVA e 1,7230 kVA respectivamente. O medidor C registrou potência aparente de 1,7970 kVA e erro de 2,3570%. Os instrumentos A e B apresentaram os maiores erros anotando -4,2504% e -4,1934% para as potências de 1,6810 kVA e 1,6820 kVA finalizando o ensaio.

Conforme Figura V.28, o medidor D teve melhor resultado para fator de potência e assinalou 0,8700 com erro de 0,4619%. O medidor A ficou próximo e seu fator de potência foi de 0,8589 para um erro de -0,8199%. O restante dos medidores teve um erro um pouco maior que os outros dois. O medidor B teve fator de potência de 0,8539 e erro de -1,3972%. C e E ficaram mais próximos, sendo o primeiro com fator de 0,8380 e erro de -3,2333% e o último com fator de potência de 0,8400 e erro de -3,0023%. Todos tiveram excelente avaliação apesar do erro.

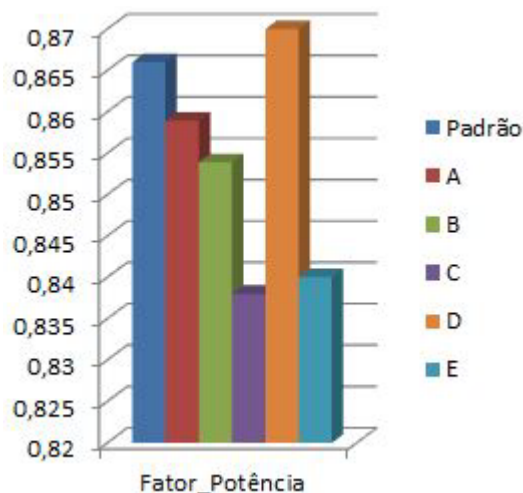


Figura V.28 - Resultados de medição de fator de potência para tensão equilibrada com distorção harmônica e carga equilibrada capacitiva.

V.2.9. Fonte com tensão desequilibrada e não senoidal e carga equilibrada resistiva

O teste seguinte apresentado na Tabela V.14 mistura situações de desequilíbrio de tensão e distorção harmônica. As magnitudes e ângulos da tensão e corrente apresentam

um desequilíbrio de tensão da ordem de 2%. Somado a isso tem-se as componentes harmônicas de tensão e corrente de mesmo DHTi e DHTv, que agravam o problema. A carga usada de natureza puramente resistiva leva tensões e correntes estarem em fase.

Tabela V.14- Sistema com tensões desequilibradas influenciadas por distorções harmônicas e presença de carga resistiva.

Va1 (V)	Fase Va1	Vb1 (V)	Fase Vb1	Vc1 (V)	Fase Vc1
115	0°	110,1	-120,51°	110,1	120,57°
Va3 (V)	Fase Va3	Vb3 (V)	Fase Vb3	Vc3 (V)	Fase Vc3
7,475	0°	7,157	0°	7,475	0°
Va5 (V)	Fase Va5	Vb5 (V)	Fase Vb5	Vc5 (V)	Fase Vc5
8,625	0°	8,258	120°	8,258	-120°
Va7 (V)	Fase Va7	Vb7 (V)	Fase Vb7	Vc7 (V)	Fase Vc7
7,475	0°	7,157	-120°	7,157	120°
Va9 (V)	Fase Va9	Vb9 (V)	Fase Vb9	Vc9 (V)	Fase Vc9
2,3	0°	2,202	0°	2,202	0°
Va11 (V)	Fase Va11	Vb11 (V)	Fase Vb11	Vc11 (V)	Fase Vc11
5,175	0°	4,955	120°	4,955	-120°
Va13 (V)	Fase Va13	Vb13 (V)	Fase Vb13	Vc13 (V)	Fase Vc13
4,6	0°	4,404	-120°	4,404	120°
Ia1 (A)	Fase Ia1	Ib1 (A)	Fase Ib1	Ic1 (A)	Fase Ic1
5,2	0°	4,925	-120,51°	4,925	120,57°
Ia3 (A)	Fase Ia3	Ib3 (A)	Fase Ib3	Ic3 (A)	Fase Ic3
0,338	0°	0,3201	0°	0,3201	0°
Ia5 (A)	Fase Ia5	Ib5 (A)	Fase Ib5	Ic5 (A)	Fase Ic5
0,39	0°	0,3694	120°	0,3694	-120°
Ia7 (A)	Fase Ia7	Ib7 (A)	Fase Ib7	Ic7 (A)	Fase Ic7
0,338	0°	0,3201	-120°	0,3201	120°
Ia9 (A)	Fase Ia9	Ib9 (A)	Fase Ib9	Ic9 (A)	Fase Ic9
0,104	0°	0,0985	0°	0,0985	0°
Ia11 (A)	Fase Ia11	Ib11 (A)	Fase Ib11	Ic11 (A)	Fase Ic11
0,234	0°	0,2216	120°	0,2216	-120°
Ia13 (A)	Fase Ia13	Ib13 (A)	Fase Ib13	Ic13 (A)	Fase Ic13
0,208	0°	0,197	-120°	0,197	120°

V.2.9.1. Resultados para fonte com tensão desequilibrada e não senoidal e carga equilibrada resistiva

As potências de referência registradas pelo LabVIEW nesse teste foram ativa, aparente, não ativa de desequilíbrio e não ativa de distorção atendendo as características simuladas no ensaio. Pela simulação a potência não ativa de desequilíbrio atingiu 0,0099

kVAr e a potência não ativa de distorção um pouco maior com 0,0131 kVAr.

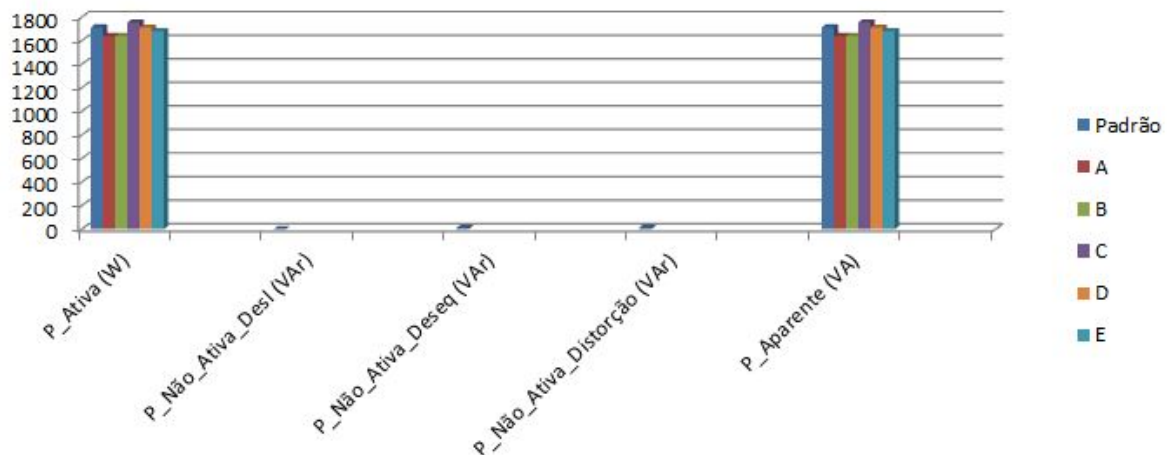


Figura V.29 - Resultados de medição de potência para sistema com desequilíbrio de tensão somado a distorções harmônicas e carga equilibrada resistiva.

A potência ativa padrão observada na Figura V.29 assinala 1,7123 kW. Os medidores A e B, com resultados muito semelhantes, apresentaram erro para potência ativa de -4,2808%, e -4,2302% para os valores de 1,6390 kW e 1,6400 kW respectivamente. O medidor C superou a potência de referência e registrou 1,7530 kW com erro de 2,3769%. Os medidores D e E ficaram mais próximos da referência e apresentaram erro ainda menor que os demais com -0,0818% e -1,8864% para as potências de 1,7109 kW e 1,6800 kW respectivamente. Os medidores tiveram bom desempenho no teste.

Os valores de potência não ativa de desequilíbrio e distorção são muito pequenos e não visíveis na Figura V.29 e marcaram respectivamente 0,0097 kVAr e 0,0131 kVAr. Como os medidores não discriminam quanto da potência não ativa registrada corresponde à potência não ativa de desequilíbrio e de distorção, o teste torna-se inconclusivo para tal finalidade. As medições de potência não ativa obtida dos medidores foram -0,0043 kVAr, -0,0109 kVAr, 0,0390 kVAr e 0,0170 kVAr para a sequência A, B, C e E de medidores. O instrumento D não registrou tal potência.

O medidor D seguido por E apresentaram os menores percentuais de erro para potência aparente com -0,0899 e -1,8944% para as potências de 1,7109 kVA e 1,6800 kVA respectivamente. O medidor C superou a potência aparente de referência e anotou 1,7540 kVA com erro de 2,4269%. Os instrumentos A e B apresentaram erros também aceitáveis de -4,2886% e -4,2302% para as potências de 1,6390 kVA e 1,6400 kVA terminando bem

o teste nos medidores.

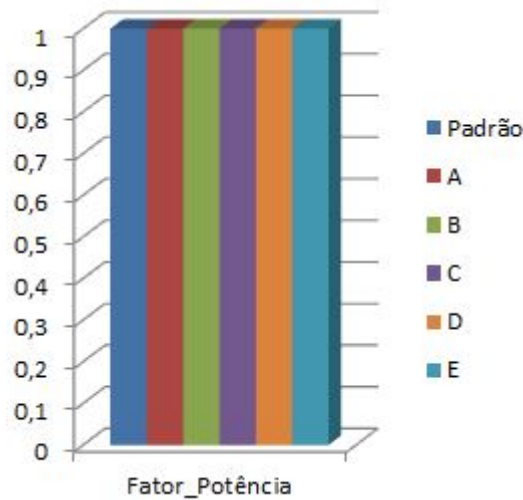


Figura V.30 - Resultados de medição de fator de potência com desequilíbrio de tensão somado a distorções harmônicas e carga equilibrada resistiva.

Os medidores como se observa na Figura V.30 foram precisos e anotaram fator de potência unitário conforme o padrão, mesmo com a injeção de distorções harmônicas.

V.2.10. Sistema com fonte de tensão desequilibrada e cargas não lineares monofásicas

A Tabela V.15 traz informações do teste que simula desequilíbrio de tensão e harmônicos de corrente. O percentual de desequilíbrio de tensão adotado foi de 2%, limite no PRODIST. Para cargas não lineares monofásicas, como neste caso, é normal apresentar altos percentuais de distorção harmônica de corrente, como se observa nos harmônicos de 3ª e 5ª.

Tabela V.15 - Sistema com tensões desequilibradas e carga monofásica geradora de harmônicos.

Va1 (V)	Fase Va1	Vb1 (V)	Fase Vb1	Vc1 (V)	Fase Vc1
115	0°	110,1	-120,51°	110,1	120,57°
Ia1 (A)	Fase Ia1	Ib1 (A)	Fase Ib1	Ic1 (A)	Fase Ic1
3,805	0°	3,805	-120,51°	3,805	120,57°
Ia3 (A)	Fase Ia3	Ib3 (A)	Fase Ib3	Ic3 (A)	Fase Ic3
2,786	0°	2,786	0°	2,786	0°
Ia5 (A)	Fase Ia5	Ib5 (A)	Fase Ib5	Ic5 (A)	Fase Ic5
1,498	0°	1,498	120°	1,498	-120°
Ia7 (A)	Fase Ia7	Ib7 (A)	Fase Ib7	Ic7 (A)	Fase Ic7
0,329	0°	0,329	-120°	0,329	120°
Ia9 (A)	Fase Ia9	Ib9 (A)	Fase Ib9	Ic9 (A)	Fase Ic9
0,359	0°	0,359	0°	0,359	0°
Ia11 (A)	Fase Ia11	Ib11 (A)	Fase Ib11	Ic11 (A)	Fase Ic11
0,479	0°	0,479	120°	0,479	-120°
Ia13 (A)	Fase Ia13	Ib13 (A)	Fase Ib13	Ic13 (A)	Fase Ic13
0,209	0°	0,209	-120°	0,209	120°

V.2.10.1. Resultados para sistema com desequilíbrio de tensão e cargas harmônicas monofásicas

As potências de referência registradas pelo LabVIEW nesse teste foram ativa, aparente, não ativa de desequilíbrio e não ativa de distorção de acordo com o esperado. Pela simulação a potência não ativa de desequilíbrio atingiu 0,0263 kVAr e a potência não ativa de distorção muito maior com 1,0870 kVAr.

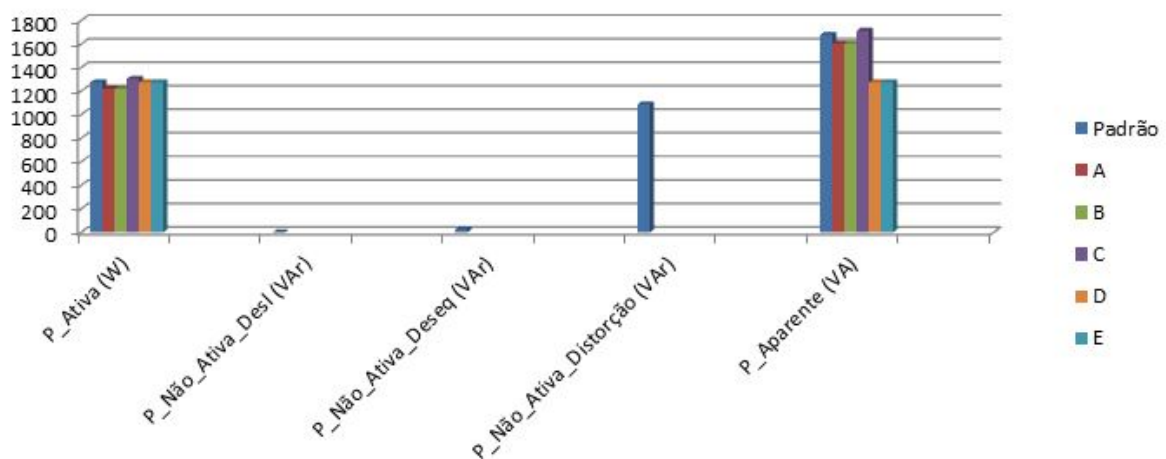


Figura V.31 - Resultados de medição de potência para sistema com desequilíbrio de tensão e cargas harmônicas monofásicas.

A potência ativa padrão da Figura V.31 vale 1,2754 kW. Os medidores A e B

apresentaram erro para potência ativa de -4,2683%, e -4,3467% para os valores de 1,2210 kW e 1,2200 kW respectivamente. O medidor C registrou 1,3050 kW e erro de 2,3176%. Os medidores D e E tiveram desempenho melhor ainda e o índice de erro alcançado foi de -0,1592% e -0,1129% para as potências de 1,2734 kW e 1,2740 kW respectivamente resumindo positivamente o teste.

O teste apresenta duas potências não ativas de referência, uma de desequilíbrio e a outra de distorção. Seus valores são respectivamente 0,0263 kVAr e 1,0870 kVAr. Como já foi apresentado, os medidores registram a potência não ativa, com isso não se consegue saber quanto dessa potência é representada em desequilíbrio e distorção. As potências não ativas registradas por A, B, C, e E foram -0,0044 kVAr, -0,0096 kVAr, 1,1090 kVAr e 0,0130 kVAr. O medidor D não registrou.

A potência aparente padrão é igual a 1,6030 kVA. Chama atenção na Figura V.31 os medidores D e E na coluna de potência aparente. Os mesmos apresentaram resultado aquém do esperado com potências de 1,2735 kVA e 1,2740 kVA e valores de erro iguais a -24,0210% e -23,9929%. Os medidores A e B foram iguais e o índice de erro obtido foi de -4,3647. O medidor C superou a potência aparente padrão e obteve erro de 2,1382% para a potência de 1,7120KVA. D e E tiveram desempenho ruim no teste.

O padrão obtido do LabVIEW registrou fator de potência de 0,761, conforme Figura V.32. O medidor A teve desempenho ruim no registro do fator de potência com valor de 0,9201 e erro de 20,9067%. Também repetindo desempenho negativo temos os medidores D e E que assinalaram fator de potência unitário com erro de 31,4060%. O medidor C teve bom desempenho com percentual de erro igual a 0,1314% para o fator de potência de 0,7620. O medidor B foi o melhor e teve fator de potência de 0,7615 com erro de 0,0657%.

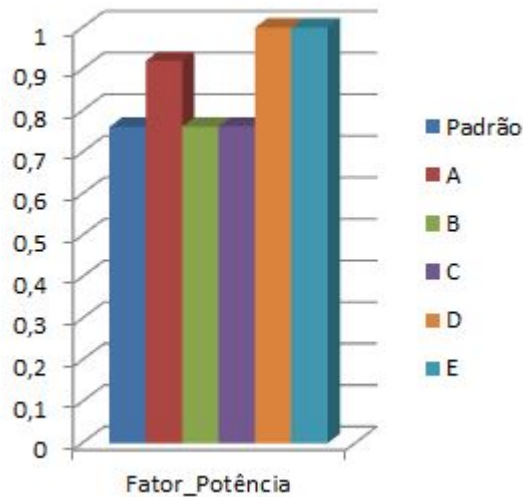


Figura V.32 - Resultados de medição de fator de potência com desequilíbrio de tensão e cargas harmônicas monofásicas.

Após todos os testes o objetivo é ter uma avaliação geral das potências analisadas bem como do fator de potência. Cada ensaio forneceu uma nota baseada no percentual de erro que é comparado com a Tabela IV.1. Ao final dos testes uma média simples avalia o medidor de forma geral. A partir dessa nota final associa-se a mesma a um conceito final conforme foi apresentado na Tabela IV.3. Usando este procedimento, a avaliação geral dos medidores são então apresentadas nas Tabelas V.16, V.17 e V.18.

A Tabela V.16 apresenta a avaliação final que os medidores obtiveram ao longo dos testes para potência ativa. Todos os medidores conseguiram a qualificação ‘excelente’.

A Tabela V.17 apresenta o resultado dos medidores para o teste com potência aparente. Nesse caso, os medidores D e E, os quais foram ‘excelentes’ para potência ativa, agora obtiveram conceito ‘bom’ para potência aparente. Os medidores A, B e C mantiveram o conceito ‘excelente’ conquistado anteriormente.

A Tabela V.18 apresenta o resultado final dos medidores para o caso de fator de potência. Apenas o medidor E não conquistou máxima qualificação.

Tabela V.16 – Avaliação final dos medidores para potência ativa.

Qualificação	Instrumentos
Excelente	A, B, C, D, E
Bom	---
Regular	---
Inferior	---

Tabela V.17 - Avaliação final dos medidores para potência aparente.

Qualificação	Instrumentos
Excelente	A, B, C
Bom	D, E
Regular	---
Inferior	---

Tabela V.18 - Avaliação final dos medidores para fator de potência.

Qualificação	Instrumentos
Excelente	A, B, C, D
Bom	E
Regular	---
Inferior	---

V.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados mostram que os medidores obtiveram conceito excelente para potência ativa.

No caso de potência aparente, os medidores A, B e C repetiram o conceito final excelente. Os medidores D e E apresentaram conceito final bom.

Sendo avaliados para fator de potência, os medidores A, B, C, e D conseguiram conceito final excelente e o medidor E obteve conceito bom.

VI. CONCLUSÕES

VI.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi de apresentar uma avaliação de desempenho dos medidores de QEE, inicialmente para sinais trifásicos de tensão, considerando tensões desequilibradas, VTCDs e distorções harmônicas. Após isso, a análise concentrou em sinais de tensão e corrente em diferentes situações, na presença de desequilíbrios e harmônicos, para avaliar os medidores no caso de potências elétricas.

Este trabalho atingiu seus principais objetivos analisando os medidores separadamente em relação aos distúrbios de QEE considerados. No caso de desequilíbrio de tensão os medidores foram avaliados para a magnitude de tensão aplicada e percentual de desequilíbrio.

A respeito de VTCDs, vários foram os pontos de vista abordados nos testes. Primeiramente, avaliaram-se os instrumentos em relação à magnitude do afundamento monofásico de tensão. Os medidores também foram avaliados em simulações de afundamentos e elevações de tensão ocorrendo ao mesmo tempo. O afundamento trifásico de tensão foi outro item avaliado nos medidores. Ainda em relação à VTCD, os medidores foram avaliados para a duração dos eventos.

Os medidores foram avaliados para distorção harmônica de tensão sobre dois aspectos: um relacionado com o percentual harmônico e o outro associado ao ângulo de fase das componentes harmônicas.

A avaliação para o caso das potências elétricas considerou a potência ativa, potência aparente e fator de potência. Cabe lembrar que os medidores de qualidade de energia avaliados não são capazes de atender às novas definições de potência, ou seja, não medem potência não ativa indicando a contribuição da potência não ativa de deslocamento, não ativa de desequilíbrio e não ativa de distorção.

O medidor E apresentou limitações de *software* que comprometeram seu desempenho. Não foi possível o registro dos ângulos das componentes harmônicas por limitações do *software* do instrumento, conforme já mencionado. O medidor F passou pelas mesmas limitações do medidor E, analisando exclusivamente ângulo de fase dos harmônicos.

A grande contribuição deste trabalho é apresentada na Tabela VI.1, que resume

desde o início, os resultados obtidos dos estudos.

Tabela VI.1- Classificação final dos medidores de QEE.

Medidores	Distúrbios								Potências			Conceito - Contagem					
	Desequilíbrio de Tensão		Distorção Harmônica		VTCD				P. Ativa	P. Aparente	F.P.	Excelente	Bom	Regular	Inferior	Aprovado ?	Classificação
	(%)	(FD)	(%)	(°)	(%) - 1Φ	(%) - 3Φ	(%) - ≠Φ	Duração (ms)									
A	Excelente	Regular	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Aprovado	Excelente	Excelente	Excelente	9		1		Sim	2°
B	Excelente	Regular	Excelente	Bom	Excelente	Excelente	Excelente	Aprovado	Excelente	Excelente	Excelente	8	1	1		Sim	3°
C	Excelente	Inferior	Excelente	Regular	Excelente	Excelente	Excelente	Reprovado	Excelente	Excelente	Excelente	8		1	1	Não	4°
D	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Aprovado	Excelente	Bom	Excelente	9	1			Sim	1°
E	Excelente	Excelente	Excelente	*	Excelente	Excelente	Excelente	Reprovado	Excelente	Bom	Bom	7	2			Não	5°
F	Excelente	Regular	Excelente	*	Excelente	Bom	Excelente	Reprovado	**	**	**	4	1	1		Não	6°
Observações:	* - Medidor não registra ** - Medidor não foi avaliado																

Como se observa na Tabela VI.1 os medidores foram testados para as situações de tensão desequilibrada, VTCD e distorção harmônica. Além disso, diferentes situações de harmônicos e desequilíbrios foram considerados para a medição das potências. Seguindo a ordem da Tabela, o medidor A obteve 9 conceitos ‘excelente’, 1 ‘regular’ e aprovação medindo duração de VTCD, obtendo a classificação de 2° melhor medidor.

O medidor B obteve 8 conceitos ‘excelente’, 1 ‘bom’, 1 ‘regular’ e aprovação medindo duração de VTCD, garantindo o resultado de 3° melhor medidor.

O medidor C teve 8 conceitos ‘excelente’, 1 ‘regular’, 1 ‘inferior’ e reprovou registrando duração de VTCD, obtendo o 4° lugar na classificação geral.

O medidor D obteve a melhor classificação entre os medidores com 9 conceitos ‘excelente’, 1 ‘bom’ e aprovação medindo duração de VTCD.

O medidor E obteve 7 conceitos ‘excelente’, 2 ‘bom’ e reprovou para duração de VTCD. O medidor não registra ângulo de fase dos harmônicos e obteve o 5° lugar na classificação geral.

Por fim o medidor F, o qual obteve 4 conceitos finais ‘excelente’, 1 ‘bom’, 1 ‘regular’ e reprovou medindo duração de VTCD. O medidor não foi avaliado em relação à potência, e semelhante ao medidor E, não registra ângulo de fase dos harmônicos. Na classificação geral teve o pior resultado.

Portanto, com a tabela de classificação final dos medidores apresentada, este trabalho de dissertação valida-se ao atingir seu grande objetivo.

Finalmente, é imprescindível antes de trabalhar com os medidores, buscar o máximo de informações em seus manuais acerca de recomendações de segurança, níveis de tensão de entrada, esquemas de ligação, ajustes, funcionalidades do medidor, bem como o tratamento de dados de medições em cada *software*.

VI.2. RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Buscando complementar e aperfeiçoar a avaliação dos medidores de QEE seguem algumas sugestões de possíveis testes a serem realizados em futuras oportunidades:

- Aplicar sinais de tensão e corrente para harmônicos individuais variantes no tempo.
- Aplicar tensão desequilibrada variantes no tempo.
- Nos ensaios para verificação das novas potências aplicar sinais harmônicos de tensão e corrente mais severos.
- Elaborar e/ou complementar procedimentos ou roteiros de testes nos medidores de QEE buscando uma avaliação que resulte em instrumentos mais precisos.
- Trabalhar com número maior de medidores incluindo outros fabricantes.
- Desenvolver novos protocolos de medição que contemplem as novas definições de potência de acordo com a norma IEEE 1459.

Os estudos desta dissertação contribuíram com a publicação dos seguintes artigos:

Galvão, T. M.; Romaro, L. C.; Belchior, F. N.; Silveira, P. M.; Carvalho Filho, J. M.; “Análise Comparativa entre Resultados de Medidores de Qualidade da Energia Elétrica”, X Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica – CBQEE. Araxá – MG, 25 a 28 de Julho de 2013.

Galvão, T. M.; Belchior, F. N.; Silveira, P. M.; Carvalho Filho, J. M.; Coelho, A. L. M.; “Análise Comparativa entre Medidores de Qualidade da Energia Elétrica – Tensão e Potência”, X Latin-American Congress on Electric Power Generation, Transmission and Distribution – CLAGTEE. Viña Del Mar - Chile, 06 a 09 de Outubro de 2013.

Galvão, T. M.; Belchior, F. N.; Silveira, P. M.; Ribeiro, P. “*Comparative Analysis of*

Power Quality Instruments Measuring Voltage and Power”, 16th International Conference on Harmonics and Quality of Power - ICHQP. Bucareste - Romênia, 25 a 28 de Maio de 2014.

Apêndices

Tabela A9 - Resultados para medição de duração de VTCD com 300ms, com início em 100ms e término em 400ms, referente ao ensaio 13.

Fase	A		Erro ms		B		Erro ms		C		Erro ms		D		Erro ms		E		Erro ms		F		Erro ms	
A	108,00	412,66	8,00	12,66	117,00	421,59	17,00	21,60	---	---	---	---	100,00	400,00	0,00	0,00	99,00	399,00	1,00	1,00	118,00	426,00	18,00	26,00
B	108,00	412,85	8,00	12,86	117,00	421,67	17,00	21,67	---	---	---	---	100,00	400,00	0,00	0,00	99,00	399,00	1,00	1,00	118,00	417,00	18,00	17,00
C	108,00	408,24	8,00	8,24	117,00	417,33	17,00	17,34	---	---	---	---	100,00	400,00	0,00	0,00	99,00	399,00	1,00	1,00	118,00	426,00	18,00	26,00

Tabela A10 - Resultados para medição de duração de VTCD com 50 ms, com início em 100ms e término em 150ms, referente ao ensaio 14.

Fase	A		Erro ms		B		Erro ms		C		Erro ms		D		Erro ms		E		Erro ms		F		Erro ms	
A	124,00	148,99	24,00	1,01	120,00	153,32	20,00	3,32	---	---	---	---	110,00	164,00	10,00	14,00	100,00	150,00	0,00	0,00	---	---	---	---
B	113,00	162,98	13,00	12,99	110,00	164,44	10,00	14,44	---	---	---	---	110,00	164,00	10,00	14,00	100,00	150,00	0,00	0,00	113,00	164,00	13,00	14,00
C	106,00	160,25	6,00	10,25	110,00	160,14	10,00	10,14	---	---	---	---	110,00	164,00	10,00	14,00	100,00	150,00	0,00	0,00	113,00	172,00	13,00	22,00

Tabela A11 - Resultados para medição de duração de VTCD com 200 ms, com início em 100ms e término em 300ms, referente ao ensaio 15.

Fase	A		Erro ms		B		Erro ms		C		Erro ms		D		Erro ms		E		Erro ms		F		Erro ms	
A	107,00	315,69	7,00	15,70	103,00	312,62	3,00	12,63	---	---	---	---	109,00	299,00	9,00	1,00	101,00	301,00	1,00	1,00	104,00	312,00	4,00	12,00
B	109,00	310,07	9,00	10,07	108,00	307,99	8,00	7,99	---	---	---	---	109,00	299,00	9,00	1,00	101,00	301,00	1,00	1,00	104,00	303,00	4,00	3,00
C	107,00	311,04	7,00	11,04	105,00	307,78	5,00	7,79	---	---	---	---	109,00	299,00	9,00	1,00	125,00	325,00	25,00	25,00	104,00	312,00	4,00	12,00

APÊNDICE B.

Tabela B1 - Resultados de medição para afundamento monofásico de tensão com magnitude de 85% e duração de 33,33ms.

Ensaio 12	Padrão		Fase	A		B		C		D		E		F	
	85	33,33													
Evento 1	85	33,33	A	84,88	27,77	84,96	27,56	84,96	32,0	85,00	34	84,96	25	84,72	25,0
	100	0	B	99,83	0,00	99,89	0,00	100,17	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,86	0,00	99,95	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 2	85	33,33	A	84,88	27,44	84,96	27,48	84,93	32	84,09	33	84,96	25	84,72	25
	100	0	B	99,69	0,00	99,89	0,00	100,29	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,69	0,00	99,87	0,00	99,96	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 3	85	33,33	A	84,88	27,59	84,96	27,31	84,92	32	84,9	33	84,96	25	84,72	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,87	0,00	100,29	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,87	0,00	99,92	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 4	85	33,33	A	84,88	27,59	84,96	27,31	84,94	32	85	33	84,96	25	84,72	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,87	0,00	100,17	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,87	0,00	99,94	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 5	85	33,33	A	84,88	27,59	84,96	27,31	85,07	32	84,9	33	84,96	25	84,72	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,91	0,00	100,16	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,88	0,00	99,91	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 6	85	33,33	A	84,88	27,59	84,96	27,31	84,99	32	84,9	33	84,96	25	84,72	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,88	0,00	100,15	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,89	0,00	99,91	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 7	85	33,33	A	84,88	27,59	84,96	27,31	84,95	32	85	34	84,96	25	84,72	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,87	0,00	100,09	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00

	100	0	C	99,83	0,00	99,88	0,00	99,95	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 8	85	33,33	A	84,88	27,59	84,96	27,31	84,91	32	84,9	33	84,96	25	84,72	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,90	0,00	100,26	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,89	0,00	99,91	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 9	85	33,33	A	84,88	27,59	84,96	27,31	84,99	32	84,9	33	84,96	25	84,72	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,87	0,00	100,24	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,89	0,00	99,89	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 10	85	33,33	A	84,88	27,59	84,96	27,31	84,87	32	84,9	33	84,96	25	84,72	24
	100	0	B	99,83	0,00	99,89	0,00	100,28	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,89	0,00	99,89	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 11	85	33,33	A	84,88	27,30	84,96	27,31	84,99	32	84,9	33	84,96	25	84,72	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,87	0,00	100,18	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,89	0,00	99,93	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 12	85	33,33	A	84,88	27,59	84,96	27,31	84,94	32	85	33	84,96	25	84,72	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,91	0,00	100,14	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,90	0,00	99,95	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 13	85	33,33	A	84,88	27,30	84,96	27,31	85,01	32	84,9	33	84,96	25	84,65	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,88	0,00	100,24	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,89	0,00	99,94	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 14	85	33,33	A	84,88	27,44	84,96	27,31	84,88	32	85	34	84,96	25	84,65	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,89	0,00	100,15	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,89	0,00	99,82	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 15	85	33,33	A	84,88	27,59	84,96	27,31	85,03	32	84,9	33	84,96	25	84,72	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,90	0,00	100,16	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,91	0,00	99,94	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 16	85	33,33	A	84,88	27,44	84,96	27,31	84,96	32	85	34	84,96	25	84,65	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,91	0,00	100,26	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,91	0,00	99,97	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00

Evento 17	85	33,33	A	84,88	27,59	84,96	27,31	84,94	32	84,9	33	84,96	25	84,72	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,87	0,00	100,27	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,90	0,00	100,02	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 18	85	33,33	A	84,88	27,44	84,96	27,31	85,05	32	84,9	33	84,96	25	84,72	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,90	0,00	100,17	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,91	0,00	100,00	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 19	85	33,33	A	84,88	27,44	84,96	27,74	85,05	32	85	34	84,96	25	84,72	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,87	0,00	100,14	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,90	0,00	99,92	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Evento 20	85	33,33	A	84,88	27,59	84,96	27,31	84,95	32	85	33	84,96	25	84,65	25
	100	0	B	99,83	0,00	99,91	0,00	100,21	0,00	100	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	100	0	C	99,83	0,00	99,91	0,00	99,96	0,00	99,9	0,00	100,00	0,00	0	0,00

Tabela B2 - Erro de medição para afundamento monofásico de tensão com magnitude de 85% e duração de 33,33ms.

Erro 12	Padrão		Fase	A		B		C		D		E		F	
				(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms
Evento 1	85	33,33	A	-0,14	5,55	-0,05	5,77	-0,32	0,32	0,00	0,67	84,96	8,33	-0,14	5,55
	100	---	B	-0,17	---	-0,11	---	-100,00	---	0,00	---	100,00	---	-0,17	---
	100	---	C	-0,17	---	-0,14	---	-100,00	---	-0,1	---	100,00	---	-0,17	---
Evento 2	85	33,33	A	-0,14	5,88	-0,05	5,85	-0,32	0,32	-1,07	0,33	-0,32	8,33	-0,14	5,88
	100	---	B	-0,31	---	-0,11	---	-100,00	---	0,00	---	-100,00	---	-0,31	---
	100	---	C	-0,31	---	-0,13	---	-100,00	---	0,00	---	-100,00	---	-0,31	---
Evento 3	85	33,33	A	-0,14	5,74	-0,05	6,02	-0,32	0,32	-0,11	0,33	-0,32	8,33	-0,14	5,74
	100	---	B	-0,17	---	-0,13	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
	100	---	C	-0,17	---	-0,13	---	-100,00	---	0,00	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 4	85	33,33	A	-0,14	5,74	-0,05	6,02	-0,32	0,32	0,00	0,33	-0,32	8,33	-0,14	5,74
	100	---	B	-0,17	---	-0,13	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---

Erro 12	Padrão		Fase	A		B		C		D		E		F	
				(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms
	100	---	C	-0,17	---	-0,13	---	-100,00	---	0,00	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 5	85	33,33	A	-0,14	5,74	-0,05	6,02	-0,32	0,32	-0,11	0,33	-0,32	8,33	-0,14	5,74
	100	---	B	---	---	-0,09	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
	100	33,33	C	-0,17	---	-0,12	---	-100,00	---	0,00	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 6	85	33,33	A	-0,14	5,74	-0,05	6,02	-0,32	0,32	-0,11	0,33	-0,32	8,33	-0,14	5,74
	100	---	B	-0,17	---	-0,12	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
	100	---	C	-0,17	---	-0,11	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 7	85	33,33	A	-0,14	5,74	-0,05	6,02	-0,32	0,32	0,00	0,67	-0,32	8,33	-0,14	5,74
	100	---	B	-0,17	---	-0,13	---	-100,00	---	0,00	---	-100,00	---	-0,17	---
	100	---	C	-0,17	---	-0,12	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 8	85	33,33	A	-0,14	5,74	-0,05	6,02	-0,32	0,32	-0,11	0,33	-0,32	8,33	-0,14	5,74
	100	---	B	-0,17	---	-0,10	---	-100,00	---	0,00	---	-100,00	---	-0,17	---
	100	---	C	-0,17	---	-0,11	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 9	85	33,33	A	-0,14	5,74	-0,05	6,02	-0,32	0,32	-0,11	0,33	-0,32	8,33	-0,14	5,74
	100	---	B	-0,17	---	-0,13	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
	100	---	C	-0,17	---	-0,11	---	-100,00	---	0,00	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 10	85	33,33	A	-0,14	5,74	-0,05	6,02	-0,32	0,32	-0,11	0,33	-0,32	9,33	-0,14	5,74
	100	---	B	-0,17	---	-0,11	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
	100	---	C	-0,17	---	-0,11	---	-100,00	---	0,00	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 11	85	33,33	A	-0,14	6,03	-0,05	6,02	-0,32	0,32	-0,11	0,33	-0,32	8,33	-0,14	6,03
	100	---	B	-0,17	---	-0,13	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
	100	---	C	-0,17	---	-0,11	---	-100,00	---	0,00	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 12	85	33,33	A	-0,14	5,74	-0,05	6,02	-0,32	0,32	0,00	0,33	-0,32	8,33	-0,14	5,74
	100	---	B	-0,17	---	-0,09	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
	100	---	C	-0,17	---	-0,10	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 13	85	33,33	A	-0,14	6,03	-0,05	6,02	-0,42	0,42	-0,11	0,33	-0,42	8,33	-0,14	6,03

Erro 12	Padrão		Fase	A		B		C		D		E		F	
				(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms
Erro 12	100	---	B	-0,17	---	-0,12	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
	100	---	C	-0,17	---	-0,11	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 14	85	33,33	A	-0,14	5,88	-0,05	6,02	-0,42	0,42	0,00	0,67	-0,42	8,33	-0,14	5,88
	100	---	B	-0,17	---	-0,11	---	-100,00	---	0,00	---	-100,00	---	-0,17	---
	100	---	C	-0,17	---	-0,11	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 15	85	33,33	A	-0,14	5,74	-0,05	6,02	-0,32	0,32	-0,11	0,33	-0,32	8,33	-0,14	5,74
	100	---	B	-0,17	---	-0,10	---	-100,00	---	0,00	---	-100,00	---	-0,17	---
	100	---	C	-0,17	---	-0,09	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 16	85	33,33	A	-0,14	5,88	-0,05	6,02	-0,42	0,42	0,00	0,67	-0,42	8,33	-0,14	5,88
	100	---	B	-0,17	---	-0,09	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
	100	---	C	-0,17	---	-0,09	---	-100,00	---	0,00	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 17	85	33,33	A	-0,14	5,74	-0,05	6,02	-0,32	0,32	-0,11	0,33	-0,32	8,33	-0,14	5,74
	100	---	B	-0,17	---	-0,13	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
	100	---	C	-0,17	---	-0,10	---	-100,00	---	0,00	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 18	85	33,33	A	-0,14	5,88	-0,05	6,02	-0,32	0,32	-0,11	0,33	-0,32	8,33	-0,14	5,88
	100	---	B	-0,17	---	-0,10	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
	100	---	C	-0,17	---	-0,09	---	-100,00	---	0,00	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 19	85	33,33	A	-0,14	5,88	-0,05	5,59	-0,32	0,32	0,00	0,67	-0,32	8,33	-0,14	5,88
	100	---	B	-0,17	---	-0,13	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
	100	---	C	-0,17	---	-0,10	---	-100,00	---	-0,1	---	-100,00	---	-0,17	---
Evento 20	85	33,33	A	-0,14	5,74	-0,05	6,02	-0,42	0,42	0,00	0,33	-0,42	8,33	-0,14	5,74
	100	---	B	-0,14	---	-0,05	---	9,79	---	0,00	---	9,79	---	-0,14	---
	100	---	C	-0,14	---	-0,01	---	6,7491	---	0,00	---	6,74	---	-0,14	---

APÊNDICE C.

Tabela C1 - Resultados de medição para afundamento trifásico de tensão com magnitude de 70% e duração de 16,67ms.

Ensaio 16	Padrão		Fase	A		B		C		D		E		F	
	70	16,67													
Evento 1	70	16,67	A	69,90	21,28	69,95	21,26	69,97	18	69,9	17	70,00	24	71,81	16
	70	16,67	B	69,90	21,28	69,97	21,26	70,06	18	70	17	73,30	25	76,85	24
	70	16,67	C	69,91	21,28	69,99	21,26	69,92	18	70	17	73,54	24	74,72	24
Evento 2	70	16,67	A	69,90	21,39	69,96	21,26	69,91	18	69,9	16	70,00	24	71,81	16
	70	16,67	B	69,90	21,39	69,97	21,26	70,00	18	70	16	73,30	25	76,85	25
	70	16,67	C	69,91	21,39	69,99	21,26	69,77	18	70	16	73,54	24	74,72	25
Evento 3	70	16,67	A	69,90	21,31	69,96	21,28	69,92	18	70	17	70,00	24	71,81	16
	70	16,67	B	69,90	21,31	69,97	21,28	69,92	18	70	17	73,30	25	76,77	25
	70	16,67	C	69,91	21,31	69,98	21,28	69,91	18	70	17	73,54	24	74,72	25
Evento 4	70	16,67	A	69,90	21,35	69,96	21,34	69,97	18	70	20	70,00	24	71,81	16
	70	16,67	B	69,90	21,35	69,97	21,34	69,98	18	70	20	73,30	25	76,85	25
	70	16,67	C	69,91	21,35	69,99	21,34	69,95	18	70	20	73,54	24	74,80	25
Evento 5	70	16,67	A	69,91	21,40	69,96	21,31	69,87	18	70	18	70,00	24	71,81	25
	70	16,67	B	69,91	21,40	69,97	21,19	69,92	18	70	18	73,30	25	76,85	16
	70	16,67	C	69,91	21,40	69,98	21,31	69,83	18	70	18	73,54	24	74,80	25
Evento 6	70	16,67	A	69,90	21,41	69,96	21,27	69,87	18	69,9	17	70,00	24	71,81	24
	70	16,67	B	69,91	21,41	69,97	21,27	70,02	18	70	17	73,30	25	76,85	16
	70	16,67	C	69,91	21,41	69,99	21,27	69,99	18	70	17	73,54	24	74,72	24
Evento 7	70	16,67	A	69,90	21,39	69,96	21,26	69,91	18	69,9	21	70,00	24	71,81	24
	70	16,67	B	69,91	21,39	69,97	21,26	69,83	18	70	21	73,30	25	76,85	16
	70	16,67	C	69,91	21,39	69,99	21,26	69,86	18	70	21	73,54	24	74,80	24

Ensaio 16	Padrão		Fase	A		B		C		D		E		F	
Evento 8	70	16,67	A	69,90	21,33	69,96	21,31	69,80	18	69,9	21	70,00	24	71,81	25
	70	16,67	B	69,91	21,33	69,97	21,31	69,94	18	70	21	73,30	25	76,85	16
	70	16,67	C	69,91	21,33	69,99	21,31	70,15	18	70	21	73,54	24	74,72	25
Evento 9	70	16,67	A	69,90	21,35	69,96	21,25	69,83	18	69,9	22	70,00	24	71,81	25
	70	16,67	B	69,91	21,35	69,97	21,25	69,92	18	70	22	73,30	25	76,85	16
	70	16,67	C	69,91	21,35	69,98	21,25	69,78	18	70	22	73,54	24	74,72	25
Evento 10	70	16,67	A	69,90	21,42	69,96	21,21	69,83	18	69,9	19	70,00	24	71,81	25
	70	16,67	B	69,91	21,42	69,97	21,21	69,98	18	70	19	73,30	25	76,85	16
	70	16,67	C	69,91	21,42	69,99	21,21	69,86	18	70	19	73,54	24	74,80	25
Evento 11	70	16,67	A	69,91	21,47	69,95	21,31	69,93	18	70	19	70,00	24	71,81	25
	70	16,67	B	69,91	21,47	69,98	21,31	69,86	18	70	19	73,30	25	76,85	16
	70	16,67	C	69,91	21,47	69,99	21,31	69,94	18	70	19	73,54	24	74,72	25
Evento 12	70	16,67	A	69,91	21,34	69,96	21,30	69,91	18	69,9	18	70,00	24	71,81	25
	70	16,67	B	69,91	21,34	69,98	21,30	69,96	18	70	18	73,30	25	76,85	17
	70	16,67	C	69,91	21,34	69,99	21,30	69,89	18	70	18	73,54	24	74,72	25
Evento 13	70	16,67	A	69,91	21,36	69,96	21,35	69,78	18	70	16	70,00	24	71,81	24
	70	16,67	B	69,91	21,36	69,98	21,35	69,87	18	70	16	73,30	25	76,85	16
	70	16,67	C	69,91	21,36	69,99	21,35	69,94	18	70	16	73,54	24	74,72	24
Evento 14	70	16,67	A	69,91	21,42	69,96	21,30	69,89	18	70	18	70,00	24	71,81	24
	70	16,67	B	69,91	21,42	69,98	21,30	70,08	18	70,2	18	73,30	25	76,85	16
	70	16,67	C	69,91	21,42	69,99	21,30	69,87	18	70,3	18	73,54	24	74,72	24
Evento 15	70	16,67	A	69,91	21,44	69,96	21,18	69,79	18	69,9	19	70,00	24	71,81	24
	70	16,67	B	69,91	21,44	69,97	21,18	69,81	18	70	19	73,30	25	76,85	16
	70	16,67	C	69,91	21,44	69,99	21,18	69,87	18	70	19	73,54	24	74,72	24
Evento 16	70	16,67	A	69,91	21,43	69,96	21,21	69,90	18	69,9	17	70,00	24	71,81	25
	70	16,67	B	69,91	21,43	69,97	21,21	69,92	18	70	17	73,30	25	76,85	16

Ensaio 16	Padrão		Fase	A		B		C		D		E		F	
	70	16,67		69,91	21,43	69,99	21,21	69,81	18	70	17	73,54	24	74,72	25
Evento 17	70	16,67	A	69,90	21,44	69,95	21,26	69,89	18	69,9	16	70,00	24	71,81	25
	70	16,67	B	69,91	21,44	69,97	21,26	69,98	18	70	16	73,30	25	76,85	16
	70	16,67	C	69,91	21,44	69,99	21,26	69,76	18	70	16	73,54	24	74,80	25
	70	16,67	A	69,91	21,40	69,96	21,40	69,98	18	69,9	16	70,00	24	71,81	24
Evento 18	70	16,67	B	69,91	21,40	69,97	21,40	69,98	18	70	16	73,30	25	76,85	16
	70	16,67	C	69,91	21,40	69,99	21,40	70,05	18	70	16	73,54	24	74,72	24
	70	16,67	A	69,90	21,47	69,96	21,35	69,87	18	69,7	16	70,00	24	71,81	25
Evento 19	70	16,67	B	69,91	21,47	69,97	21,35	70,00	18	69,8	16	73,30	25	76,85	16
	70	16,67	C	69,91	21,47	69,99	21,35	69,95	18	70,1	16	73,54	24	74,72	25
	70	16,67	A	69,90	21,51	69,96	21,21	69,91	18	69,9	17	70,00	24	71,81	25
Evento 20	70	16,67	B	69,91	21,51	69,97	21,21	69,97	18	70	17	73,30	25	76,85	16
	70	16,67	C	69,91	21,51	69,99	21,21	69,94	18	70	17	73,54	24	74,72	25

Tabela C2 - Erro de medição de afundamento trifásico de tensão com magnitude de 70% e duração de 16,67ms.

Erro 16	Padrão		Fase	A		B		C		D		E		F	
	70	16,67		(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms
Evento 1	70	16,67	A	-0,15	4,61	-0,07	4,60	-0,05	1,33	-0,14	0,33	0,00	7,33	2,59	0,67
	70	16,67	B	-0,15	4,61	-0,05	4,60	0,09	1,33	0,00	0,33	4,72	8,33	9,79	7,33
	70	16,67	C	-0,14	4,61	-0,01	4,60	-0,11	1,33	0,00	0,33	5,06	7,33	6,74	7,33
Evento 2	70	16,67	A	-0,15	4,73	-0,06	4,59	-0,14	1,33	-0,14	0,67	0,00	7,33	2,59	0,67
	70	16,67	B	-0,15	4,73	-0,05	4,59	0,00	1,33	0,00	0,67	4,72	8,33	9,79	8,33
	70	16,67	C	-0,14	4,73	-0,01	4,59	-0,33	1,33	0,00	0,67	5,06	7,33	6,75	8,33
Evento 3	70	16,67	A	-0,15	4,64	-0,06	4,61	-0,11	1,33	0,00	0,33	0,00	7,33	2,59	0,67
	70	16,67	B	-0,15	4,64	-0,05	4,61	-0,11	1,33	0,00	0,33	4,72	8,33	9,67	8,33
	70	16,67	C	-0,14	4,64	-0,02	4,61	-0,12	1,33	0,00	0,33	5,06	7,33	6,75	8,33

Erro 16	Padrão		Fase	A		B		C		D		E		F	
				(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms
Evento 4	70	16,67	A	-0,15	4,69	-0,06	4,68	-0,05	1,33	0,00	3,33	0,00	7,33	2,59	0,67
	70	16,67	B	-0,15	4,69	-0,05	4,68	-0,03	1,33	0,00	3,33	4,72	8,33	9,79	8,33
	70	16,67	C	-0,14	4,69	-0,01	4,68	-0,07	1,33	0,00	3,33	5,06	7,33	6,86	8,33
Evento 5	70	16,67	A	-0,14	4,73	-0,06	4,65	-0,18	1,33	0,00	1,33	0,00	7,33	2,59	8,33
	70	16,67	B	-0,14	4,73	-0,05	4,65	-0,11	1,33	0,00	1,33	4,72	8,33	9,79	0,67
	70	16,67	C	-0,14	4,73	-0,02	4,65	-0,25	1,33	0,00	1,33	5,06	7,33	6,86	8,33
Evento 6	70	16,67	A	-0,15	4,74	-0,06	4,61	-0,18	1,33	-0,14	0,33	0,00	7,33	2,59	7,33
	70	16,67	B	-0,14	4,74	-0,05	4,61	0,02	1,33	0,00	0,33	4,72	8,33	9,79	0,67
	70	16,67	C	-0,14	4,74	-0,01	4,61	-0,01	1,33	0,00	0,33	5,06	7,33	6,75	7,33
Evento 7	70	16,67	A	-0,15	4,72	-0,06	4,60	-0,14	1,33	-0,14	4,33	0,00	7,33	2,59	7,33
	70	16,67	B	-0,14	4,72	-0,05	4,60	-0,25	1,33	0,00	4,33	4,72	8,33	9,79	0,67
	70	16,67	C	-0,14	4,72	-0,01	4,60	-0,20	1,33	0,00	4,33	5,06	7,33	6,86	7,33
Evento 8	70	16,67	A	-0,15	4,66	-0,06	4,64	-0,29	1,33	-0,14	4,33	0,00	7,33	2,59	8,33
	70	16,67	B	-0,14	4,66	-0,05	4,64	-0,08	1,33	0,00	4,33	4,72	8,33	9,79	0,67
	70	16,67	C	-0,14	4,66	-0,01	4,64	0,21	1,33	0,00	4,33	5,06	7,33	6,75	8,33
Evento 9	70	16,67	A	-0,15	4,69	-0,06	4,59	-0,24	1,33	-0,14	5,33	0,00	7,33	2,59	8,33
	70	16,67	B	-0,14	4,69	-0,05	4,59	-0,11	1,33	0,00	5,33	4,72	8,33	9,79	0,67
	70	16,67	C	-0,13	4,69	-0,02	4,59	-0,32	1,33	0,00	5,33	5,06	7,33	6,75	8,33
Evento 10	70	16,67	A	-0,15	4,75	-0,06	4,54	-0,24	1,33	-0,14	2,33	0,00	7,33	2,59	8,33
	70	16,67	B	-0,14	4,75	-0,05	4,54	-0,03	1,33	0,00	2,33	4,72	8,33	9,79	0,67
	70	16,67	C	-0,14	4,75	-0,01	4,54	-0,20	1,33	0,00	2,33	5,06	7,33	6,86	8,33
Evento 11	70	16,67	A	-0,14	4,81	-0,07	4,65	-0,10	1,33	0,00	2,33	0,00	7,33	2,59	8,33
	70	16,67	B	-0,14	4,81	-0,03	4,65	-0,20	1,33	0,00	2,33	4,72	8,33	9,79	0,67
	70	16,67	C	-0,14	4,81	-0,01	4,65	-0,09	1,33	0,00	2,33	5,06	7,33	6,75	8,33
Evento 12	70	16,67	A	-0,14	4,67	-0,06	4,64	-0,12	1,33	-0,14	1,33	0,00	7,33	2,59	8,33
	70	16,67	B	-0,14	4,67	-0,03	4,64	-0,06	1,33	0,00	1,33	4,72	8,33	9,79	0,33

Erro 16	Padrão		Fase	A		B		C		D		E		F	
				(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms
	70	16,67	C	-0,13	4,67	-0,01	4,64	-0,16	1,33	0,00	1,33	5,06	7,33	6,75	8,33
Evento 13	70	16,67	A	-0,14	4,69	-0,06	4,69	-0,32	1,33	0,00	0,67	0,00	7,33	2,59	7,33
	70	16,67	B	-0,14	4,69	-0,03	4,69	-0,19	1,33	0,00	0,67	4,72	8,33	9,79	0,67
	70	16,67	C	-0,14	4,69	-0,01	4,69	-0,09	1,33	0,00	0,67	5,06	7,33	6,75	7,33
Evento 14	70	16,67	A	-0,14	4,75	-0,06	4,64	-0,16	1,33	0,00	1,33	0,00	7,33	2,59	7,33
	70	16,67	B	-0,14	4,75	-0,03	4,64	0,11	1,33	0,29	1,33	4,72	8,33	9,79	0,67
	70	16,67	C	-0,13	4,75	-0,01	4,64	-0,18	1,33	0,43	1,33	5,06	7,33	6,75	7,33
Evento 15	70	16,67	A	-0,14	4,78	-0,06	4,52	-0,30	1,33	-0,14	2,33	0,00	7,33	2,59	7,33
	70	16,67	B	-0,14	4,78	-0,05	4,52	-0,27	1,33	0,00	2,33	4,72	8,33	9,79	0,67
	70	16,67	C	-0,13	4,78	-0,01	4,52	-0,18	1,33	0,00	2,33	5,06	7,33	6,75	7,33
Evento 16	70	16,67	A	-0,14	4,76	-0,06	4,54	-0,15	1,33	-0,14	0,33	0,00	7,33	2,59	8,33
	70	16,67	B	-0,14	4,76	-0,05	4,54	-0,11	1,33	0,00	0,33	4,72	8,33	9,79	0,67
	70	16,67	C	-0,13	4,76	-0,01	4,54	-0,27	1,33	0,00	0,33	5,06	7,33	6,75	8,33
Evento 17	70	16,67	A	-0,15	4,78	-0,07	4,59	-0,16	1,33	-0,14	0,67	0,00	7,33	2,59	8,33
	70	16,67	B	-0,14	4,78	-0,05	4,59	-0,03	1,33	0,00	0,67	4,72	8,33	9,79	0,67
	70	16,67	C	-0,13	4,78	-0,01	4,59	-0,34	1,33	0,00	0,67	5,06	7,33	6,86	8,33
Evento 18	70	16,67	A	-0,14	4,73	-0,06	4,74	-0,02	1,33	-0,14	0,67	0,00	7,33	2,59	7,33
	70	16,67	B	-0,14	4,73	-0,05	4,74	-0,03	1,33	0,00	0,67	4,72	8,33	9,79	0,67
	70	16,67	C	-0,13	4,73	-0,01	4,74	0,07	1,33	0,00	0,67	5,06	7,33	6,75	7,33
Evento 19	70	16,67	A	-0,15	4,81	-0,06	4,69	-0,18	1,33	-0,43	0,67	0,00	7,33	2,59	8,33
	70	16,67	B	-0,13	4,81	-0,05	4,69	0,00	1,33	-0,29	0,67	4,72	8,33	9,79	0,67
	70	16,67	C	-0,13	4,81	-0,01	4,69	-0,07	1,33	0,14	0,67	5,06	7,33	6,75	8,33
Evento 20	70	16,67	A	-0,15	4,85	-0,06	4,55	-0,14	1,33	-0,14	0,33	0,00	7,33	2,59	8,33
	70	16,67	B	-0,14	4,85	-0,05	4,55	-0,05	1,33	0,00	0,33	4,72	8,33	9,79	0,67
	70	16,67	C	-0,14	4,85	-0,01	4,55	-0,08	1,33	0,00	0,33	5,06	7,33	6,75	8,33

Tabela C3 - Resultados de medição para afundamento trifásico de tensão com magnitude de 40% e duração de 333,33ms.

Ensaio 17	Padrão		Fase	A		B		C		D		E		F	
	40	333,33													
Evento 1	40	333,33	A	39,94	343,04	39,98	343,02	39,81	395	39,9	334	40,00	300	39,21	341
	40	333,33	B	39,92	343,04	39,95	343,07	39,84	395	40	334	40,00	301	39,61	350
	40	333,33	C	39,91	343,04	39,96	343,13	39,79	395	40	334	40,00	301	40,00	341
Evento 2	40	333,33	A	39,94	342,98	39,98	343,02	39,84	395	39,9	333	40,00	300	39,21	339
	40	333,33	B	39,92	342,98	39,94	343,04	39,99	395	39,9	333	40,00	301	39,61	349
	40	333,33	C	39,92	342,98	39,95	343,09	39,95	395	40	333	40,00	301	39,92	339
Evento 3	40	333,33	A	39,94	343,12	39,98	343,01	39,79	394	40	334	40,00	300	39,21	341
	40	333,33	B	39,92	343,12	39,93	343,05	39,83	394	40	334	40,00	301	39,61	350
	40	333,33	C	39,92	343,12	39,95	343,08	39,73	394	40	334	40,00	301	39,92	341
Evento 4	40	333,33	A	39,94	343,12	39,98	343,00	39,75	340	39,9	333	40,00	300	39,21	341
	40	333,33	B	39,92	343,12	39,97	343,04	39,84	340	39,9	333	40,00	301	39,61	350
	40	333,33	C	39,91	343,12	39,95	343,08	39,68	340	40	333	40,00	301	39,92	341
Evento 5	40	333,33	A	39,94	343,12	39,97	343,03	39,81	340	39,9	333	40,00	300	39,21	341
	40	333,33	B	39,92	343,12	39,95	343,09	39,83	340	39,8	333	40,00	301	39,61	350
	40	333,33	C	39,92	343,12	39,95	343,09	39,72	340	39,9	333	40,00	301	39,92	341
Evento 6	40	333,33	A	39,94	343,12	39,98	343,02	39,81	340	39,9	333	40,00	300	39,21	339
	40	333,33	B	39,92	343,12	39,94	343,09	39,82	340	40	333	40,00	301	39,61	349
	40	333,33	C	39,92	343,12	39,95	343,09	39,77	340	40	333	40,00	301	39,92	339
Evento 7	40	333,33	A	39,94	343,12	39,98	343,03	39,71	340	39,9	334	40,00	300	39,21	341
	40	333,33	B	39,92	343,12	39,97	343,07	39,81	340	40	334	40,00	301	39,61	350
	40	333,33	C	39,92	343,12	39,96	343,08	39,79	340	39,8	334	40,00	301	40,00	341
Evento 8	40	333,33	A	39,94	343,12	39,98	342,99	39,76	339	40	333	40,00	300	39,21	341
	40	333,33	B	39,91	343,12	39,94	343,09	39,80	339	40	333	40,00	301	39,61	350

Ensaio 17	Padrão		Fase	A		B		C		D		E		F	
	40	333,33	C	39,91	343,12	39,96	343,08	39,81	339	40	333	40,00	301	40,00	341
Evento 9	40	333,33	A	39,94	343,12	39,98	343,03	39,76	397	40	333	40,00	300	39,21	341
	40	333,33	B	39,92	343,12	39,95	343,09	39,76	397	40	333	40,00	301	39,61	350
	40	333,33	C	39,92	343,12	39,96	343,08	39,74	397	40	333	40,00	301	39,92	341
	40	333,33	A	39,94	343,12	39,98	343,01	39,82	340	39,5	333	40,00	300	39,21	341
Evento 10	40	333,33	B	39,92	343,12	39,97	343,07	39,71	340	39,8	333	40,00	301	39,61	350
	40	333,33	C	39,92	343,12	39,96	343,08	39,82	340	39,9	333	40,00	301	40,00	341
	40	333,33	A	39,94	343,12	39,97	343,03	39,74	395	40	333	40,00	300	39,21	340
Evento 11	40	333,33	B	39,92	343,12	39,94	343,09	39,75	395	40	333	40,00	301	39,61	350
	40	333,33	C	39,92	343,12	39,95	343,08	39,79	395	40	333	40,00	301	39,92	340
	40	333,33	A	39,94	343,12	39,97	343,03	39,77	387	39,9	333	40,00	300	39,21	341
Evento 12	40	333,33	B	39,92	343,12	39,97	343,07	39,82	387	40	333	40,00	301	39,61	350
	40	333,33	C	39,91	343,12	39,95	343,08	39,82	387	40	333	40,00	301	39,92	341
	40	333,33	A	39,94	343,12	39,97	343,03	39,81	340	39,9	333	40,00	300	39,21	341
Evento 13	40	333,33	B	39,92	343,12	39,97	343,07	39,77	340	40	333	40,00	301	39,61	350
	40	333,33	C	39,92	343,12	39,95	343,08	39,75	340	39,9	333	40,00	301	40,00	341
	40	333,33	A	39,94	343,12	39,97	343,02	39,78	340	40	334	40,00	300	39,21	340
Evento 14	40	333,33	B	39,92	343,12	39,94	343,10	39,79	340	40	334	40,00	301	39,61	349
	40	333,33	C	39,92	343,12	39,95	343,08	39,78	340	40	334	40,00	301	39,92	340
	40	333,33	A	39,94	343,12	39,97	343,03	39,79	340	39,8	333	40,00	300	39,21	341
Evento 15	40	333,33	B	39,92	343,12	39,95	343,08	39,79	340	40	333	40,00	301	39,61	350
	40	333,33	C	39,92	343,12	39,96	343,08	39,67	340	39,6	333	40,00	301	40,00	341
	40	333,33	A	39,94	343,12	39,98	342,97	39,81	392	39,9	334	40,00	300	39,21	341
Evento 16	40	333,33	B	39,92	343,12	39,95	343,03	39,84	392	40	334	40,00	301	39,61	351
	40	333,33	C	39,92	343,12	39,96	343,02	39,71	392	40	334	40,00	301	40,00	341
	40	333,33	A	39,94	343,12	39,97	343,02	39,82	340	39,6	333	40,00	300	39,21	341
Evento 17	40	333,33	A	39,94	343,12	39,97	343,02	39,82	340	39,6	333	40,00	300	39,21	341

Ensaio 17	Padrão		Fase	A		B		C		D		E		F	
	40	333,33	B	39,92	343,12	39,96	343,08	39,83	340	39,8	333	40,00	301	39,61	350
	40	333,33	C	39,92	343,12	39,96	343,08	39,78	340	39,9	333	40,00	301	39,92	341
Evento 18	40	333,33	A	39,94	343,12	39,98	343,03	39,83	391	39,9	333	40,00	300	39,21	342
	40	333,33	B	39,92	343,12	39,94	343,09	39,79	391	40	333	40,00	301	39,61	351
	40	333,33	C	39,92	343,12	39,95	343,08	39,77	391	40	333	40,00	301	39,92	342
Evento 19	40	333,33	A	39,94	343,12	39,97	343,02	39,83	339	39,9	334	40,00	300	39,21	341
	40	333,33	B	39,92	343,12	39,97	343,07	39,82	339	40	334	40,00	301	39,61	350
	40	333,33	C	39,92	343,12	39,95	343,08	39,81	339	40	334	40,00	301	39,92	341
Evento 20	40	333,33	A	39,94	343,12	39,98	343,02	39,80	372	39,9	333	40,00	300	39,21	342
	40	333,33	B	39,92	343,12	39,97	343,07	39,81	372	40	333	40,00	301	39,61	351
	40	333,33	C	39,92	343,12	39,96	343,07	39,82	372	39,9	333	40,00	301	40	342

Tabela C4 - Erro de medição para afundamento trifásico de tensão com magnitude de 40% e duração de 333,33ms.

Erro 17	Padrão		Fase	A		B		C		D		E		F	
				(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms
Evento 1	40	333,33	A	-0,16	9,71	-0,06	9,69	-0,47	61,67	-0,25	0,67	0,00	33,33	-1,97	7,67
	40	333,33	B	-0,20	9,71	-0,12	9,74	-0,40	61,67	0,00	0,67	0,00	32,33	-0,98	16,67
	40	333,33	C	-0,22	9,71	-0,10	9,80	-0,51	61,67	0,00	0,67	0,00	32,33	0,00	7,67
Evento 2	40	333,33	A	-0,14	9,65	-0,06	9,69	-0,41	61,67	-0,25	0,33	0,00	33,33	-1,97	5,67
	40	333,33	B	-0,20	9,65	-0,16	9,71	-0,02	61,67	-0,25	0,33	0,00	32,33	-0,98	15,67
	40	333,33	C	-0,20	9,65	-0,12	9,76	-0,12	61,67	0,00	0,33	0,00	32,33	-0,20	5,67
Evento 3	40	333,33	A	-0,14	9,79	-0,06	9,68	-0,53	60,67	0,00	0,67	0,00	33,33	-1,97	7,67
	40	333,33	B	-0,20	9,79	-0,18	9,72	-0,43	60,67	0,00	0,67	0,00	32,33	-0,98	16,67
	40	333,33	C	-0,20	9,79	-0,12	9,75	-0,67	60,67	0,00	0,67	0,00	32,33	-0,20	7,67
Evento 4	40	333,33	A	-0,14	9,79	-0,06	9,67	-0,63	6,67	-0,25	0,33	0,00	33,33	-1,97	7,67
	40	333,33	B	-0,20	9,79	-0,08	9,71	-0,41	6,67	-0,25	0,33	0,00	32,33	-0,98	16,67

Erro 17	Padrão		Fase	A		B		C		D		E		F	
				(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms
	40	333,33	C	-0,22	9,79	-0,12	9,75	-0,79	6,67	0,00	0,33	0,00	32,33	-0,20	7,67
Evento 5	40	333,33	A	-0,14	9,79	-0,08	9,70	-0,48	6,67	-0,25	0,33	0,00	33,33	-1,97	7,67
	40	333,33	B	-0,20	9,79	-0,12	9,76	-0,42	6,67	-0,5	0,33	0,00	32,33	-0,98	16,67
	40	333,33	C	-0,20	9,79	-0,12	9,76	-0,69	6,67	-0,25	0,33	0,00	32,33	0,20	7,67
Evento 6	40	333,33	A	-0,14	9,79	-0,06	9,69	-0,49	6,67	-0,25	0,33	0,00	-33,33	-1,97	5,67
	40	333,33	B	-0,20	9,79	-0,14	9,76	-0,45	6,67	0,00	0,33	0,00	32,33	-0,98	15,67
	40	333,33	C	-0,20	9,79	-0,12	9,76	-0,57	6,67	0,00	0,33	0,00	32,33	-0,20	5,67
Evento 7	40	333,33	A	-0,14	9,79	-0,06	9,70	-0,72	6,67	-0,25	0,67	0,00	33,33	-1,97	7,67
	40	333,33	B	-0,20	9,79	-0,08	9,74	-0,49	6,67	0,00	0,67	0,00	32,33	-0,98	16,67
	40	333,33	C	-0,20	9,79	-0,10	9,75	-0,53	6,67	-0,5	0,67	0,00	32,33	0,00	7,67
Evento 8	40	333,33	A	-0,14	9,79	-0,06	9,66	-0,59	5,67	0,00	0,33	0,00	33,33	-1,97	7,67
	40	333,33	B	-0,22	9,79	-0,16	9,76	-0,49	5,67	0,00	0,33	0,00	32,33	-0,98	16,67
	40	333,33	C	-0,22	9,79	-0,10	9,75	-0,47	5,67	0,00	0,33	0,00	32,33	0,00	7,67
Evento 9	40	333,33	A	-0,14	9,79	-0,06	9,70	-0,60	63,67	0,00	0,33	0,00	33,33	-1,97	7,67
	40	333,33	B	-0,20	9,79	-0,12	9,76	-0,59	63,67	0,00	0,33	0,00	32,33	-0,98	16,67
	40	333,33	C	-0,20	9,79	-0,10	9,75	-0,64	63,67	0,00	0,33	0,00	32,33	-0,20	7,67
Evento 10	40	333,33	A	-0,14	9,79	-0,06	9,68	-0,45	6,67	-1,25	0,33	0,00	33,33	-1,97	7,67
	40	333,33	B	-0,20	9,79	-0,08	9,74	-0,72	6,67	-0,5	0,33	0,00	32,33	-0,98	16,67
	40	333,33	C	-0,20	9,79	-0,10	9,75	-0,45	6,67	-0,25	0,33	0,00	32,33	0,00	7,67
Evento 11	40	333,33	A	-0,14	9,79	-0,08	9,70	-0,66	61,67	0,00	0,33	0,00	33,33	-1,97	6,67
	40	333,33	B	-0,20	9,79	-0,14	9,76	-0,61	61,67	0,00	0,33	0,00	32,33	-0,98	16,67
	40	333,33	C	-0,20	9,79	-0,12	9,75	-0,53	61,67	0,00	0,33	0,00	32,33	-0,20	6,67
Evento 12	40	333,33	A	-0,14	9,79	-0,08	9,70	-0,59	53,67	-0,25	0,33	0,00	33,33	-1,97	7,67
	40	333,33	B	-0,20	9,79	-0,08	9,74	-0,44	53,67	0,00	0,33	0,00	32,33	-0,98	16,67
	40	333,33	C	-0,22	9,79	-0,12	9,75	-0,45	53,67	0,00	0,33	0,00	32,33	-0,20	7,67
Evento 13	40	333,33	A	-0,14	9,79	-0,08	9,70	-0,47	6,67	-0,25	0,33	0,00	33,33	-1,97	7,67

Erro 17	Padrão		Fase	A		B		C		D		E		F	
				(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms	(%)	ms
Erro 17	40	333,33	B	-0,20	9,79	-0,08	9,74	-0,58	6,67	0,00	0,33	0,00	32,33	-0,98	16,67
	40	333,33	C	-0,20	9,79	-0,12	9,75	-0,62	6,67	-0,25	0,33	0,00	32,33	0,00	7,67
Evento 14	40	333,33	A	-0,14	9,79	-0,08	9,69	-0,56	6,67	0,00	0,67	0,00	33,33	-1,97	6,67
	40	333,33	B	-0,20	9,79	-0,14	9,77	-0,54	6,67	0,00	0,67	0,00	32,33	-0,98	15,67
	40	333,33	C	-0,20	9,79	-0,12	9,75	-0,54	6,67	0,00	0,67	0,00	32,33	-0,20	6,67
Evento 15	40	333,33	A	-0,14	9,79	-0,08	9,70	-0,53	6,67	-0,5	0,33	0,00	33,33	-1,97	7,67
	40	333,33	B	-0,20	9,79	-0,12	9,75	-0,52	6,67	0,00	0,33	0,00	32,33	-0,98	16,67
	40	333,33	C	-0,20	9,79	-0,10	9,75	-0,82	6,67	-1,00	0,33	0,00	32,33	0,00	7,67
Evento 16	40	333,33	A	-0,14	9,79	-0,06	9,64	-0,49	58,67	-0,25	0,67	0,00	33,33	-1,97	7,67
	40	333,33	B	-0,20	9,79	-0,12	9,70	-0,41	58,67	0,00	0,67	0,00	32,33	-0,98	17,67
	40	333,33	C	-0,20	9,79	-0,10	9,69	-0,72	58,67	0,00	0,67	0,00	32,33	0,00	7,67
Evento 17	40	333,33	A	-0,14	9,79	-0,08	9,69	-0,44	6,67	-1,00	0,33	0,00	33,33	-1,97	7,67
	40	333,33	B	-0,20	9,79	-0,10	9,75	-0,43	6,67	-0,5	0,33	0,00	32,33	-0,98	16,67
	40	333,33	C	-0,20	9,79	-0,10	9,75	-0,55	6,67	-0,25	0,33	0,00	32,33	-0,20	7,67
Evento 18	70	333,33	A	-0,14	9,79	-0,06	9,70	-0,43	57,67	-0,25	0,33	0,00	33,33	-1,97	8,67
	70	333,33	B	-0,20	9,79	-0,16	9,76	-0,52	57,67	0,00	0,33	0,00	32,33	-0,98	17,67
	70	333,33	C	-0,20	9,79	-0,12	9,75	-0,58	57,67	0,00	0,33	0,00	32,33	-0,20	8,67
Evento 19	70	333,33	A	-0,14	9,79	-0,08	9,69	-0,43	5,67	-0,25	0,67	0,00	33,33	-1,97	7,67
	70	333,33	B	-0,20	9,79	-0,08	9,74	-0,45	5,67	0,00	0,67	0,00	32,33	-0,98	16,67
	70	333,33	C	-0,20	9,79	-0,12	9,75	-0,49	5,67	0,00	0,67	0,00	32,33	-0,20	7,67
Evento 20	70	333,33	A	-0,14	9,79	-0,06	9,69	-0,50	38,67	-0,25	0,33	0,00	33,33	-1,97	8,67
	70	333,33	B	-0,20	9,79	-0,08	9,74	-0,46	38,67	0,00	0,33	0,00	32,33	-0,98	17,67
	70	333,33	C	-0,20	9,79	-0,10	9,75	-0,43	38,67	-0,25	0,33	0,00	32,33	0,00	8,67

APÊNDICE D.

Tabela D1 - Medição de percentual harmônico em ensaio para composição de harmônicos.

Ensaio	Harmônica	Fase	Padrão	A	Erro (%)	B	Erro (%)	C	Erro (%)	D	Erro (%)	E	Erro (%)	F	Erro (%)
25	2	A	2,50	2,473	-1,08	2,482	-0,72	2,540	1,60	2,480	-0,80	2,50	0,00	2,50	0,00
		B	2,50	2,552	2,08	2,475	-1	2,440	-2,40	2,480	-0,80	2,50	0,00	2,50	0,00
		C	2,50	2,579	3,16	2,521	0,84	2,500	0,00	2,480	-0,80	2,50	0,00	2,50	0,00
	3	A	6,50	6,441	-0,91	6,483	-0,26	6,530	0,46	6,480	-0,31	6,50	0,00	6,50	0,00
		B	6,50	6,435	-1,00	6,472	-0,43	6,530	0,46	6,480	-0,31	6,50	0,00	6,50	0,00
		C	6,50	6,467	-0,51	6,510	0,15	6,620	1,85	6,480	-0,31	6,50	0,00	6,50	0,00
	4	A	1,50	1,482	-1,2	1,471	-1,93	1,500	0,00	1,480	-1,33	1,50	0,00	1,50	0,00
		B	1,50	1,425	-5,00	1,480	-1,33	1,470	-2,00	1,480	-1,33	1,50	0,00	1,50	0,00
		C	1,50	1,375	-8,33	1,481	-1,26	1,550	3,33	1,480	-1,33	1,50	0,00	1,50	0,00
	5	A	7,50	7,422	-1,04	7,491	-0,12	7,510	0,13	7,469	-0,40	7,40	-1,33	7,50	0,00
		B	7,50	7,515	0,20	7,467	-0,44	7,540	0,53	7,489	-0,13	7,40	-1,33	7,50	0,00
		C	7,50	7,521	0,28	7,489	-1,1	7,430	-0,93	7,489	-0,13	7,40	-1,33	7,50	0,00
	7	A	6,50	6,431	-1,06	6,511	0,17	6,540	0,62	6,489	-0,16	6,40	-1,53	6,50	0,00
		B	6,50	6,382	-1,82	6,520	0,30	6,450	-0,77	6,460	-0,62	6,40	-1,53	6,50	0,00
		C	6,50	6,330	-2,62	6,487	-0,2	6,410	-1,38	6,480	-0,31	6,40	-1,53	6,50	0,00
	11	A	4,50	4,448	-1,16	4,489	-0,24	4,470	-0,67	4,460	-0,89	4,40	-2,22	4,50	0,00
		B	4,50	4,543	0,96	4,480	-0,44	4,550	1,11	4,480	-0,44	4,50	0,00	4,50	0,00
		C	4,50	4,524	0,53	4,491	-0,2	4,500	0,00	4,480	-0,44	4,50	0,00	4,50	0,00
	13	A	4,00	3,946	-1,35	3,981	-0,48	3,980	-0,50	3,980	-0,50	3,90	-2,50	4,00	0,00
		B	4,00	3,926	-1,85	3,932	-1,7	4,090	2,25	3,960	-1,00	4,00	0,00	4,00	0,00
		C	4,00	3,849	-3,78	3,911	-2,23	3,930	-1,75	3,970	-0,75	4,00	0,00	4,00	0,00

APÊNDICE E.

Tabela E1 - Medição de ângulo de fase em ensaio para composição de harmônicos.

Ensaio	Harmônica	Fase	Padrão	A	Erro (°)	B	Erro (°)	C	Erro (°)	D	Erro (°)	E	Erro (°)	F	Erro (°)
25	2	A	0°	0°	0°	0°	0°	0,90°	0,90°	-0,19°	-0,19°	---	---	---	---
		B	120°	120°	0°	120°	0°	119,87°	-0,13°	119,9°	-0,1°	---	---	---	---
		C	240°	242°	2°	241°	1°	241,40°	1,40°	239,9°	-0,1°	---	---	---	---
	3	A	0°	0°	0°	0°	0°	1,24°	1,24°	0,23°	0,23°	---	---	---	---
		B	0°	1°	1°	1°	1°	0,42°	0,42°	0,25°	0,25°	---	---	---	---
		C	0°	0°	0°	0°	0°	359,68°	-0,32°	0,20°	0,20°	---	---	---	---
	4	A	0°	0°	0°	0°	0°	358,27°	-1,73°	-0,37°	-0,37°	---	---	---	---
		B	240°	238°	-2°	240°	0°	239,50°	-0,50°	239,58°	-0,42°	---	---	---	---
		C	120°	123°	3°	121°	1°	121,70°	1,70°	119,61°	-0,39°	---	---	---	---
	5	A	0°	0°	0°	0°	0°	0,23°	0,23°	-0,41°	-0,41°	---	---	---	---
		B	120°	121°	1°	121°	1°	119,97°	-0,03	119,53°	-0,47°	---	---	---	---
		C	240°	243°	3°	243°	3°	240,28°	0,28°	239,59°	-0,41°	---	---	---	---
	7	A	0°	0°	0°	0°	0°	0,35°	0,35°	-0,66°	-0,66°	---	---	---	---
		B	240°	241°	1°	241°	1°	240,09°	0,09°	239,3°	-0,7°	---	---	---	---
		C	120°	123°	3°	121°	1°	121,82°	1,82°	119,38°	-0,62°	---	---	---	---
	11	A	0°	0°	0°	0°	0°	359,94°	-0,06	-1,15°	-1,15°	---	---	---	---
		B	120°	122°	2°	121°	1°	121,66°	1,66°	118,84°	-1,16°	---	---	---	---
		C	240°	246°	6°	243°	3°	240,08°	0,08°	239°	-1°	---	---	---	---

Ensaio	Harmônica	Fase	Padrão	A	Erro (°)	B	Erro (°)	C	Erro (°)	D	Erro (°)	E	Erro (°)	F	Erro (°)
	13	A	0°	0°	0°	0°	0°	359,32°	-0,68°	-1,51°	-1,51°	---	---	---	---
		B	240°	241°	1°	241°	1°	240,73°	0,73°	238,54°	-1,46°	---	---	---	---
		C	120°	125°	5°	122°	2°	120,32°	0,32°	118,72°	-1,68°	---	---	---	---

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (AHMED, 2000) Ahmed, A. **Eletrônica de Potência**. Brasil. *Pearson Prentice Hal*. 2000.
- (ALMEIDA, 2008) Almeida, J. E. **Proposição de Novas Metodologias para Avaliação das Medições de Energia Elétrica Frente a Condições não Senoidais e de Desequilíbrio**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2008. (Tese de Doutorado).
- (ALMEIDA, 2009) Almeida, J. E. L.; Silveira, P. M.; Abreu, J. P. G.; Arango, H.; *A new IEEE Std 1459-2000 Compatible Time-Domain Formulation for Apparent Power*. *Electric Power System Research*, v. 79, p. 505-510, 2009.
- (ALMEIDA, 2010) Almeida, J. E. L.; Silveira, P. M.; Abreu, J. P. G.; Arango, H.; *Wye Apparent Power - An Alternative Proposal*. 14th IEEE International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), Bergamo, 2010. ICHQP 2010, 2010. v. 1. p. 1-8.
- (ANEEL, 2011) Agência Nacional da Energia Elétrica, **Revisão da Regulamentação Sobre a Qualidade do Produto no Sistema de Distribuição de Energia Elétrica**. Disponível em http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/NT_29_2011_SRD_ANEEL_ANEXO.pdf. Acesso em 21 de setembro de 2013.
- (ANEEL, 2012) Agência Nacional da Energia Elétrica, **Nota Técnica nº 0008/2012-SRD/ANEEL**. Disponível em http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/Nota%20T%C3%A9cnica_08_2012_SRD_ANEEL.pdf. Acesso em 17 de fevereiro de 2014.
- (ARRILLAGA, 2000) Arrillaga, J.; Watson, N. R.; Chen, S. **Power System Quality Assessment**. United States Of America: John Willey & Sons, 2000.
- (BELCHIOR, 2008) Belchior, F. N.; Bonatto, B. D.; Silva, R. F.; Leite, L. D.; Bacco, A. B.; Carvalho, T. S. **O problema da ausência de metodologia oficial uniformizada para medição da qualidade da energia elétrica do brasil**. Apresentada na 8ª INDUSCON – Conferência Internacional de Aplicações Industriais, Poços de Caldas. Brasil. 2008.
- (BERNARDES, 2003) Bernardes, D. F., **Uma Proposição de Novos Protocolos de Medição Sob a Ótica da Qualidade da Energia Elétrica**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2003. (Tese de Doutorado).

(CARVALHO FILHO, 2012) Grupo de Estudos em Qualidade da Energia Elétrica - GQEE **Afundamentos de tensão**, notas de aula da disciplina de Qualidade da Energia Elétrica II. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2012.

(CARVALHO, 2004) Carvalho, C. C. M. M.; Tostes, M. E. L.; Lima, A. S.; Souza, J. H. D.; Oliveira, P. P. C.; Alves, R. S.; Marçal, C. R. F.; Tostes, W. S.; Carvalho, J. C. D. **Comparação de Medidores de Qualidade da Energia Elétrica Quanto à Distorção Harmônica**. Este trabalho é resultado de um P&D da Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A – ELETRONORTE. Belém. 2004.

(CHATTOPADHYAY, 2010) Chattopadhyay, S.; Mitra, M.; Sengupta, S.; *Electric Power Quality*. India: Springer 2010.

(DECKMANN, 2010) Deckmann, S. M.; Pomilio, J. A. Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica - Capítulo 4. **Distorção Harmônica: Causas, Efeitos e Soluções**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2010.

(DEPENBROCK, 1992) Depenbrock, M. *The FBD Method, a Generally Applicable tool for Analyzing Power Relations, IEEE Transaction on Power System*, vol. 8 no. 2, pp. 381-387, 1992.

(DUGAN, 2002) Dugan, R.C.; McGranaghan, M.F.; Santoso, S.; Beaty, H.W. **Electrical Power Systems Quality**. McGraw-Hill, 2nd Edition, 2002

(FILIPSKI, 1991) Filipski, P. **Polyphase Apparent Power and Power Factor under Distorted Waveform Conditions**. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.6, n° 3. July 1991.

(IEEE, 2000) Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE, *Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced or Unbalanced Conditions*. IEEE PES, Power System Instrumentation and Measurements Committee, Upgraded to Full-use, August 2002. Available: IEEE Std, 1459-2000.

(ICHQP, 2014) Galvão, T. M.; Belchior, F. N.; Silveira, P. M.; Ribeiro, P. F. *Comparative Analysis of Power Quality Instruments Measuring Voltage and Power*. 16th ICHQP – International Conference on Harmonics and Quality of Power. Bucarest. 2014.

(IEC, 2008) International Electrotechnical Commission – IEC, *Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods*, 2008.

(IEC, 2010) International Eletrotecnical Comission – IEC, ***Eletromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto***, 2010.

(IEEE, 2010) Institute of Eletrical and Eletronics Engineers – IEEE, ***Definitions for the Measurement of Eletric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions***. IEEE Std 1459-2010.

(IEEE, 1992) Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE, ***Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms***.ANSI/IEEE Std.100-1992 (Fifth Edition), Inc.New York, 1992, pp. 373, 758 and 996.

(IEEE, 2009) Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE, ***IEEE Recommended Practice for Monitoring Eletric Power Quality***, IEEE Std 1159-2009.

(IEEE, 1992) Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE, ***Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems***, IEEE Std 519-1992.

(MEDEIROS, 2003). Medeiros, M. O. **Monitoração da Qualidade da Energia Elétrica em Sistemas de Distribuição**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2003. (Dissertação de Mestrado).

(OMICRON, 2013) Omicron, Disponível em Adimarco: <http://www.adimarco.com.br/catalogos/catalogo-geral-linha-CMC.pdf>. Acesso em 7 de Maio de 2013.

(OMICRON, 2013) OMICRON, “***Test Set CMC 256-6,***” Disponível em: <http://www.techrentals.com.au/uploads/OMICRONCMC256-6.pdf>. Acesso em 27 de Setembro de 2013.

(PAULILO, 2013) Paulilo, G. O Setor Elétrico - Capítulo III. **Desequilíbrios de Tensão**. Edição 86, fascículo da Qualidade da Energia Elétrica, pp. 42-48.

(PAULILO, 2013) Paulilo, G.; Teixeira, M. D. O Setor Elétrico - Capítulo II. **Harmônicos**. Edição 85, fascículo da Qualidade da Energia Elétrica, pp. 34-42.

(PRODIST, 2012) Procedimentos de Distribuição da Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, **Módulo 8 da Qualidade da Energia Elétrica**. Disponível em http://aneel.gov.br/arquivos/PDF/Módulo8_Revisão_4.pdf . Acesso em 26 de setembro de 2013.

(RIBEIRO, 2003) Ribeiro, P. F.; Brasil, D. O. C.; Medeiros, J. R.; Oliveira J. C.; Delaiba, A. C. *Considerations on Power Quality Measurements and Measurement Instrumentation*. 7^a EPQU - *International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*. 2003.

(SILVA, 2010) Silva, M. D. C. **Avaliação comparativa entre dois instrumentos de medição para análise da qualidade da energia elétrica**. Trabalho de Graduação, Universidade de Brasília. Brasília. 2010.

(TEIXEIRA, 2003) Teixeira, M. D. **Uma Estrutura Laboratorial para Testes de Desempenho de Equipamentos no Contexto da qualidade da Energia Elétrica**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2003. (Dissertação de Mestrado).

(UFU, 2004) **Teste de Desempenho de Medidores de Qualidade de Energia - Gabarito dos Testes**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2004.

(VELASCO, 2007) Velasco L. N. **Análise Experimental de Erros de Medição de Energia Elétrica Ativa em Medidores Eletromagnéticos tipo Indução, Sujeitos a Distorções Harmônicas de Correntes e Tensões, em Sistemas Equilibrados e Desequilibrados**. Universidade Estadual de São Paulo. Ilha Solteira. 2007. (Dissertação de Mestrado).

(YILDIRIM, 1999) Yildirim, D. F., IEEE Power Engineering Review, “**Comentary on Various Formulations of Distortion Power D,**” Vol. 19, n° 5, pp. 50-52.