

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

“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.”

LOANA NUNES VELASCO

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Canesin

Co-orientador: Dr. Flávio Alessandro Serrão Gonçalves

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Conhecimento: Automação.

Ilha Solteira – SP
Abril/2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

V433a

Velasco, Loana Nunes

Análise experimental de erros de medição de energia elétrica ativa em medidores eletro-magnéticos tipo indução, sujeitos a distorções harmônicas de correntes e tensões, em sistemas equilibrados e desequilibrados / Loana Nunes Velasco. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2007
187 p. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Automação, 2007

Orientador: Carlos Alberto Canesin

Co-orientador: Flávio Alessandro Serrão Gonçalves

Bibliografia: p. 152-155

1. Medidor de watt-hora. 2. Harmônicos. 3. Sistemas equilibrados e desequilibrados.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: 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

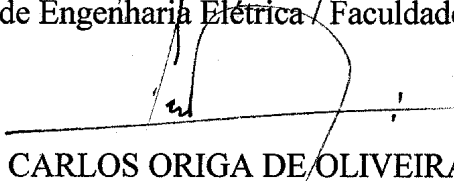
AUTORA: LOANA NUNES VELASCO

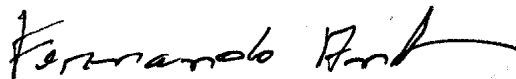
ORIENTADOR: Prof. Dr. CARLOS ALBERTO CANESIN

DATA DA REALIZAÇÃO: 30 DE ABRIL 2007.

Aprovada com parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA ELÉTRICA pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. CARLOS ALBERTO CANESIN - Orientador
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. LUIS CARLOS ORIGA DE OLIVEIRA
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. FERNANDO LUIZ MARCELO ANTUNES
Departamento de Engenharia Elétrica / Universidade Federal do Ceará

Dedico aos meus pais *Lozonildes Nunes Velasco* e *Israel Velasco*, pois sem o apoio e a dedicação deles, nada disso seria possível.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me dado a vida e condições para desenvolver o trabalho.

À minha família, por estar sempre presente e me apoiando em todos os momentos dessa caminhada e em especial aos meus pais, Losonildes Nunes Velasco e Israel Velasco, pela educação e orientação que me deram, pelo amor incondicional a mim dedicado, pela compreensão a minha ausência e o apoio nos momentos difíceis.

Aos professores Arnulfo Barroso de Vasconcellos, Teresa Irene Ribeiro de Carvalho Malheiro Gomes e Fernando Nogueira de Lima, à amizade dedicada e ao incentivo para dar continuidade aos estudos após a conclusão do curso de engenharia elétrica.

Ao professor Carlos Alberto Canesin pela oportunidade oferecida, por ter confiado a mim o desenvolvimento desta pesquisa, pela orientação competente e segura.

Ao amigo e co-orientador Flávio Alessandro Serrão Gonçalves, que esteve presente em todo o desenvolver do trabalho, pela orientação competente e compreensão nos momentos de dificuldades.

Aos professores Luiz Carlos Origa (UNESP) e José Carlos Rossi (UNESP) pela participação nas bancas de Estudos Especiais I e Exame Geral de Qualificação e pelas observações importantes no quesito apresentação do trabalho, e a todos os mestres que participaram da minha formação acadêmica, pela dedicação e carinho.

Aos meus amigos que mesmo distante foram de extrema importância nessa jornada, sempre acreditando no meu trabalho e me apoiando, em especial à Cláudia Leão Giacometti, Simone Sampaio Saldanha Ferreira, Kelly Fernanda Xavier Bonfim, Mariana Albuquerque Linhares, Fernando Ribeiro Marinho, Willians Ribeiro Mendes, Eduardo Yukio Okamoto e Nilo Sergio Soares Ribeiro, pessoas a quem sempre pude recorrer nos momentos difíceis e me deram força para continuar.

Aos amigos que fiz em Ilha Solteira, Moacyr Aureliano Gomes de Brito, Maximilia Dornellas de Oliveira, Castellane Silva Ferreira, Lísia Borges Attílio, Jurandir Oliveira Soares e Fabiana Soares e que me acolheram e se tornaram minha família durante todo o desenvolvimento do trabalho.

Aos colegas de trabalho que conquistei na Brasil Telecom, Isaura Titon, Silvania Cassiana Silva, Everaldo Nonato da Conceição, Valdirson Aurélio de Arruda, Samuel Pereira Lopes, Antônio Marcos Arruda Costa, Urbano Araújo França e Maria Suely da Silva, exemplos de profissionais competentes e amigos que levarei para toda a vida.

À FEPISA pelo apoio financeiro.

"A possibilidade de realizar um sonho é o
que faz com que a vida seja interessante."

Paulo Coelho

RESUMO

Considerando-se as constantes mudanças que vêm ocorrendo no cenário de distribuição de energia elétrica, devido ao grande avanço da eletrônica de potência e cargas não lineares instaladas no sistema, fazem-se necessários estudos para diagnosticar como e quanto essas mudanças podem estar afetando os equipamentos instalados nas redes de distribuição.

A proposta deste trabalho é a análise da influência de harmônicos e desequilíbrios nos erros de medição de energia elétrica ativa em medidores de energia tipo indução, classe de precisão 2%. Estes equipamentos são normalmente projetados para atuarem com condições ideais de frequência constante, formas de onda de tensão e corrente senoidais e sistema equilibrado. Condições estas, que não são a realidade das redes de distribuição de energia elétrica.

Para a realização da análise dos equipamentos selecionados, submetidos aos efeitos das componentes harmônicas nas tensões e correntes, inclusive desequilíbrios de tensões, montou-se um arranjo padrão de medição, onde foram ensaiados os medidores submetidos à estes distúrbios, sob as mesmas condições laboratoriais, considerando-se três repetições para cada amostra selecionada.

As distorções harmônicas de tensões e correntes, admitidas para ensaios, foram obtidas por medições em consumidores em ramais de distribuição com características industrial, comercial, rural e residencial, e, os desequilíbrios de tensões admitidos para ensaios foram de 3% (limite atual) e de 5%, considerando-se determinados cenários de um sistema de distribuição real.

Os resultados são apresentados em forma de tabelas e figuras, e, as análises dos erros são apresentadas considerando-se um padrão de medição composto pelo analisador de energia Yokogawa modelo WT230, com classe de precisão 0,1 % para tensões e correntes, e, 0,2% para potência ativa, nas faixas das frequências das componentes harmônicas analisadas (60Hz até 1kHz).

ABSTRACT

Considering the constant changes that have been occurring in the electric energy distribution scenery, due to the great improvements of the power electronics devices and non linear loads installed in the system, there are several studies developed in order to analyze and diagnosis the effects of these changes, and how much these loads affect the equipments installed on the distribution systems.

The proposal of this research is to analyze the influence of harmonic contents and voltage unbalances in the systems on the measurement errors of the active electric energy using the induction watt-hour meters, with accuracy of 2%. These equipments are usually designed to operate in ideal conditions with constant frequency, sinusoidal voltage and current waveforms, and balanced system. However, these conditions are not the reality of the electric energy distribution systems.

The procedures for the measurements, considering the selected samples of the induction watt-hour meters under influence of current and voltage harmonic contents, and voltage unbalances, were based on a measurement set-up established for testing, in the same conditions, all the selected samples considering its three repetitions.

The harmonic voltage and current contents, admitted for testing, were obtained by measurements in consumers with different load characteristics (industrial, commercial, agricultural and residential), and the admitted voltage unbalances were of 3% (actual limit imposed by standards) and 5%, considering real cases of an electric energy distribution system

The results are summarized in tables and figures, and the analyses of the errors are presented considering comparisons with a standard of measurement composed by the energy analyzer Yokogawa WT230, with accuracy of 0,1% for voltages and currents, and, 0,2% for active power, considering the range of 60Hz until 1kHz.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO II

Figura 2.1 - Forma de onda distorcida com diversas ordens harmônicas	37
Figura 2.2 - Componentes harmônicas referentes à forma de onda da figura 2.1	37
Figura 2.3 - Medidor Tipo indução Monofásico	45
Figura 2.4 - Exemplo de ligação para análise das forças existentes.....	46
Figura 2.5 - a - Tensão e corrente aplicada à carga.....	47
b - Fluxos gerados pelas bobinas de corrente e de tensão	47
Figura 2.6 – Intervalo 1 - 2: ϕ_v decresce, ϕ_i cresce	48
Figura 2.7 – Intervalo 2 - 3: ϕ_v cresce, ϕ_i decresce	48
Figura 2.8 – Intervalo 3 - 4: ϕ_v decresce, ϕ_i cresce	48
Figura 2.9 – Intervalo 4 - 5: ϕ_v cresce, ϕ_i decresce	48

CAPÍTULO III

Figura 3.1 – Formas de onda referentes ao perfil Senoidal.	60
Figura 3.2 – Formas de onda referentes ao Perfil BV1-BI1.....	60
Figura 3.3 – Formas de onda referentes ao Perfil BV1-BI2.....	60
Figura 3.4 – Formas de onda referentes ao Perfil BV1-TI1	60
Figura 3.5 – Formas de onda referentes ao Perfil BV1-TI2.....	60
Figura 3.6 – Formas de onda referentes ao Perfil BV1-TI3.....	60
Figura 3.7 – Formas de onda referentes ao Perfil BV2-BI1.....	61
Figura 3.8 – Formas de onda referentes ao Perfil BV2-BI2.....	61
Figura 3.9 – Formas de onda referentes ao Perfil BV2-TI1	61

Figura 3.10 – Formas de onda referentes ao Perfil BV2-TI2	61
Figura 3.11 – Formas de onda referentes ao Perfil BV2-TI3	61
Figura 3.12 – Formas de onda referentes ao Perfil TV1-BI1	61
Figura 3.13 – Formas de onda referentes ao Perfil TV1-BI2	62
Figura 3.14 – Formas de onda referentes ao Perfil TV1-TI1	62
Figura 3.15 – Formas de onda referentes ao Perfil TV1-TI2	62
Figura 3.16 – Formas de onda referentes ao Perfil TV1-TI3	62
Figura 3.17 – Formas de onda referentes ao Perfil TV2-BI1	62
Figura 3.18 – Formas de onda referentes ao Perfil TV2-BI2	62
Figura 3.19 – Formas de onda referentes ao Perfil TV2-TI1	63
Figura 3.20 – Formas de onda referentes ao Perfil TV2-TI2	63
Figura 3.21 – Formas de onda referentes ao Perfil TV2-TI3	63
Figura 3.22 - Formas de onda referentes ao Perfil V0-I0	64
Figura 3.23 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-TRI1	64
Figura 3.24 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-INDI1	65
Figura 3.25 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-INDI2	65
Figura 3.26 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-RUI2	65
Figura 3.27 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-RUI3	65
Figura 3.28 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-TRI1	65
Figura 3.29 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-INDI1	65
Figura 3.30 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-INDI2	66
Figura 3.31 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-RUI2	66
Figura 3.32 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-RUI3	66
Figura 3.33 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV2-TRI1	66
Figura 3.34 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV2-INDI1	66

Figura 3.35 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV2-INDI2	66
Figura 3.36 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV2-RUI2	67
Figura 3.37 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV2-RUI3	67
Figura 3.38 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV2-TRI1	67
Figura 3.39 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV2-INDI1	67
Figura 3.40 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV2-INDI2	67
Figura 3.41 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV2-RUI2	67
Figura 3.42 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV2-RUI3	68
Figura 3.43 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV3-TRI1	68
Figura 3.44 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV3-INDI1	68
Figura 3.45 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV3-INDI2	68
Figura 3.46 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV3-RUI2	68
Figura 3.47 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV3-RUI3	68
Figura 3.48 - Formas de onda referentes ao Perfil V0-I0 apresentando FDV de 3%	70
Figura 3.49 - Formas de onda referentes ao Perfil BV2-BI2 apresentando FDV de 3%	70
Figura 3.50 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-BI2 apresentando FDV de 3%	70
Figura 3.51 - Formas de onda referentes ao Perfil TV2-BI2 apresentando FDV de 3%	70
Figura 3.52 - Formas de onda referentes ao Perfil BV1-TI1 apresentando FDV de 3%	71
Figura 3.53 - Formas de onda referentes ao Perfil BV2-TI1 apresentando FDV de 3%	71

Figura 3.54 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-TI2 apresentando FDV de 3%.....	71
Figura 3.55 - Formas de onda referentes ao Perfil TV2-TI2 apresentando FDV de 3%	71
Figura 3.56 - Formas de onda referentes ao Perfil BV2-TI3 apresentando FDV de 3%.....	72
Figura 3.57 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-TI3 apresentando FDV de 3%.....	72
Figura 3.58 - Formas de onda referentes ao Perfil TV2-TI3 apresentando FDV de 3%.....	72
Figura 3.59 - Formas de onda referentes ao Perfil V0-I0 apresentando FDV de 5%.....	72
Figura 3.60 - Formas de onda referentes ao Perfil BV2-BI2 apresentando FDV de 5%.....	73
Figura 3.61 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-BI2 apresentando FDV de 5%.....	73
Figura 3.62 - Formas de onda referentes ao Perfil TV2-BI2 apresentando FDV de 5%.....	73
Figura 3.63 - Formas de onda referentes ao Perfil BV1-TI1 apresentando FDV de 5%.....	73
Figura 3.64 - Formas de onda referentes ao Perfil BV2-TI1 apresentando FDV de 5%.....	74
Figura 3.65 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-TI2 apresentando FDV de 5%.....	74

Figura 3.66 - Formas de onda referentes ao Perfil TV2-TI2 apresentando FDV de 5%.....	74
Figura 3.67 - Formas de onda referentes ao Perfil BV2-TI3 apresentando FDV de 5%.....	74
Figura 3.68 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-TI3 apresentando FDV de 5%.....	75
Figura 3.69- Formas de onda referentes ao Perfil TV2-TI3 apresentando FDV de 5%.....	75
Figura 3.70 - Formas de onda referentes ao Perfil V0-I0 apresentando FDV de 3%.....	76
Figura 3.71 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-TRI1 apresentando FDV de 3%.....	76
Figura 3.72 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-TRI1 apresentando FDV de 3%.....	77
Figura 3.73 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV2-TRI1 apresentando FDV de 3%.....	77
Figura 3.74 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV2-TRI1 apresentando FDV de 3%.....	77
Figura 3.75 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV3-TRI1 apresentando FDV de 3%.....	77
Figura 3.76 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-INDI1 apresentando FDV de 3%.....	78
Figura 3.77 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-INDI1 apresentando FDV de 3%.....	78

Figura 3.78- Formas de onda referentes ao Perfil TV1-INDI2 apresentando FDV de 3%.....	78
Figura 3.79 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV3-INDI2 apresentando FDV de 3%.....	78
Figura 3.80 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-RUI3 apresentando FDV de 3%.....	79
Figura 3.81 - Formas de onda referentes ao Perfil V0-I0 apresentando FDV de 5%.....	79
Figura 3.82 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-TRI1 apresentando FDV de 5%.....	79
Figura 3.83 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-TRI1 apresentando FDV de 5%.....	79
Figura 3.84 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV2-TRI1 apresentando FDV de 5%.....	80
Figura 3.85 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV2-TRI1 apresentando FDV de 5%.....	80
Figura 3.86 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV3-TRI1 apresentando FDV de 5%.....	80
Figura 3.87 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-INDI1 apresentando FDV de 5%.....	80
Figura 3.88 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-INDI1 apresentando FDV de 5%.....	81
Figura 3.89 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-INDI2 apresentando FDV de 5%.....	81

Figura 3.90 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV3-INDI2 apresentando FDV de 5%.....	81
Figura 3.91 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-RUI3 apresentando FDV de 5%.....	81
Figura 3.92 – Diagrama geral de blocos do “set proposto para ensaios” dos medidores tipo indução	82
Figura 3.93 – Exemplo de forma de onda de tensão trifásica reconstruída no plano discreto considerando taxa de amostragem de 50kHz e 833 pontos por período.....	84
Figura 3.94 – Exemplo de codificação binária das formas de onda de tensão trifásica reconstruída no plano discreto considerando taxa de amostragem de 50kHz e 833 pontos por período	84
Figura 3.95 – Fotos do Amplificador Implementado	85
Figura 3.96 – Circuitos de sincronismo implementados, (a) FPGA Xilinx e (b)Sincronismo via detecção de passagem por zero.....	86
Figura 3.97 – Sensor de voltas de disco para medidores tipo indução	88
Figura 3.98 – Tela de Calibração dos ganhos utilizados nos sensores de tensão e corrente do dispositivo WaveBook/516, desenvolvido na plataforma DasyLab	89
Figura 3.99 - Tela de aquisição de dados referente a medição de energia elétrica, desenvolvida na plataforma DasyLab	90
Figura 3.100 - Tela de verificação dos perfis de tensão e corrente durante à aquisição de dados, desenvolvida na plataforma DasyLab.....	91
Figura 3.101 – Fotografia do “set geral de ensaio” para os medidores de energia tipo indução	93

Figura 3.102 – Sistema de medição: (a) Padrão Yokogawa	
(b) Sistema WaveBook	93
Figura 3.103 – Fonte California Instruments 6000L com Gerador de Harmônicas	94

CAPÍTULO IV

Figura 4.1 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 1	99
Figura 4.2 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 3	100
Figura 4.3 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 4	101
Figura 4.4 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 5	102
Figura 4.5 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 7	104
Figura 4.6 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 8	105
Figura 4.7 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 9	106
Figura 4.8 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 10	107
Figura 4.9 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 3, com desequilíbrio de tensão de 3%.	109

Figura 4.10 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 3, com desequilíbrio de tensão de 5%.	110
Figura 4.11 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 4, com desequilíbrio de tensão de 3%.	111
Figura 4.12 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 4, com desequilíbrio de tensão de 5%.	112
Figura 4.13 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 5, com desequilíbrio de tensão de 3%.	113
Figura 4.14 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 5, com desequilíbrio de tensão de 5%.	114
Figura 4.15 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 7, com desequilíbrio de tensão de 3%	116
Figura 4.16 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 7, com desequilíbrio de tensão de 5%	117
Figura 4.17 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 8, com desequilíbrio de tensão de 3%	118
Figura 4.18 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 8 com desequilíbrio de tensão de 5%	119
Figura 4.19 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 9, com desequilíbrio de tensão de 3%.	120
Figura 4.20 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 9, com desequilíbrio de tensão de 5%	121
Figura 4.21 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 10, com desequilíbrio de tensão de 3%	122

Figura 4.22 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 10, com desequilíbrio de tensão de 5%.	123
Figura 4.23 – Modelo do erro do disco da Amostra 1 com sistema equilibrado	127
Figura 4.24 – Modelo do erro do disco da Amostra 1 com 3% de desequilíbrio de Tensão	128
Figura 4.25 – Modelo do erro do disco da Amostra 1 com 5% de desequilíbrio de Tensão	128
Figura 4.26 – Modelo do erro do disco da Amostra 2 com sistema equilibrado	129
Figura 4.27 – Modelo do erro do disco da Amostra 2 com 3% de desequilíbrio de Tensão	129
Figura 4.28 – Modelo do erro do disco da Amostra 2 com 5% de desequilíbrio de Tensão	130
Figura 4.29 – Modelo do erro do disco da Amostra 3 com sistema equilibrado	130
Figura 4.30 – Modelo do erro do disco da Amostra 3 com 3% de desequilíbrio de Tensão	131
Figura 4.31 – Modelo do erro do disco da Amostra 3 com 5% de desequilíbrio de Tensão	131
Figura 4.32 – Modelo do erro do disco da Amostra 4 com sistema equilibrado	132
Figura 4.33 – Modelo do erro do disco da Amostra 4 com 3% de desequilíbrio de Tensão	132
Figura 4.34 – Modelo do erro do disco da Amostra 4 com 5% de desequilíbrio de Tensão	133
Figura 4.35 – Modelo do erro do disco da Amostra 5 com sistema equilibrado	133
Figura 4.36 – Modelo do erro do disco da Amostra 5 com 3% de desequilíbrio de Tensão	134

Figura 4.37 – Modelo do erro do disco da Amostra 5 com 5% de desequilíbrio de Tensão	134
Figura 4.38 – Modelo do erro do disco da Amostra 6 com sistema equilibrado	135
Figura 4.39 – Modelo do erro do disco da Amostra 6 com 3% de desequilíbrio de Tensão	135
Figura 4.40 – Modelo do erro do disco da Amostra 6 com 5% de desequilíbrio de Tensão	136
Figura 4.41 – Modelo do erro do disco da Amostra 7 com sistema equilibrado	136
Figura 4.42 – Modelo do erro do disco da Amostra 7 com 3% de desequilíbrio de Tensão	137
Figura 4.43 – Modelo do erro do disco da Amostra 7 com 5% de desequilíbrio de Tensão	137
Figura 4.44 – Modelo do erro do disco da Amostra 8 com sistema equilibrado	138
Figura 4.45 – Modelo do erro do disco da Amostra 8 com 3% de desequilíbrio de Tensão	138
Figura 4.46 – Modelo do erro do disco da Amostra 8 com 5% de desequilíbrio de Tensão.	139
Figura 4.47 – Modelo do erro do disco da Amostra 9 com sistema equilibrado	139
Figura 4.48 – Modelo do erro do disco da Amostra 9 com 3% de desequilíbrio de Tensão	140
Figura 4.49 – Modelo do erro do disco da Amostra 9 com 5% de desequilíbrio de Tensão	140
Figura 4.50 – Modelo do erro do disco da Amostra 10 com sistema equilibrado	141
Figura 4.51 – Modelo do erro do disco da Amostra 10 com 3% de desequilíbrio de Tensão	141

Figura 4.52 – Modelo do erro do disco da Amostra 10 com 5% de desequilíbrio de Tensão	142
Figura 4.53 – Modelo do erro do disco da Amostra 11 com sistema equilibrado	142
Figura 4.54 – Modelo do erro do disco da Amostra 11 com 3% de desequilíbrio de Tensão	143
Figura 4.55 – Modelo do erro do disco da Amostra 11 com 5% de desequilíbrio de Tensão	143

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 2.1 – Itens de Qualidade de Energia	34
Tabela 2.2 – Níveis de distorções e componentes harmônicas para tensões em sistemas de distribuição de energia.....	40
Tabela 2.3 – Limite de erro de acordo com a classe de exatidão	50

CAPÍTULO III

Tabela 3.1 – Amostra de medidores bifásicos selecionados.....	58
Tabela 3.2 – Amostra de medidores trifásicos selecionados	58
Tabela 3.3 – Formas de onda de tensão selecionadas para os medidores bifásicos.....	59
Tabela 3.4 – Formas de onda de corrente selecionadas para os medidores bifásicos.....	59
Tabela 3.5 – Formas de onda de tensão selecionadas para os medidores trifásicos.....	64
Tabela 3.6 – Formas de onda de corrente selecionadas para os medidores trifásicos.....	64
Tabela 3.7 – Combinações de perfis de tensões e correntes selecionadas para análise do sistema bifásico desequilibrado (3% e 5%)	69
Tabela 3.8 – Combinações de perfis de tensões e correntes selecionadas para análise do sistema trifásico desequilibrado (3% e 5%).....	76

CAPÍTULO IV

Tabela 4.1 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 1(Kd=7,2).....	98
Tabela 4.2 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 3 (Kd=3,6).....	99
Tabela 4.3 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 4 (Kd=7,2).....	100
Tabela 4.4 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 5 (Kd=7,2).....	101
Tabela 4.5– Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 7 (Kd=10,8)	103
Tabela 4.6 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 8 (Kd=10,8)	104
Tabela 4.7 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 9 (Kd=10,8)	105
Tabela 4.8 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 10 (Kd=10,8)	106
Tabela 4.9 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 3, considerando-se desequilíbrios (Kd=3,6).....	109
Tabela 4.10 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 4, considerando-se desequilíbrios (Kd=7,2).....	110

Tabela 4.11 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 5 considerando-se desequilíbrios ($K_d=7,2$).....	112
Tabela 4.12 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 7 considerando-se desequilíbrios ($K_d=10,8$).....	115
Tabela 4.13 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 8 considerando-se desequilíbrios ($K_d=10,8$).....	117
Tabela 4.14 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 9 considerando-se desequilíbrios ($K_d=10,8$).....	119
Tabela 4.15 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 10 considerando-se desequilíbrios ($K_d=10,8$).....	121

Sumário

CAPITULO I – INTRODUÇÃO GERAL	27
1.1 – Introdução	27
1.2 – Identificação do problema e metas desta dissertação	29
1.3 – Estrutura do Trabalho	31
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	32
2.1 – Introdução	32
2.2 – Qualidade de Energia	32
2.2.1 – Harmônicos	35
2.2.2 - Desequilíbrio de Tensões	41
2.3 - Princípio de Operação dos Medidores Watt-Hora tipo Indução	44
2.4 - Medidores tipo indução sujeitos à distorções harmônicas de tensões e correntes e de desequilíbrios de tensões.	50
2.5 - Considerações Finais	55
CAPITULO III - PROCEDIMENTOS, PROTOCOLOS PARA OS ENSAIOS E ARRANJO LABORATORIAL.....	56
3.1 - Introdução	56
3.2 – Seleção dos medidores.....	56
3.3 – Seleção das formas de onda	59
3.3.1 – Sistemas equilibrados.....	59
3.3.2 – Sistemas desequilibrados	69
3.4 – Arranjo Laboratorial	82

3.4.1 - Geração dos Perfis de Corrente	83
3.4.2 - Geração dos Perfis de Tensão	83
3.4.3 - Sistemas de Aquisição de Dados e Determinação de kWh ..	87
3.5 – Protocolo de Medição	94
3.6 – Considerações Finais.....	95
CAPÍTULO IV - RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISES	97
4.1- Introdução.....	97
4.2 – Análise de resultados.....	97
4.2.1 - Resultados Obtidos Nos Ensaios Experimentais dos Medidores Bifásicos No Sistema Equilibrado	98
4.2.2 - Resultados Obtidos Nos Ensaios Experimentais dos Medidores Trifásicos No Sistema Equilibrado	103
4.2.3 - Resultados Obtidos Nos Ensaios Experimentais dos Medidores Bifásicos No Sistema Desequilibrado.....	108
4.2.4 - Resultados Obtidos Nos Ensaios Experimentais dos Medidores Trifásicos No Sistema Desequilibrado.....	115
4.3 – Modelação de erros os medidores bifásicos e trifásicos analizados.....	124
4.3.1 – Apresentação dos Modelos dos Erros dos Medidores	126
4.4 - Considerações Finais	144
CAPÍTULO V- CONCLUSÕES GERAIS.....	146
5.1 – Conclusões Gerais.....	146
5.2 – Propostas para trabalhos futuros.	151

REFERÊNCIAS.....	152
APÊNDICE.....	156

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

1.1 – Introdução

O setor elétrico brasileiro tem sofrido grandes transformações nos últimos anos, e, não tem sido acompanhado com legislações adequadas. Em 1996, foi criada pela Lei 9.427 a Agência Nacional de Energia Elétrica vinculada ao Ministério de Minas e Energia, que tem como atribuições: regular e fiscalizar a geração, a transmissão, a distribuição e a comercialização da energia elétrica. A criação de um órgão diretamente responsável por um setor em constante mudança foi de extrema importância em um cenário em que cada vez mais os clientes estão conhecendo seus direitos e interessados em verificar a qualidade do produto que estão comprando. Do outro lado, encontram-se as concessionárias e distribuidoras de energia que também precisam de regulamentação, orientação e fiscalização. Porém, ainda existem questões abertas e de grande importância para o setor energético, fazendo-se necessárias regulamentações mais eficientes nos itens relacionados à qualidade de energia elétrica entregue ao consumidor e também às interferências provocadas pelas cargas conectadas pelo mesmo, no sistema elétrico. No país (2007), ainda não existe uma regulamentação completa que abrange consumidores e fornecedores de energia elétrica, assim como fabricantes de equipamentos elétricos e eletrônicos em geral.

Há alguns anos atrás quando se falava em qualidade de energia, o parâmetro utilizado era o número de desligamentos. Se a energia fosse entregue de forma que os desligamentos fossem os menores possíveis, considerava-se uma distribuição de energia de qualidade. Com os avanços das tecnologias, tanto para equipamentos fabris, quanto aqueles para aplicações comerciais, residenciais e de entretenimento, isso tem mudado significativamente. Atualmente, entende-se por energia elétrica de boa qualidade, uma energia entregue de forma ininterrupta, com frequência estável,

formas de onda senoidais compatíveis com as instalações elétricas e sistemas elétricos de distribuição.

Os avanços tecnológicos têm se mostrado eficazes em diversas áreas, desde as aplicações aeroespaciais até o entretenimento. Grande parte desses avanços é de responsabilidade da Eletrônica de Potência. Porém, é necessário levar em consideração como e quanto esse avanço tecnológico pode estar influenciando na geração, na transmissão, na distribuição e no consumo da energia elétrica.

A maioria dos equipamentos eletrônicos são providos de fontes chaveadas, mesmo sendo eles alimentados diretamente na rede elétrica de corrente alternada, no interior dos mesmos a corrente e a tensão que circulam são adaptadas às suas necessidades, normalmente em correntes e tensões contínuas. Ao alterar a forma de onda da tensão e da corrente, esses equipamentos provocam na rede de corrente alternada distorções harmônicas de corrente e, em consequência, distorções harmônicas de tensões. Porém, os equipamentos responsáveis por tais distúrbios na rede são extremamente sensíveis aos mesmos, podendo atuar de forma indesejada, ou não funcionarem, caso a energia elétrica fornecida não seja de boa qualidade.

O termo Qualidade de Energia é amplamente divulgado, discutido e estudado, sendo que os principais causadores dos distúrbios na qualidade têm sido investigados, assim como as consequências desses distúrbios e as diversas técnicas para mitigá-los. Os relatos de problemas de distorções harmônicas datam de 1930/1940. Provavelmente, o primeiro equipamento a causar problemas harmônicos foi o transformador. As primeiras vítimas desde então, foram as linhas telefônicas, as quais sofriam interferências eletromagnéticas.

Outro interessante aspecto que deve ser discutido é o concernente à atribuição da responsabilidade pelo problema harmônico em um sistema elétrico. Sabe-se que o consumidor é o responsável pela quantidade de corrente harmônica injetada no sistema (afinal, ele é o dono da carga não-linear) e que as empresas geradoras, transportadoras e distribuidoras de energia elétrica é quem controlam o valor da impedância do sistema. Logo, se a corrente harmônica injetada por um consumidor no sistema estiver dentro de limites razoáveis, então o controle da distorção de tensão será de responsabilidade dessas empresas e não do consumidor.

A partir dessas considerações, surge à necessidade de saber como os equipamentos instalados na rede elétrica respondem perante a presença desses distúrbios. Nesta dissertação, um equipamento em particular será analisado na presença de distúrbios na qualidade de energia elétrica, qual seja, o medidor eletromagnético de energia elétrica ativa, tipo indução. O medidor watt-hora tipo indução, utilizado para medição do consumo de energia elétrica ativa de uma infinidade de consumidores no país, ainda hoje (2007), é o equipamento de medição de energia elétrica mais utilizado.

Diversos trabalhos experimentais têm sido realizados com o intuito de se verificar os erros de registro destes medidores, propondo-se ainda modelos teóricos tanto no domínio do tempo quanto da frequência, para analisar e mensurar tais erros de medição. Entretanto, todos estes trabalhos de modelação teóricas também apresentam "erros", devido as grandes dificuldades de se representar todos os parâmetros que afetam o desempenho destes medidores de indução, frente à presença de correntes e/ou tensões não senoidais.

Adicionalmente, não somente as taxas de distorção harmônica das correntes e tensões poderão provocar erros de medição da energia ativa, mas também os desequilíbrios de tensão podem afetar significativamente o desempenho destes medidores tipo indução, devendo-se avaliar em conjunto as presenças de correntes e tensões com distorções harmônicas e os desequilíbrios existentes nas tensões.

Portanto, torna-se imperiosa uma extensa análise laboratorial dos medidores de energia elétrica ativa tipo indução, também denominados eletromecânicos, considerando-se não somente as distorções harmônicas de tensões e correntes, como também os desequilíbrios de tensões nos equipamentos bifásicos e trifásicos tipo indução. Neste aspecto, alguns trabalhos com análises laboratoriais e modelação teórica podem ser encontrados na literatura [01 até 17], porém com abordagens diferentes da proposta nessa pesquisa, como se analisará na revisão bibliográfica do capítulo 2, item 2.4.

1.2 – Identificação do problema e metas desta dissertação.

As concessionárias de energia elétrica têm suas lucratividades operacionais baseadas na comercialização de energia elétrica. Desta forma, para aferir de forma correta a energia consumida, torna-se necessário um equipamento específico de

medição. Sendo assim, é de extrema importância que este equipamento esteja funcionando corretamente e seguindo os padrões estabelecidos pela legislação em vigor.

Por outro lado, existe também o interesse dos consumidores em saber se estão sendo lesados na aferição da energia elétrica realmente consumida pelos mesmos. Portanto, a concessionária e o consumidor possuem grande interesse no correto e perfeito desempenho dos medidores de energia elétrica tanto ativa, quanto reativa.

Entretanto, esses equipamentos responsáveis pela medição de energia elétrica, tipo indução, são projetados, aferidos e calibrados para operarem apenas na presença de tensões e correntes senoidais. Como citado anteriormente, sabe-se que isso normalmente não ocorre, devido aos distúrbios presentes nas tensões e correntes dos sistemas de energia elétrica. Portanto, considerando-se o cenário real de distribuição de energia elétrica, esta dissertação tem o objetivo de analisar os erros de medição de energia elétrica ativa de medidores tipo indução quando submetidos às formas de onda de tensões e correntes distorcidas, coletadas diretamente em consumidores do sistema de distribuição de uma empresa de energia, em ambientes com características eminentemente industriais, comerciais, rurais e residenciais, considerando-se ainda desequilíbrios de tensões. Observa-se que as distorções harmônicas de tensões e correntes são distintas e com diferentes características, resultantes dos ambientes reais de consumidores com diferentes características de carga.

A análise e a quantificação dos erros de registro dos medidores de energia elétrica ativa, selecionados para ensaios, foi realizada utilizando-se de fontes/geradores de harmônicos independentes para correntes (Fonte e HGA Califórnia Instruments) e tensões (Amplificador Linear de tensão associado à placa de geração de sinais).

A quantificação dos erros de medição foi realizada através de comparações experimentais com os registros de um analisador digital de energia elétrica Yokogawa modelo WT230, considerado como padrão de medição para energia elétrica ativa, instalado nas mesmas condições físicas e elétricas dos medidores em análise.

Os medidores de energia selecionados para ensaios são típicos de um sistema real de distribuição. Sendo que, foram considerados apenas os modelos bifásicos e trifásicos mais significativos para o computo da energia total consumida, numa média mensal considerando um período de 14 meses dos dados registrados por uma concessionária de energia elétrica.

1.3 – Estrutura do Trabalho

- Capítulo I – Apresenta uma introdução do trabalho, onde se analisa as razões que levaram ao desenvolvimento da pesquisa, apresentando um breve resumo do que já foi feito os objetivos do trabalho e o que o diferencia dos demais apresentados nas referências bibliográficas.
 - Capítulo II – Faz-se breve uma revisão bibliográfica dos temas importantes para o desenvolvimento do trabalho, tratando da qualidade de energia enfatizando-se harmônicos e desequilíbrios. Apresenta-se uma breve descrição para os medidores de energia tipo indução e uma análise da revisão bibliográfica onde se analisam os efeitos das distorções harmônicas para os mesmos.
 - Capítulo III – Neste capítulo são apresentados os medidores de energia a serem ensaiados, as formas de onda que serão implementadas no sistema, a maneira como foram selecionados os perfis de tensões e correntes, e, finalmente os procedimentos para os ensaios e a configuração do arranjo laboratorial para os mesmos, apresentando-se as principais características dos equipamentos utilizados, incluindo-se o sistema de aquisição de dados.
 - Capítulo IV – Neste capítulo são apresentados os resultados laboratoriais obtidos e as análises dos mesmos.
 - Capítulo V – Nessa etapa final são apresentadas as conclusões referentes ao trabalho e as propostas para futuros trabalhos.
-

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Introdução

A medição de energia elétrica é empregada, na prática, para possibilitar à entidade fornecedora o faturamento adequado da quantidade de energia elétrica consumida por cada usuário dentro de uma tarifa estabelecida. A maioria dos medidores hoje empregados no Brasil, 2007, é do tipo indução, por sua simplicidade, robustez, baixo custo e desempenho ao longo dos anos [18].

Esse capítulo tem a função de conceituar e analisar os fenômenos importantes para um bom entendimento do desenvolvimento das análises experimentais. Para isso, é necessário que seja feita uma revisão sobre os fenômenos relevantes à qualidade da energia elétrica, enfatizando-se Harmônicos e Desequilíbrios, distúrbios estes que serão analisados neste trabalho.

Para que se possa estudar a interferência desses distúrbios na medição de energia elétrica, é imperioso que se tenha conhecimento do princípio de operação e funcionamento do equipamento responsável por essa medição, abrangendo suas características técnicas e construtivas e normas aplicáveis aos mesmos, padrões de erro e de precisão.

2.2 – Qualidade de Energia

Nesse tópico será abordado um breve resumo dos itens referentes à qualidade de energia, para um melhor entendimento do trabalho.

A qualidade da energia elétrica tem sido um assunto muito discutido pela engenharia. Como estamos lidando com consumidores diversos (residencial, rural, comercial, industrial e residencial), uma das principais razões para a crescente preocupação com a qualidade de energia é a questão econômica. Para o consumidor residencial, o que ele tem em mente como qualidade de energia elétrica

é realmente a falta da energia, desde que essa falta não seja muito longa não haverá grandes aborrecimentos ou mesmo perdas econômicas por parte do consumidor. Porém, quando se trata de consumidores industriais e comerciais a análise é diferenciada.

Consumidores dos segmentos comerciais e industriais possuem equipamentos de alta tecnologia, os quais são extremamente sensíveis a qualquer tipo de perturbação. Caso haja uma falta de energia durante um pequeno intervalo de tempo, chegando a menos de um segundo, todo o processo industrial pode ser alterado. Os setores mais críticos a este respeito são os das indústrias de processo contínuo. Devido à sua natureza, são concebidos para trabalharem sem interrupções. Quando estas sucedem é impossível atingir os níveis de produtividade esperados e projetados, podendo inviabilizar economicamente toda a unidade, causando prejuízos financeiros significativos à empresa, como por exemplo, as indústrias de papel.

Para avaliar quando um sistema esta operando fora das suas condições normais, duas grandezas elétricas básicas podem ser analisadas, são elas: a tensão e a frequência. A frequência do sistema brasileiro interligado situa-se na faixa de $60 \pm 0,5\text{Hz}$. Por outro lado, no que diz respeito à tensão, três características principais devem ser observadas:

- Forma de onda, a qual deve ser o mais próximo possível de uma senóide;
- Simetria da forma de onda de tensão (isenção de valores médios);
- Magnitudes das tensões dentro dos limites aceitáveis de regulamentação.

Existem outros fenômenos relacionados à qualidade de energia elétrica que também são de grande importância, fenômenos esses que interferem diretamente nas duas grandezas citadas anteriormente.

Na tabela 2.1 apresenta-se um breve resumo dos itens de qualidade, com suas causas, efeitos e soluções básicas propostas na literatura.

Tabela 2.1- Itens de Qualidade de Energia

Tipos de Distúrbios	Causas	Efeitos	Soluções
Transitórios Impulsivos	- Descargas atmosféricas; - Chaveamentos de cargas.	- Excitação de circuitos ressonantes; - Redução da vida útil de motores, geradores, transformadores, etc.	- Filtros; - Supressores de surto; - Transformadores isoladores.
Transitórios Oscilatórios	- Descargas atmosféricas; - Chaveamentos de: capacitores, linhas, cabos, cargas e transformadores.	- Mau funcionamento de equipamentos controlados eletronicamente, conversores de potência, etc.; - Redução da vida útil de motores, geradores, transformadores, etc.	- Filtros; - Supressores de surto; - Transformadores isoladores.
Sub e Sobreensões	- Partidas de motores; - Variações de cargas; - Chaveamento de capacitores.	- Pequena redução na velocidade dos motores de indução e no reativo dos bancos de capacitores; - Falhas em equipamentos eletrônicos; - Redução da vida útil de máquinas rotativas, transformadores, cabos, disjuntores, TP's e TC's; - Operação indevida de relés de proteção.	- Reguladores de tensão; - Fontes de energia de reserva; - Chaves estáticas; - Geradores de energia.
Interrupções	- Curto-circuito; - Operação de disjuntores; - Manutenção.	- Falha de equipamentos eletrônicos e de iluminação; - Desligamento de equipamentos; - Interrupção do processo produtivo (altos custos);	- Fontes de energia sobressalentes; - Sistemas "nobreak"; - Geradores de energia.
Desequilíbrios	- Fornos a arco; - Cargas monofásicas e bifásicas; - Assimetrias entre as impedâncias.	- Redução da vida útil de motores de indução e máquinas síncronas; - Geração, pelos retificadores, de 3º harmônico e seus múltiplos.	- Operação simétrica; - Dispositivos de compensação.

Tabela 2.1 - Continuidade dos Itens de Qualidade de Energia

Tipos de Distúrbios	Causas	Efeitos	Soluções
Nível CC	- Operação ideal de retificadores de meia onda, etc.	- Saturação de transformadores; - Corrosão eletrolítica de eletrodos de aterramento e de outros conectores.	
Harmônicos	- Cargas não lineares.	- Sobreaquecimento de cabos, transformadores e motores de indução; - Danificação de capacitores, etc.	- Filtros; - Transformadores isoladores.
Interharmônicos	- Conversores estáticos de potência; - Cicloconversores; - Motores de indução; - Equipamentos a arco, etc.	- Interferência na transmissão de sinais "carrier"; - Indução de "flicker" visual no "display" de equipamentos.	- Filtros;
Ruídos	- Chaveamento de equipamentos eletrônicos de potência; - Radiações eletromagnéticas.	- Distúrbios em equipamentos eletrônicos (computadores e controladores programáveis).	- Aterramento das instalações; - Filtros.
Oscilações de Tensão	- Cargas intermitentes; - Fornos a arco; - Partidas de motores.	- "Flicker"; - Oscilação de potência e torque nas máquinas elétricas; - Queda de rendimento de equipamentos elétricos; - Interferência nos sistemas de proteção.	- Sistemas estáticos de compensação de reativos; - Capacitores série.
Variações de Frequência do Sistema Elétrico	- Perda de geração, perda de linhas de transmissão, etc.	- Pode causar danos severos nos geradores e nas palhetas das turbinas, etc.	

2.2.1 - Harmônicos

Tecnicamente, um harmônico é um componente de uma onda periódica cuja frequência é um múltiplo inteiro da frequência fundamental (por exemplo, nos

sistemas típicos brasileiros de distribuição de energia elétrica, a frequência fundamental é de 60Hz) As harmônicas no sistema de energia são oriundas de equipamentos e cargas não lineares instaladas no sistema de distribuição.

As harmônicas se originam na corrente elétrica, devido à presença de cargas não lineares, que ao circularem pelo sistema elétrico, podem promover a queda de tensão para cada componente harmônica, ocasionando uma queda de tensão no barramento e a distorção da forma de onda de tensão.

O grau de distorção harmônica presente na tensão e/ou corrente pode ser quantificada matematicamente com base no estudo das ondas não senoidais periódicas, viabilizada por meio da série de Fourier.

O Teorema de Fourier indica que toda função periódica não senoidal pode ser representada sob a forma de uma soma de expressões (série) que é composta:

- De um valor médio;
- De uma expressão senoidal (ou, cossenoidal) em frequência fundamental;
- Expressões senoidais (ou, cossenoidais) cujas frequências são múltiplos inteiros da fundamental (harmônicas).

A vantagem de se usar uma série de senóides (ou, cossenóides) para representar uma onda distorcida, está no fato de que é muito mais fácil o estudo e análise de uma onda senoidal (ou, cossenoidal). Nessas condições, as técnicas usuais de cálculo de circuitos elétricos podem ser aplicadas. A desvantagem é que o sistema deve ser analisado para cada frequência, separadamente.

Dessa forma, um sinal de tensão ou corrente periódico, não senoidal pode ser expresso da seguinte forma:

$$v(\omega t) = V_0 + V_{\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi_1) + V_2 \max \cdot \sin(2\omega t + \varphi_2) + V_3 \max \cdot \sin(3\omega t + \varphi_3) + \dots + V_h \max \cdot \sin(h\omega t + \varphi_n) \quad (2.1)$$

$$i(t) = I_0 + I_{\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi'_1) + I_2 \max \cdot \sin(2\omega t + \varphi'_2) + I_3 \max \cdot \sin(3\omega t + \varphi'_3) + \dots + I_h \max \cdot \sin(h\omega t + \varphi'_n) \quad (2.2)$$

A figura 2.1 representa um exemplo de uma forma de onda distorcida devido à presença de harmônicos de 3°, 5°, 7° e 9° ordens, e na figura 2.2, apresentam-se a forma de onda fundamental e as respectivas componentes harmônicas da figura 2.1, que provocam essa distorção harmônica.

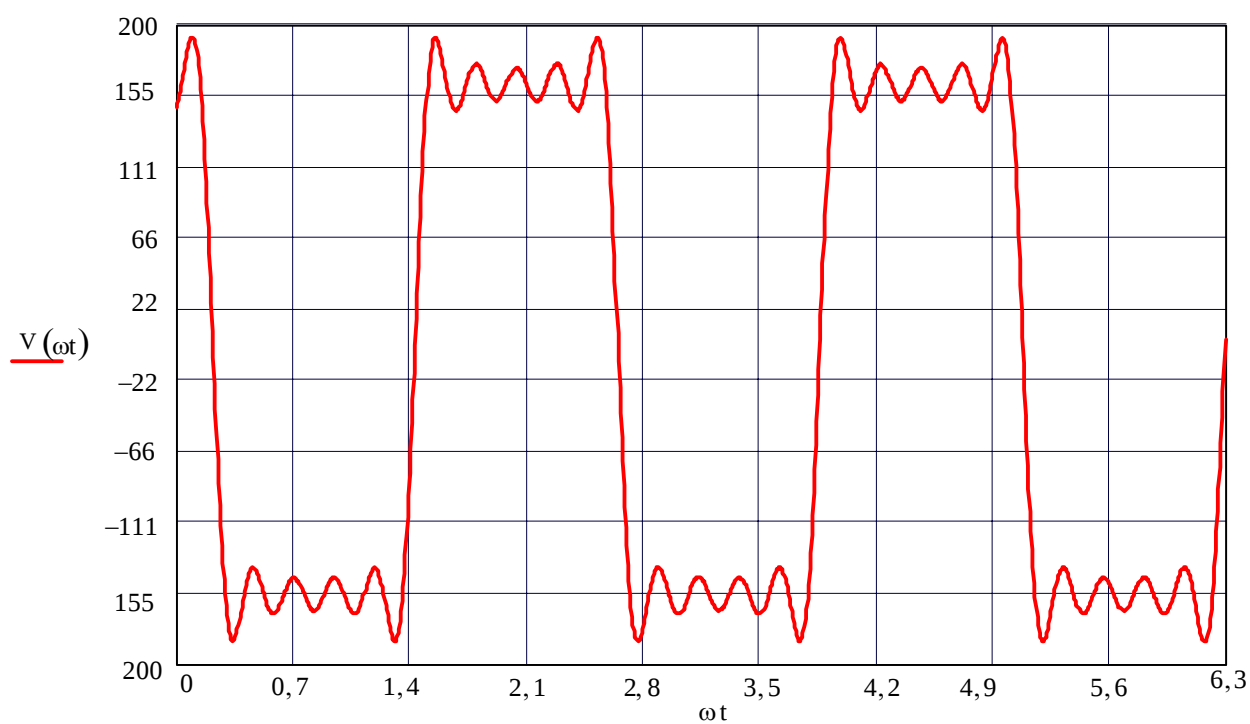


Figura 2.1- Forma de onda distorcida com diversas ordens harmônicas.

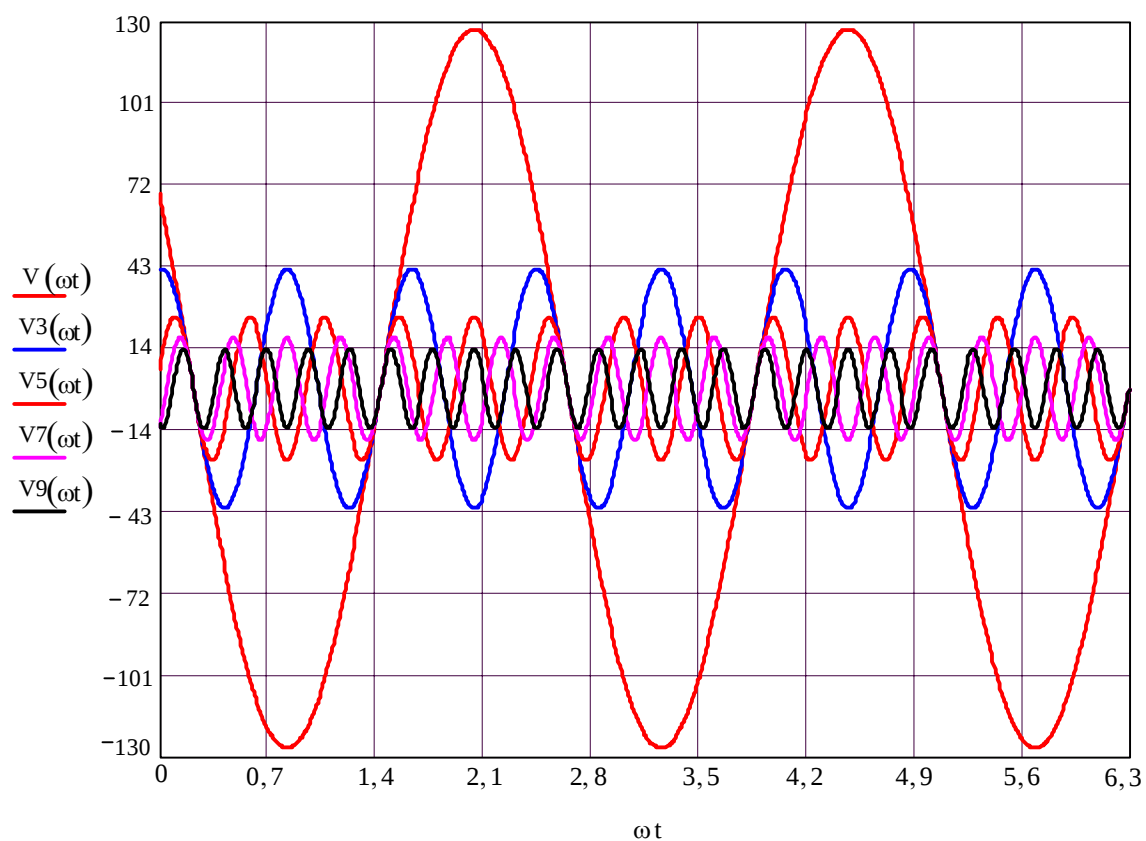


Figura 2.2- Componentes harmônicas referentes à forma de onda da figura 2.1.

De acordo com [19] três aspectos relevantes sobre harmônicos devem ser considerados:

- É um fenômeno contínuo, ou seja, de longa duração;
- Devido ao comportamento similar no semiciclo positivo e no semiciclo negativo da quase totalidade das cargas, os harmônicos de ordem ímpar são mais freqüentes e com maior intensidade e por isso, geralmente são os causadores de problemas;
- Normalmente, quanto maior a ordem ou a freqüência do harmônico, menor a sua intensidade.

Conhecidos os valores de tensões ou correntes harmônicas presentes no sistema, utilizam-se de procedimentos quantitativos para expressar a influência do conteúdo harmônico em uma forma de onda. Um dos mais utilizados é a “Distorção Harmônica Total”, a qual pode ser empregada tanto para sinais de tensões como para correntes, conforme equações (2.3) e (2.4), respectivamente.

- Distorção Harmônica de Tensão Total (DHTV)

$$DHTV = \sqrt{\frac{\sum_{h>1}^{h_{\max}} V_h^2}{V_1^2}} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

- Distorção Harmônica de Corrente Total (DHTI)

$$DHTI = \sqrt{\frac{\sum_{h>1}^{h_{\max}} I_h^2}{I_1^2}} \cdot 100\% \quad (2.4)$$

Onde:

- V_h - Valor eficaz da tensão de ordem h
- I_h - Valor eficaz da corrente de ordem h
- V_1 - Valor eficaz da tensão fundamental
- I_1 - Valor eficaz da corrente fundamental
- h - Ordem da componente harmônica

Para se analisar a influência de apenas uma ordem harmônica, em relação à fundamental, pode-se também fazer a análise da Distorção Harmônica Individual, conforme equações (2.5) e (2.6).

- Distorção Harmônica de Corrente Individual (DIHI)

$$DIHI = \frac{I_h}{I_1} \cdot 100\% \quad (2.5)$$

- Distorção Harmônica de Tensão Individual (DVHI)

$$DTHI = \frac{V_h}{V_1} \cdot 100\% \quad (2.6)$$

Usualmente, consideram-se as harmônicas até a 50ª ordem, em relação à fundamental, a partir desse valor elas são consideradas, normalmente, desprezíveis na análise de sistemas elétricos de distribuição de energia. Apesar de poderem causar interferência em dispositivos eletrônicos de baixa potência, elas não representam maiores problemas aos sistemas de potência de distribuição.

A preocupação com a interferência de harmônicos no sistema de energia tem aumentado nos últimos anos, devido ao surgimento de inúmeras cargas não-lineares e também cargas sensíveis a qualquer distúrbio na energia. A presença de harmônicos em um sistema pode nem sempre causar danos imediatos, mas com o tempo, equipamentos expostos a correntes harmônicas podem vir a apresentar sérios problemas. Dentre eles, citam-se os mais usuais:

1. Solicitação de isolamento: devido às distorções nas tensões;
2. Solicitação térmica: devido à circulação de correntes harmônicas. Os principais efeitos causados pelas solicitações térmicas e de isolamento resultam em perda de vida útil de transformadores, das máquinas rotativas, dos bancos de capacitores, etc.;
3. Operação indevida de diversos equipamentos elétricos (torques oscilatórios nos motores, atuação indevida dos controles, etc.). Em consequência desses efeitos, uma série de problemas podem ser relacionados, como a seguir:
 - Ressonâncias série e paralela;
 - Erros nas respostas de equipamentos, transdutores, medidores de energia elétrica e relés;
 - Perdas excessivas em cabos e equipamentos;
 - Aumentos dos custos de manutenção;
 - Falhas de equipamentos;

- Redução da vida útil de certas cargas (lâmpadas, transformadores, capacitores, motores, etc.);
- Solicitação de isolamento em transformadores e capacitores;
- Ruídos audíveis.

Devido aos problemas que as harmônicas causam em um sistema de energia e a falta de regulamentação nessa área tornou-se necessário estabelecer limites no Nível de Distorção Harmônica, na tentativa de propiciar a compatibilidade do sistema elétrico com os níveis de qualidade da energia fornecida. A tabela 2.2 se refere aos valores máximos permitidos de Distorção Harmônica de Tensão Total para sistemas de distribuição, com relação à tensão aplicada no Ponto de Acoplamento (PAC), conforme normas IEEE 519 e recomendações Prodist-ANEEL, módulo 8.

Tabela 2.2 – Níveis de distorções e componentes harmônicas para tensões em sistemas de distribuição de energia

V < 69kV				V ≥ 69kV			
Ímpares		Pares		Ímpares		Pares	
Ordem (h)	%	Ordem (h)	%	Ordem (h)	%	Ordem (h)	%
3, 5 e 7	5	2, 4 e 6	2	3, 5 e 7	2	2, 4 e 6	1
9, 11 e 13	3	≥ 8	1	9, 11 e 13	1,5	≥ 8	0,5
15 a 25	2			15 a 25	1		
≥ 27	1			≥ 27	0,5		
DHTV= 6%				DHTV= 3%			

Dependendo das cargas existentes no sistema, manter esse controle no nível de distorção harmônica se torna inviável. Para isso, usa-se de alternativas para reduzir essa distorção, como a inserção de filtros ativos ou passivos próximos às fontes geradoras de harmônicos, atenuação da circulação de harmônicas de sequência zero, em circuitos trifásicos, pela conexão de um dos lados dos transformadores em triângulo, aumento da potência de curto-circuito do sistema,

dentre outros métodos. Mas, para que seja tomada qualquer atitude com o intuito de minimizar as correntes harmônicas no sistema, faz-se necessário o estudo prévio da instalação, para que se possa estabelecer a alternativa mais eficaz e economicamente viável.

2.2.2 - Desequilíbrio de Tensões

Os desequilíbrios de tensões presentes nas redes elétricas são fenômenos referentes à 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. Com o surgimento de correntes desequilibradas, percorrendo o circuito elétrico, têm-se quedas de tensões provenientes dessas correntes.

Existem vários fatores que podem vir a gerar desequilíbrios nas tensões, sendo que os mais usuais são:

- Distribuição inadequada de cargas monofásicas;
- Linhas aéreas de transmissão com disposição física assimétrica e sem transposição;
- Conexões de transformadores;
- Abertura de um condutor;
- Falha na isolação de um equipamento;
- Fornos elétricos trifásicos a arco;
- Abertura de fusíveis em uma das fases de um banco de capacitores;
- Distorção Harmônica.

A forma de onda da tensão ou corrente desequilibrada pode ser decomposta em componentes simétricas. As componentes simétricas são divididas em componentes de seqüência positiva, seqüência negativa e seqüência zero. A componente de seqüência positiva é a única existente em um circuito equilibrado, devido a isso a análise de circuitos desequilibrados é mais complexa. Neste contexto, o grau de desequilíbrio é definido pela relação entre os módulos da tensão de seqüência negativa e da tensão de seqüência positiva, de acordo com a equação (2.7).

$$FDV(\%) = \frac{V_{(-)}}{V_{(+)}} \cdot 100 \quad (2.7)$$

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

$V_{(+)}$ - Módulo da componente seqüencial positiva

Para as formulações de definição do nível de desequilíbrio, utilizando componentes simétricas, são considerados apenas os valores para a componente de seqüência negativa, pois esta é a mais apropriada no caso de possíveis interferências em equipamentos conectados ao sistema. Por outro lado, as componentes de seqüência zero se somam e circulam no neutro, exigindo adicionalmente do sistema um dimensionamento adequado.

As componentes seqüenciais positivas ($V_{(+)}$) e negativas ($V_{(-)}$) são determinadas através da solução do sistema matricial dado por (2.8).

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_{(+)} \\ \dot{V}_{(-)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Sendo que o operador α é igual ao fasor de módulo unitário e ângulo de 120 graus ($1\angle 120^\circ$) elétricos.

Assim, reescrevendo o sistema dado por (2.8), obtém-se de maneira explícita as equações (2.9) e (2.10) para a determinação das componentes seqüenciais (positiva e negativa).

$$\dot{V}_{(+)} = \frac{1}{3} \cdot \left(\dot{V}_a + \alpha^2 \cdot \dot{V}_b + \alpha \cdot \dot{V}_c \right) \quad (2.9)$$

$$\dot{V}_{(-)} = \frac{1}{3} \cdot \left(\dot{V}_a + \alpha \cdot \dot{V}_b + \alpha^2 \cdot \dot{V}_c \right) \quad (2.10)$$

Embora a determinação do grau de desequilíbrio seja dependente apenas dos módulos das componentes seqüenciais, 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.

Como alguns instrumentos de medição não disponibilizam os ângulos dos fasores, foram criadas formas alternativas para quantificação do desequilíbrio de tensão. Diante disso, apresentam-se na literatura expressões alternativas, as quais consideram apenas os módulos das tensões trifásicas. Tais métodos serão, resumidamente, descritos a seguir [20].

A norma NEMA–MG–14.34, a fim de quantificar o desequilíbrio de tensões, define o fator de desequilíbrio, como a relação entre o máximo desvio da tensão média entre os módulos das tensões trifásicas e o valor desta tensão média, tendo como referência as tensões de linha, de acordo com (2.11).

$$FDV(\%) = \frac{\Delta V}{V_m} \cdot 100 \quad (2.11)$$

Onde:

ΔV - Máximo desvio das tensões de linha em relação ao valor médio;

V_m - Média aritmética dos módulos das tensões trifásicas (de linha).

O IEEE recomenda que o desequilíbrio de tensão deva ser obtido por uma relação que expressa a maior diferença entre as tensões de linhas medidas e o somatório das mesmas, conforme (2.12).

$$FDV(\%) = \frac{3(V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n})}{V_{ab} + V_{bc} + V_{ca}} \cdot 100 \quad (2.12)$$

Onde:

$V_{m\acute{a}x}$ - Maior valor dentre os módulos das tensões trifásicas (de linha);

$V_{m\acute{i}n}$ - Menor valor dentre os módulos das tensões trifásicas (de linha);

V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} - Valores eficazes das tensões de linhas.

De forma a antever eventuais discrepâncias entre os valores encontrados para os desequilíbrios, foram realizadas pelo grupo de Qualidade de Energia do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) investigações para a fundamentação de propostas alternativas para a determinação do fator de desequilíbrio, além daquela que emprega a relação entre as componentes simétricas.

Simulações foram executadas em um sistema trifásico típico, impondo-se desequilíbrios, utilizando-se o método das componentes simétricas, com níveis de 0 a 10%. Nestas condições, observou-se que a expressão cujo resultado mais se aproxima daquela considerada ideal para o cálculo do fator de desequilíbrio, definida pela relação entre as componentes simétricas, corresponde à proposta oriunda da

CIGRE e utilizada pelas recomendações/normas GCOI/GCPS e NRS – 048, dada pelo conjunto de equações (2.13) e (2.14), onde se emprega uma expressão para o fator de desequilíbrio a partir de uma grandeza adimensional que correlaciona às tensões de linha.

$$FDV(\%) = 100 \cdot \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6 \cdot \gamma}}{1 + \sqrt{3 - 6 \cdot \gamma}}} \quad (2.13)$$

Onde:

$$\gamma = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2} \quad (2.14)$$

Assim, o método de determinação de FDV (Fator de desequilíbrio da tensão) baseado nas equações (2.13) e (2.14) foi adotado nos procedimentos de desenvolvimento deste do trabalho.

2.3 - Princípio de Operação dos Medidores Watt-Hora tipo Indução

Para que se possa dar início à explicação do funcionamento dos medidores de energia ativa, tipo indução, é preciso conhecer a estrutura dos mesmos.

A figura 2.3 apresenta as partes componentes do medidor Watt-Hora Tipo Indução Monofásico, que podem ser estendidas para o entendimento de todos os tipos de medidores tipo indução, tanto bifásicos, quanto trifásicos.

Partes componentes do medidor

- | | |
|---------------------------|---------------------------------|
| 1 - Contador | 7 - Rolamento de Eixo superior |
| 2 - Eletroímã de Tensão | 8 - Eixo de Suspensão do disco |
| 3 - Bobina de Tensão | 9 - Disco |
| 4 - Bobina de Frenagem | 10 - Imã Permanente |
| 5 - Bobina de Corrente | 11 - Rolamento de Eixo inferior |
| 6 - Eletroímã de Corrente | 12 - Parafuso Terminal |

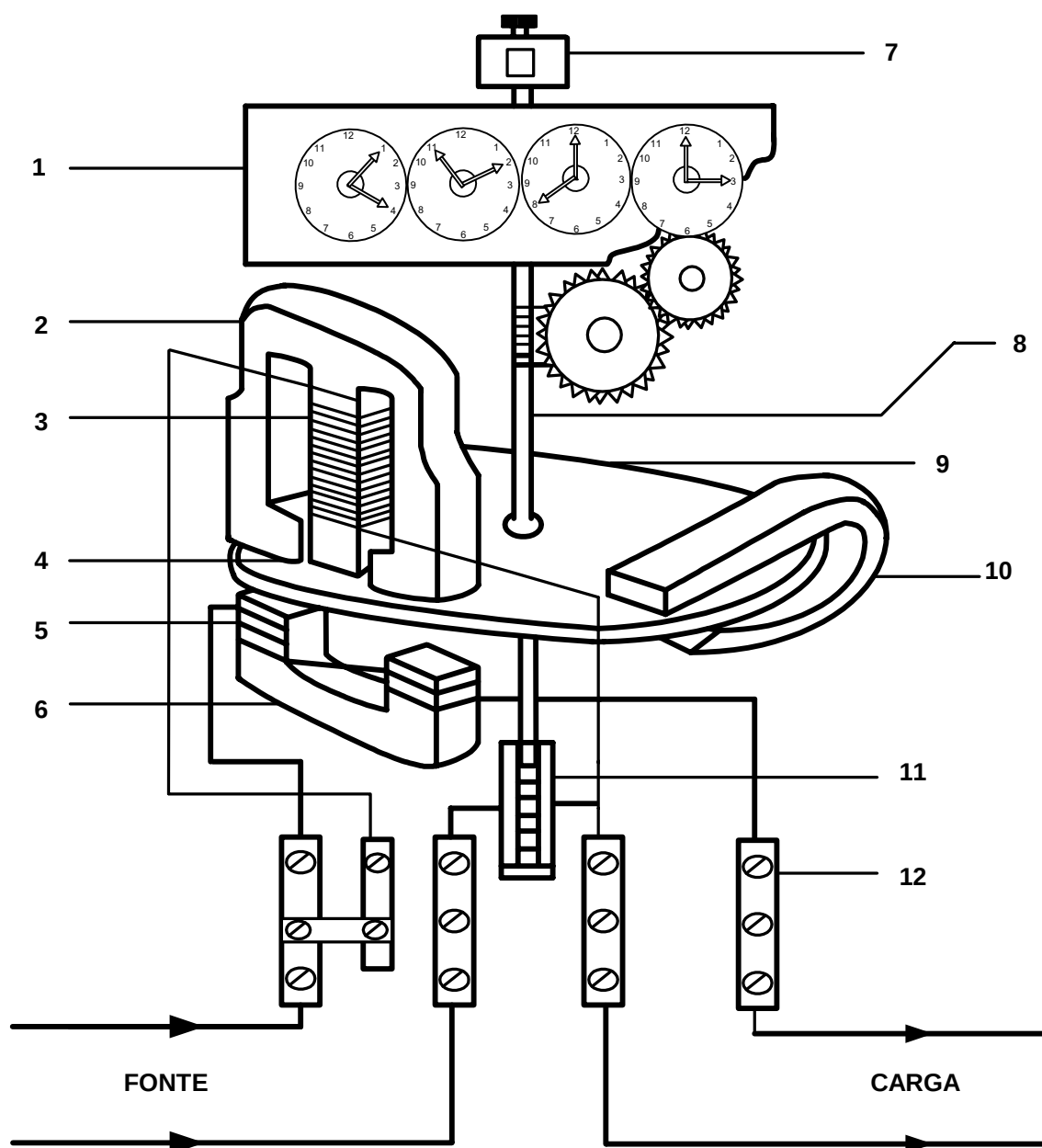


Figura 2.3 - Medidor Tipo indução Monofásico.

O medidor eletromecânico é baseado no princípio de Ferraris: “Um condutor percorrido por uma corrente elétrica, na presença de um campo magnético externo,

fica submetido a uma força”. Este fenômeno é conhecido como interação eletromagnética e é através dessa interação que se tem o funcionamento do medidor de energia tipo indução.

São colocadas duas bobinas fixas em quadratura no espaço, sendo cada uma percorrida por uma corrente elétrica alternada senoidal com diferente ângulo de fase. Essa corrente elétrica alternada gera um fluxo alternado que atravessa o disco de alumínio e nele é induzida uma corrente, denominada corrente de Foucault. A bobina de tensão gera um fluxo magnético que interage com a corrente de Foucault gerada pela bobina de corrente e devido à essa interação é gerado uma força que tem seu sentido dado pela regra da mão direita e seu módulo pela equação (2.15). O mesmo ocorre com o fluxo gerado pela bobina de corrente e a corrente gerada pelo fluxo magnético da bobina de tensão, gerando uma força no mesmo sentido da anterior.

$$F = B \cdot i \cdot L \cdot \sin \alpha \quad (2.15)$$

Onde:

- B - Campo magnético gerado pela bobina de tensão;
- i - Corrente elétrica que percorre a bobina de corrente;
- L - Comprimento do fio condutor por onde percorre a corrente elétrica;
- α - Ângulo entre a corrente e o campo magnético.

Essa força proporciona um conjugado em relação ao eixo, fazendo girar o disco de alumínio. Para uma melhor elucidação do sentido das forças e conjugado, usaremos de um exemplo onde para uma carga Z puramente resistiva, a tensão aplicada à carga e a corrente que a percorre estão em fase, conforme figura 2.4 [18].

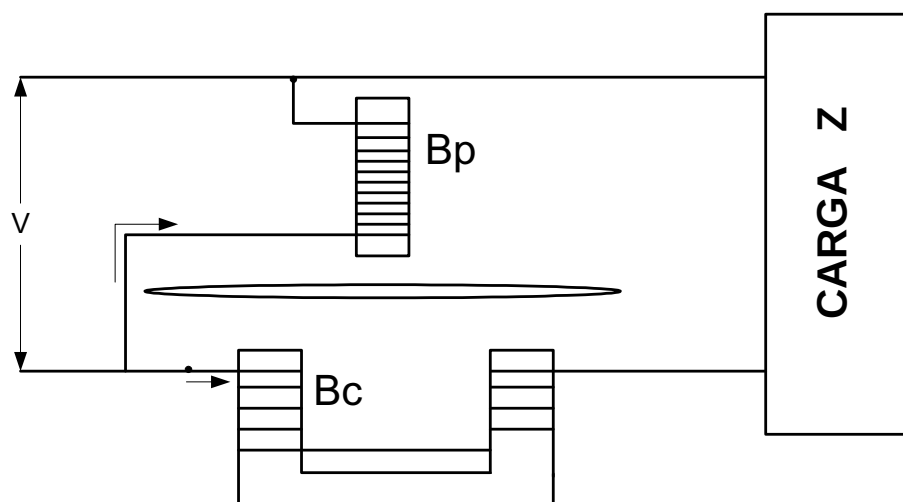


Figura 2.4 - Exemplo de ligação para análise das forças existentes.

A figura 2.5 apresenta as curvas referentes ao exemplo da figura 2.4, a figura 2.5(a) apresenta duas curvas: a curva da tensão aplicada à carga e a curva de corrente que percorre a mesma. Na figura 2.5(b) encontram-se as curvas dos fluxos gerados pela bobina de corrente e pela bobina de tensão.

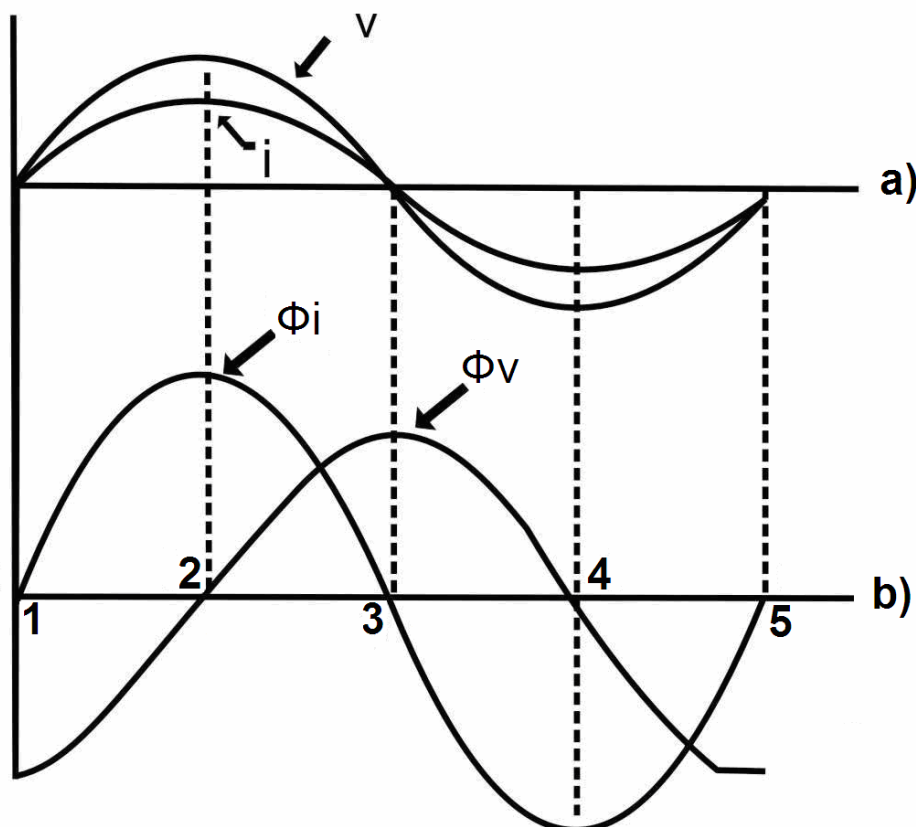


Figura 2.5 – (a) Tensão e corrente aplicada à carga;
(b) Fluxos gerados pelas bobinas de corrente e de tensão.

O fluxo gerado pela bobina de corrente está em fase com a corrente que o originou, porém, o fluxo gerado pela bobina de tensão está atrasado cerca de 90° , por se tratar de uma bobina altamente indutiva.

As figuras 2.6 até 2.9 ilustram, de acordo com a Lei de Lenz, os sentidos das correntes induzidas no disco devido à variação dos fluxos indutores Φ_v e Φ_i , assim como, o sentido da força criada pela interação da corrente com o campo magnético em cada intervalo do ciclo, respectivamente.

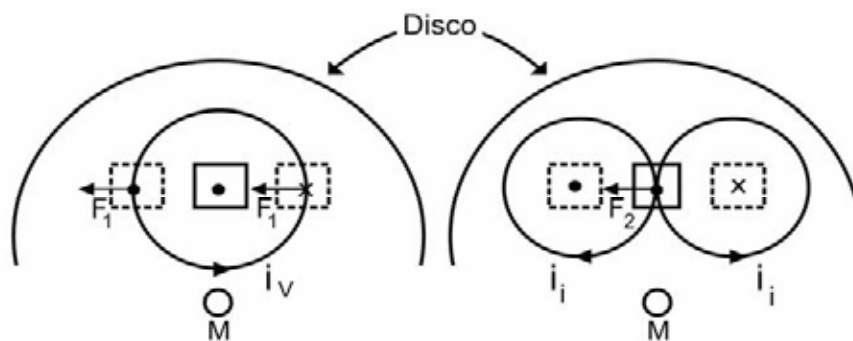


Figura 2.6 – Intervalo 1 - 2: Φ_v decresce, Φ_i cresce

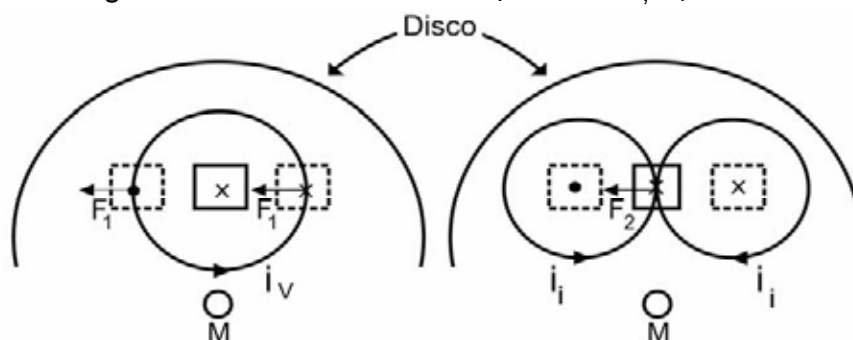


Figura 2.7 – Intervalo 2 - 3: Φ_v cresce, Φ_i decresce

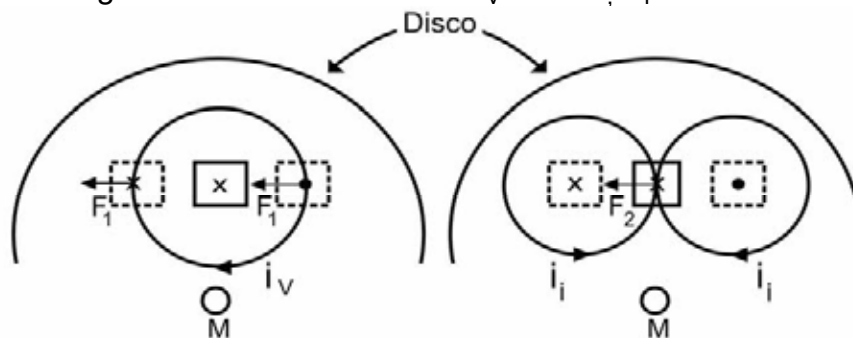


Figura 2.8 – Intervalo 3 - 4: Φ_v decresce, Φ_i cresce

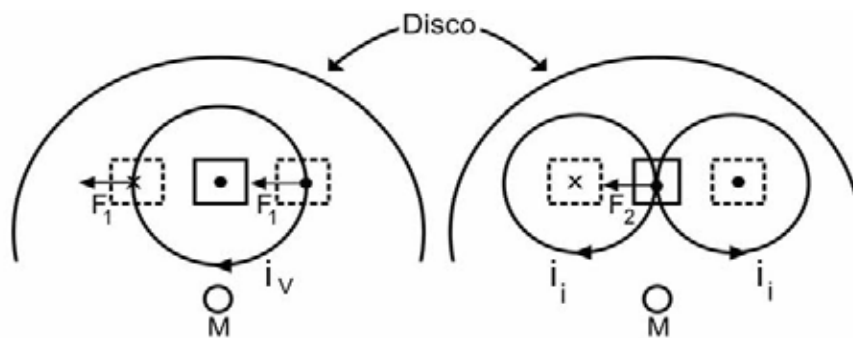


Figura 2.9 – Intervalo 4 - 5: Φ_v cresce, Φ_i decresce

Tendo em conta a disposição das várias peças que constituem o medidor, no espaço o fluxo Φ_v é sempre normal à direção de i_i e o fluxo Φ_i é sempre normal à direção de i_v . Assim, as forças F_1 e F_2 originadas pela interação entre o fluxo Φ_v e i_v e entre Φ_i e i_i , respectivamente, estão postas no plano do disco e sempre dirigidas no mesmo sentido para todos os intervalos do ciclo, o que pode ser concluído pela regra da mão direita. Estas forças, estando a certa distância do eixo de rotação, criam em relação a ele um conjugado motor.

O que determina a quantidade de energia elétrica consumida pela carga, é a velocidade de rotação do disco, que é ajustada de tal modo que o número de rotações durante um intervalo de tempo seja proporcional à energia solicitada pela carga durante esse intervalo. Essa velocidade é concebida pela interação dos conjugados atuantes no disco. Além do conjugado motor, existe também o conjugado resistente que tem o sentido de oposição ao conjugado motor, com o propósito de estabelecer uma condição de equilíbrio ao medidor. A necessidade deste conjugado reside no fato de que somente a aplicação de um conjugado de condução no disco, levaria o mesmo a uma velocidade proporcional à frequência de rede e não a uma velocidade proporcional à energia consumida. Este conjugado se dá através de um ímã permanente acoplado ao sistema, e, conforme se verifica na figura 2.3, este ímã tem a função ainda de evitar deslocamentos bruscos da parte móvel, ao partir da posição em repouso, como também voltar a ela, uma vez cessado o conjugado de condução.

Os medidores de energia tipo indução também são submetidos a uma análise metrológica para que se possa definir a conveniência do instrumento para realizar medições em uma determinada faixa e com exatidão conhecida, e, assim, obtendo-se um valor mensurado e estimando-se sua incerteza. Os instrumentos só podem ser usados quando suas propriedades metrológicas são bem conhecidas. Desta forma, isto requer que os medidores de energia sejam submetidos a inúmeros testes e condições de operação para posterior comercialização. Adicionalmente, informa-se que, as condições de aferição dos medidores estão baseadas em normas específicas, existindo órgãos responsáveis para essa vistoria e certificação.

A NBR 8377 trata da especificação de medidores de energia ativa, classificando-os quanto a sua classe de exatidão dentre outros parâmetros [21].

A classe de exatidão conforme [21] é o número que define os limites admissíveis de erro relativo percentual para todos os valores de corrente entre $0,1 \cdot I_n$ (10% da corrente nominal) e $I_{\max}$ (corrente máxima), para fator de potência unitário e cargas equilibradas, quando o medidor é ensaiado sob condições de referência.

A tabela 2.3 apresenta o limite de erro de acordo com cada classe de exatidão.

Tabela 2.3 – Limite de erro de acordo com a classe de exatidão

Classe de exatidão	Limite de erro
2	$\pm 2\%$
1	$\pm 1\%$
0,5	$\pm 0,5$

Os medidores convencionais tipo indução encontrados no Brasil são todos da classe de exatidão 2 (dois). Entretanto, existem medidores com classe de exatidão 1 e 0,5 importados, porém o custo é muito elevado.

2.4 - Medidores tipo indução sujeitos à distorções harmônicas de tensões e correntes, e, desequilíbrios de tensões

Com o aumento de cargas não lineares nos sistemas de energia elétrica, os níveis das distorções harmônicas de correntes e tensões têm aumentado gradativamente. Neste contexto, torna-se importante a análise do desempenho dos medidores de energia elétrica ativa do tipo indução, operando com correntes e tensões distorcidas e, inclusive, com desequilíbrios de tensões.

Diversos trabalhos já foram realizados com o intuito de verificar as consequências da circulação de correntes e tensões com distorções harmônicas em medidores de energia elétrica ativa [01 até 08].

Em [01] foram realizados testes em medidores do tipo indução trifásicos, sujeitos as distorções harmônicas de tensões e correntes, em que foram utilizadas duas fontes geradoras de harmônicas para aplicação de formas de onda de tensões e correntes independentes. Ao final desses testes, foi observado que as medições

dos medidores de energia elétrica do tipo indução, são afetadas com a presença de harmônicos no sistema. Observou-se ainda que os erros de medição tornavam-se maiores quando as harmônicas de tensão e corrente estavam em fase. Esta constatação implica em operação com distorções harmônicas e fator de potência unitário, ou seja, carga puramente resistiva. Desta forma, tal análise não contribui para uma avaliação rigorosa, considerando-se as cargas equivalentes típicas presentes nos sistemas de distribuição.

A referência [02] teve o objetivo de investigar a influência da circulação de harmônicos em medidores de energia ativa, considerando os seguintes parâmetros: correntes, fluxos e torques. Os autores observaram que os erros de medição foram mais sensíveis às variações das distorções harmônicas na tensão, com o fator de potência unitário. Estas observações são coerentes com aquelas observadas na referência [01]. Entretanto, fator de potência unitário significa que as componentes harmônicas das correntes possuem os mesmos espectros (mesmas frequências), ou seja, mesmas distorções harmônicas, e, com deslocamentos nulos em relação às componentes harmônicas das tensões. Isto mais uma vez, implica em cargas puramente resistivas sendo alimentadas por tensões distorcidas em fase com as correntes. Para testes realizados com fator de potência menores que a unidade, os erros de medição se mostraram dependentes exclusivamente da distorção harmônica de corrente, verificando-se erros de medição negativos, quando os medidores operavam nestas condições para as quais eles não foram projetados. Estas análises são coerentes com os estudos presentes nas referências bibliográficas, entretanto, a influência dos ângulos de deslocamentos, com fatores de potência inferiores à unidade, não foram devidamente avaliados nesta pesquisa.

Na referência [03] foi desenvolvido um modelo matemático que relaciona a influência das harmônicas na tensão e na corrente, ao torque dos discos dos medidores do tipo indução. Os parâmetros considerados para a análise desta influência foram: a saturação no circuito magnético, a indutância do disco, a dependência da frequência nos parâmetros do disco e a impedância das bobinas de tensão, considerando-se a variação da frequência das componentes harmônicas. Os autores verificaram que os erros estavam correlacionados com os níveis de distorção harmônica na tensão e na corrente. A resistência da bobina de tensão aumenta substancialmente com o aumento da frequência, porém, a indutância

decrece com o aumento da frequência da componente harmônica. Observaram ainda que o decréscimo da indutância é menos representativo se comparado com o aumento da resistência da bobina, podendo ser desconsiderado. Nessa pesquisa foi utilizado um número restrito de componentes harmônicas, apenas as harmônicas de 3a, 4a, 5a e 7a ordens, constatando-se que os medidores apresentaram erros de medição negativos. A modelação matemática é limitada quanto ao conteúdo harmônico e sua influência nos principais parâmetros dos medidores fica prejudicada, considerando-se as distorções harmônicas típicas de correntes e tensões presentes nos sistema de distribuição.

Na referência [04] os autores realizaram a análise de medidores watt-hora sob condições não senoidais. Realizou-se nesse trabalho a modelação dos medidores de indução monofásicos. Os modelos resultantes foram simulados em software específico e os resultados confrontados e validados através de resultados experimentais. Das análises dos resultados, os autores verificaram que os erros de medição apresentaram desvios positivos, ou seja, registrando valores maiores do que o realmente consumido, para tensão de alimentação distorcida e cargas passivas e lineares. Porém, no caso de cargas indutivas e não lineares os erros tenderam a ser negativos, com o medidor watt-hora tipo indução registrando valores menores que os registrados pelo equipamento padrão para os ensaios. Os resultados apresentados pelos autores são limitados aos medidores monofásicos, tipo indução, e diversos parâmetros de ajustes dos modelos não são elucidados pelos autores e/ou não são facilmente obtidos, considerando-se um erro adequado entre os resultados dos modelos e experimentações.

Outro trabalho referente à análise do desempenho de medidores de energia elétrica, sob a influência de harmônicas na tensão e na corrente, foi apresentado em [05]. Esta análise foi realizada apenas em medidores monofásicos, em que os sinais de tensão e corrente são gerados em canais diferentes de uma placa de geração de sinais. Nesta configuração, os ensaios realizados pelos autores permitiram análises experimentais com diferentes distorções harmônicas nas formas de onda de tensão e corrente. Foram aplicados diferentes cenários para os ensaios, em que, primeiramente, impuseram apenas a variação do ângulo de atraso da corrente em relação à tensão, proporcionando assim um fator de potência indutivo. Na sequência, foram aplicadas distorções harmônicas nas formas de onda de tensão e

corrente com variação da frequência, porém as formas de onda apresentaram sempre a mesma composição harmônica, contudo, apresentando DHT diferentes para tensão e corrente. Observa-se ainda que, as formas de onda utilizadas para alimentação da bobina de corrente possuíam maior distorção harmônica total que aquela das tensões aplicadas às bobinas de tensão. Das análises laboratoriais, os autores verificaram que somente com a variação do ângulo de defasamento entre a tensão e a corrente houve erros de medição negativos, porém não foram erros significativos. Com a introdução de harmônicos, verificou-se que quanto maior a frequência da harmônica aplicada, menor era o valor da energia ativa indicada pelo medidor. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que o torque responsável pelo movimento de rotação do disco é proporcional ao produto das correntes que passam pelas duas bobinas do medidor, e estas diminuem com o aumento da frequência da harmônica ensaiada. Apesar das análises realizadas pelos autores, este trabalho ainda carece de uma análise do comportamento dos erros considerando-se os ângulos de deslocamentos e as distorções harmônicas de forma conjunta. Além disso, torna-se também importante a análise experimental considerando-se cenários de tensões e correntes típicos dos sistemas reais de distribuição de energia elétrica.

Na referência [06] é feita uma análise do efeito das harmônicas em diversos equipamentos presentes nos sistemas de energia elétrica. Dentre as análises presentes neste artigo os autores apenas comentam, sem maiores detalhes, que quando os medidores de energia elétrica tipo indução são submetidos a distorções harmônicas de tensões e correntes, a tendência é de apresentarem erros de medição negativos. Entretanto, este trabalho não apresenta uma investigação nem analítica nem experimental destas influências, apenas relacionando determinados erros com os espectros de frequência dos sinais de tensões e correntes.

Em [07] os autores observaram os erros de medidores de energia elétrica ativa, tipo indução, instalados em consumidores de diferentes categorias. Foram utilizados medidores eletrônicos de classe de exatidão superior aos analisados, com a finalidade de confrontação dos resultados, sendo que, um deles foi programado para registrar ordens harmônicas e outro para desconsiderar as harmônicas no sistema. Com a comparação de leitura dos medidores utilizados, juntamente com aqueles analisados, os autores verificaram pequenos erros de medição dos

medidores de energia elétrica tipo indução. Estas comparações de confronto, considerando-se como medidor padrão um equipamento eletrônico, foram realizadas em ambientes reais e típicos experimentados pelos medidores em análise, tipo indução. Entretanto, devido às limitações dos cenários experimentados, as análises são limitadas para a verificação do comportamento destes medidores tipo indução, considerando-se a necessidade de ampla variação de espectro harmônico para tensões e correntes, inclusive em cenários com desequilíbrios de tensões.

Em [08], os autores apresentaram os resultados de diversos ensaios realizados com o objetivo de determinar a resposta em frequência e o efeito da corrente contínua e dos harmônicos na degradação do medidor de energia elétrica ativa. Verificou-se que uma constante K_h e um deslocamento de fase θ_h , introduzidos para cada frequência, determinam o desvio de medição naquela frequência e fase. Destacaram também que, a intensidade e direção do fluxo de potência harmônica são importantes para o registro da energia elétrica consumida. A presença de corrente contínua e harmônicos de corrente, e/ou tensão, afetam as componentes do fluxo, modificando o torque direcional e o de frenagem e, conseqüentemente, provocando erro adicional. Este artigo apresenta resultados significativos para a análise de erros de medidores de energia elétrica ativa, entretanto, os cenários de análise são ainda reduzidos e não foram analisados os prováveis efeitos dos desequilíbrios das tensões.

Portanto, considerando-se as referências bibliográficas investigadas, ficou demonstrado que a melhor metodologia para a análise de erros dos medidores de energia elétrica ativa, tipo indução, é aquela que envolve a experimentação destes medidores em condições próximas daquelas experimentadas pelos mesmos nos sistemas de distribuição. Neste contexto, este trabalho além de estabelecer um procedimento de ensaio experimental para os medidores tipo indução, de tal forma que as distorções harmônicas de tensões e correntes possam ser distintas e independentemente controladas, com quaisquer ângulos de defasagem, permitirá a análise destes medidores com quaisquer desequilíbrios de tensões de interesse, considerando-se uma ampla variedade de cenários de distorções harmônicas (tensões e correntes), obtidos através da aquisição de sinais (tensões e correntes) em consumidores com perfis tipicamente residenciais, comerciais, rurais e

industriais, em um ambiente real de sistema de distribuição de energia elétrica, admitido como exemplo para a pesquisa.

2.5 - Considerações Finais

Do exposto, o objetivo deste capítulo foi apresentar uma revisão bibliográfica dos temas relevantes à pesquisa.

Primeiramente, fez-se uma introdução dos itens relacionados à qualidade de energia elétrica, conceituando os fenômenos mais encontrados com suas origens e características e assim definindo as consequências que podem vir a causar no sistema elétrico. Em seguida, fez-se uma análise resumida dos fenômenos que são analisados na dissertação: Harmônicos e Desequilíbrios de Tensão. Foram apresentados de forma resumida, pois são fenômenos amplamente divulgados e estudados na literatura.

Após um resumo dos fenômenos que serão analisados quando submetidos aos medidores tipo indução, foi apresentado o princípio de funcionamento deste medidor de energia elétrica ativa, equipamento responsável pelo registro de kWh consumido na grande maioria das instalações. Observa-se que foi considerado o exemplo de um medidor de energia elétrica monofásico, para facilitar a compreensão.

Ao analisar algumas publicações, nas quais foram estudados os comportamentos de medidores de energia elétrica, sujeitos às formas de onda de correntes e tensões com distorções harmônicas, observou-se que os medidores de energia elétrica tipo indução, podem apresentar erros de medição consideráveis, quando estão operando nessas condições, havendo a necessidade de uma análise experimental mais aprofundada do tema, justificando-se a proposta desta dissertação, uma vez que os desequilíbrios de tensões são também pouco investigados.

CAPÍTULO III

PROCEDIMENTOS, PROTOCOLOS PARA OS ENSAIOS E ARRANJO LABORATORIAL.

3.1 - Introdução

Para dar início aos procedimentos laboratoriais foi necessária a seleção dos medidores de energia a serem ensaiados, assim como as formas de onda distorcidas que serão aplicadas no sistema.

Neste capítulo serão apresentadas as etapas de seleção dos medidores, as suas características, parâmetros e as informações relevantes à pesquisa, quais sejam a classe de exatidão e a constante de disco de cada amostra selecionada.

A escolha das formas de onda utilizadas nos ensaios se deu a partir de tensões e correntes aquisitadas em um sistema real de distribuição, em consumidores com características de cargas típicas industriais, comerciais, rurais e residenciais.

Apresenta-se ainda o arranjo admitido para medições e comparações, assim como, os procedimentos e protocolos utilizados nos ensaios.

3.2 – Seleção dos medidores

Essa etapa teve por finalidade a seleção dos medidores a serem ensaiados no decorrer da pesquisa. Admitindo-se a existência de banco de dados de uma concessionária de distribuição de energia elétrica, incluindo-se o cadastro de medidores e de consumidores, foram consideradas para ensaios três repetições de cada medidor (amostra) que apresentou maior índice percentual de consumo médio

de energia elétrica aferido num período de 14 (quatorze) meses, para cada padrão de distribuição (bifásico e trifásico) de energia elétrica.

O primeiro passo foi a determinação e catalogação da população de modelos de medidores em operação, a sua distribuição em zonas urbana e rural, e o montante de registro de consumo relacionado com os mesmos em valores percentuais do montante total, considerando-se uma média global de 14 (quatorze) meses.

Uma vez efetuado o processo de coleta da população de medidores em função de seu tipo e de sua categoria de tensão, avaliou-se o impacto efetivo de cada modelo de medidor em sua categoria e no arranjo global da empresa, com relação à quantidade de unidades instaladas no parque e o montante do consumo médio aferido pelos mesmos.

O princípio de escolha consistiu em selecionar inicialmente todos os modelos que possuíssem consumo maior que a média calculada para a sua categoria. Posteriormente, a análise concentrou-se em selecionar os modelos que possuíssem o fator kWh-unitário (percentual do kWh total (média 14 meses), dividido pelo número de equipamentos instalados) maior que a média mais um desvio padrão, calculado para a sua categoria. Exceções a esta regra foram ainda estabelecidas, consistindo do descarte de certos modelos em função de se tratarem de equipamentos obsoletos e/ou em fase de eliminação do parque de medidores da empresa, e, ainda, da inserção de outros modelos em função de plano de expansão/atualização dos mesmos.

Finalmente, em função dos resultados obtidos, realizou-se a seleção dos medidores que foram significativos e representativos, em termos percentuais, em relação ao montante de consumo médio registrado pela empresa, nas seguintes categorias de interesse para a pesquisa: medidores de indução bifásicos e trifásicos. Observa-se que a concentração dos estudos experimentais para somente os bifásicos e trifásicos, estabelecidos nesta pesquisa, se deve aos valores insignificantes de participação dos medidores monofásicos no registro de consumo de energia elétrica ativa da concessionária admitida para análise.

Apesar do número significativo de medidores monofásicos instalados, são normalmente destinados às classes de baixo consumo, e, portanto insignificantes para uma análise estatística de perda de receita devido erros de medição referentes

a distorções harmônicas de tensões e correntes, considerando-se a concessionária admitida como exemplo para esta pesquisa.

As tabelas 3.1 e 3.2 apresentam os medidores bifásicos e trifásicos selecionados, com sua classe de exatidão e constante de disco (Kd), considerando-se os mesmos de forma genérica como Amostras 1, 2, 3, etc..

Tabela 3.1 – Amostras de medidores bifásicos selecionados

Modelo	Classe de Exatidão	Kd
Amostra 1	2	7,2
Amostra 2	2	7,2
Amostra 3	2	3,6
Amostra 4	2	7,2
Amostra 5	2	7,2

Tabela 3.2 – Amostras de medidores trifásicos selecionados

Modelo	Classe de Exatidão	Kd
Amostra 6	2	10,8
Amostra 7	2	10,8
Amostra 8	2	10,8
Amostra 9	2	10,8
Amostra 10	2	10,8
Amostra 11	2	10,8

Para cada amostra selecionada, foram adquiridos três medidores (três repetições), possibilitando a obtenção de uma média de erro cada uma destas amostras, considerando-se os perfis de tensões e correntes a serem ensaiados.

3.3 – Seleção das formas de onda

3.3.1 – Sistemas equilibrados

Para que pudesse ser feita a escolha das formas de onda de tensão e de corrente a serem usadas nos ensaios laboratoriais, adotaram-se aquisições realizadas em consumidores da área da concessionária admitida para análise.

Foram selecionadas formas de onda (perfis de correntes e tensões) de consumidores com características comerciais, residenciais, industriais e rurais, proporcionando perfis com distintas distorções, tanto de tensões, quanto de correntes.

Na tabela 3.3 são apresentadas às nomenclaturas das formas de onda de tensões aplicadas aos medidores bifásicos, com suas respectivas distorções. Na tabela 3.4, encontram-se as nomenclaturas das formas de onda de corrente, assim como a distorção harmônica total de cada forma de onda.

Tabela 3.3 – Formas de onda de tensões selecionadas para os medidores bifásicos.

Nomenclatura	Tipo de Consumidor	Distorção Harmônica Total de Tensão
BV1	Residencial	3,0
BV2	Comercial	3,3
TV1	Residencial	2,9
TV2	Comercial	2,9

Tabela 3.4 – Formas de onda de correntes selecionadas para os medidores bifásicos.

Nomenclatura	Tipo de Consumidor	Distorção Harmônica Total de Corrente
BI1	Residencial	12,3
BI2	Comercial	42,3
TI1	Residencial	46,8
TI2	Residencial	24,0
TI3	Comercial	24,7

Nas figuras 3.1 até 3.21 são apresentados os perfis de tensões e correntes admitidos para os ensaios dos medidores bifásicos selecionados, assim como seus

níveis de distorções harmônicas, considerando-se ainda o perfil senoidal como referência para as medições.

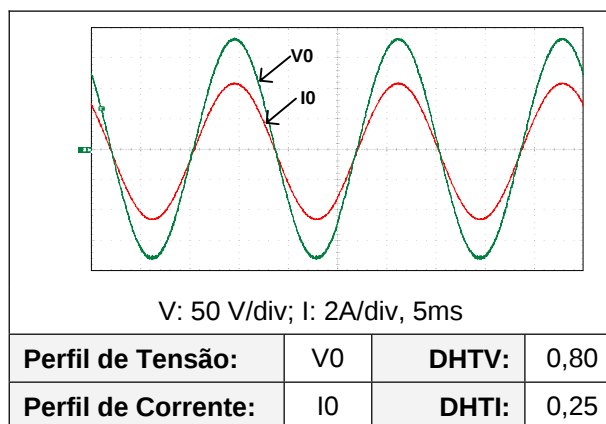


Figura 3.1 – Formas de onda referentes ao perfil Senoidal

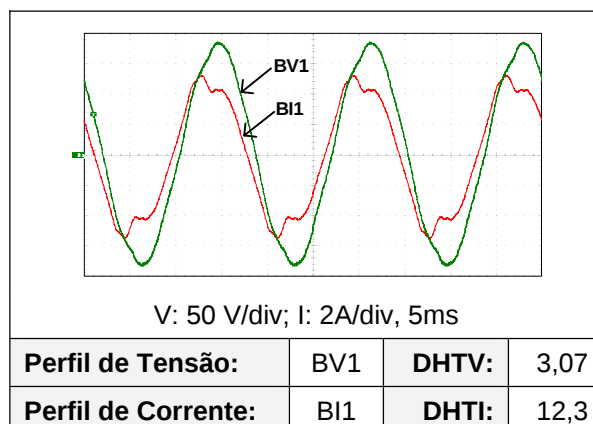


Figura 3.2 – Formas de onda referentes ao perfil BV1-BI1.

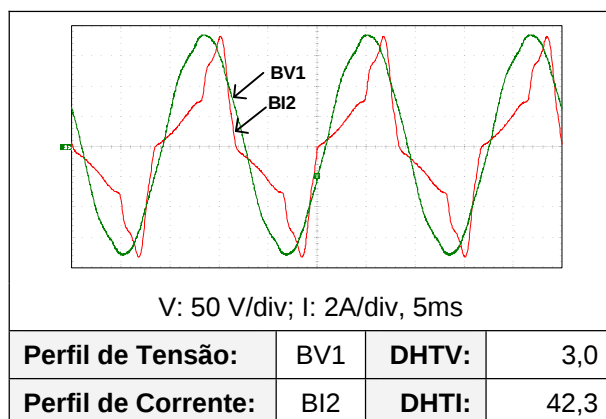


Figura 3.3 – Formas de onda referentes ao perfil BV1-BI2.

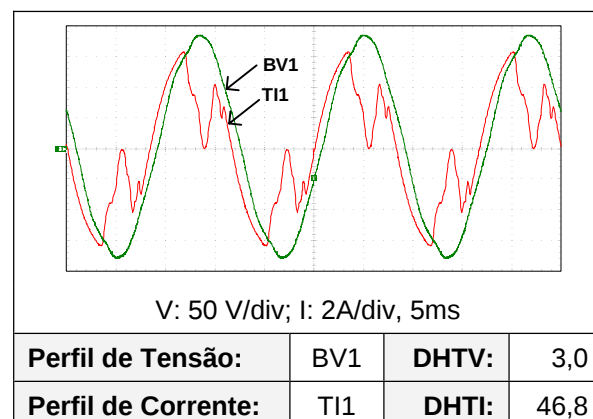


Figura 3.4 – Formas de onda referentes ao perfil BV1-TI1.

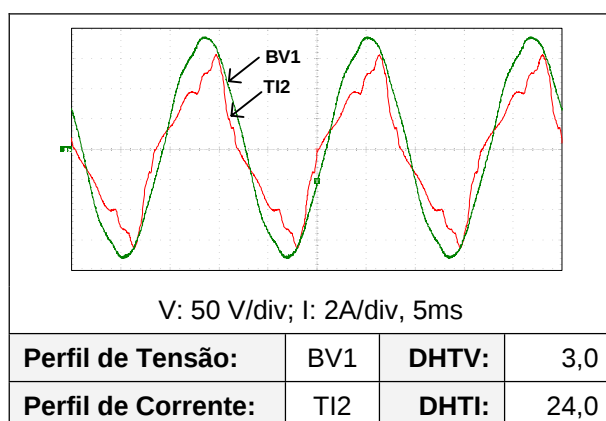


Figura 3.5 – Formas de onda referentes ao perfil BV1-TI2.

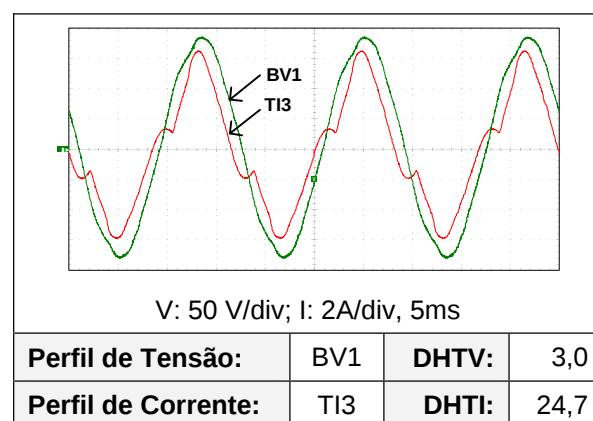


Figura 3.6 – Formas de onda referentes ao perfil BV1-TI3.

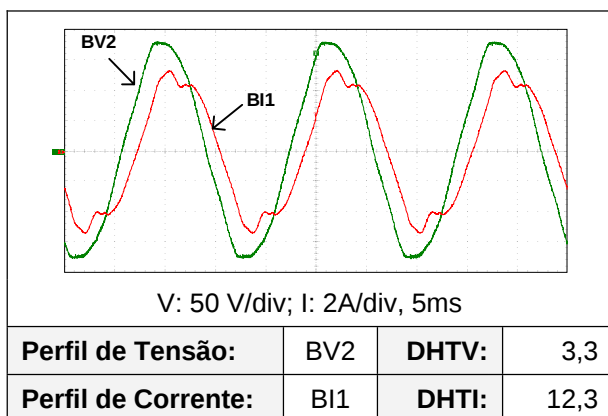


Figura 3.7 – Formas de onda referentes ao perfil BV2-BI1.

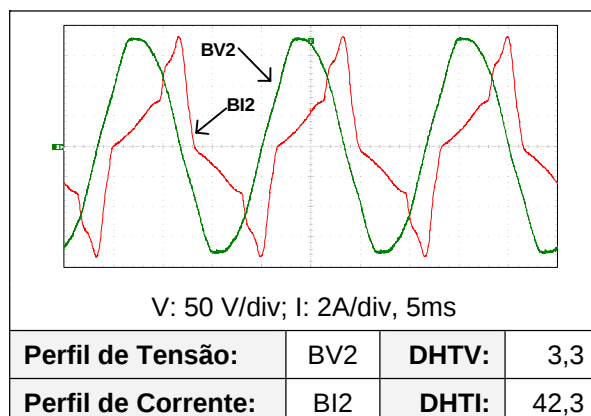


Figura 3.8 – Formas de onda referentes ao perfil BV2-BI2.

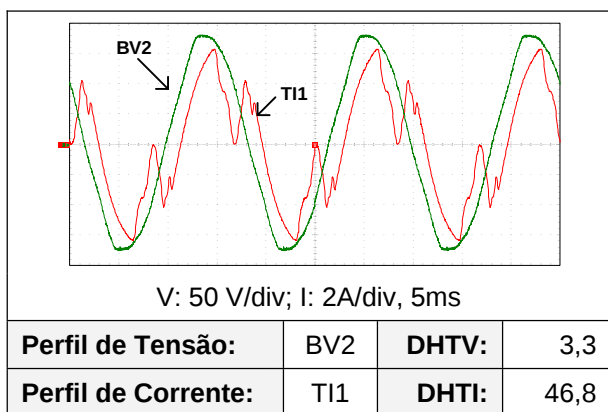


Figura 3.9 – Formas de onda referentes ao perfil BV2-TI1.

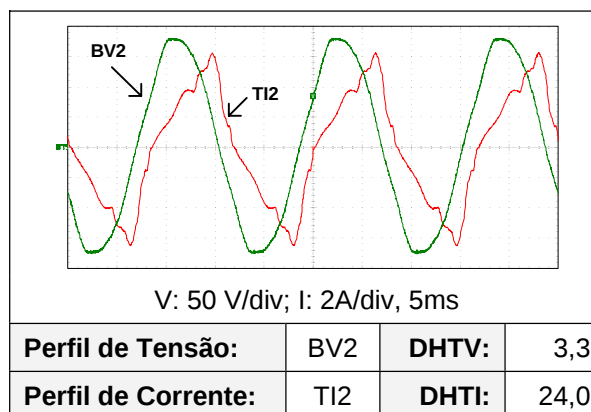


Figura 3.10 – Formas de onda referentes ao perfil BV2-TI2.

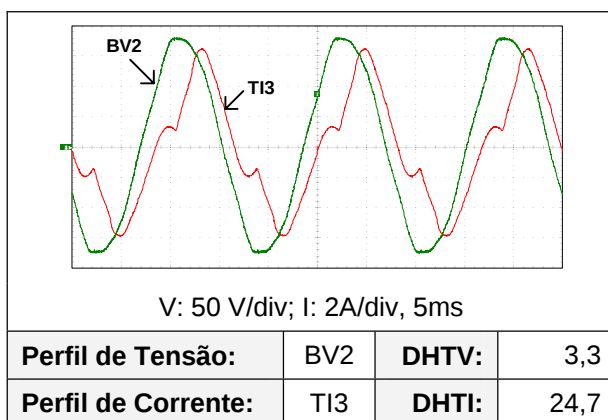


Figura 3.11 – Formas de onda referentes ao perfil BV2-TI3.

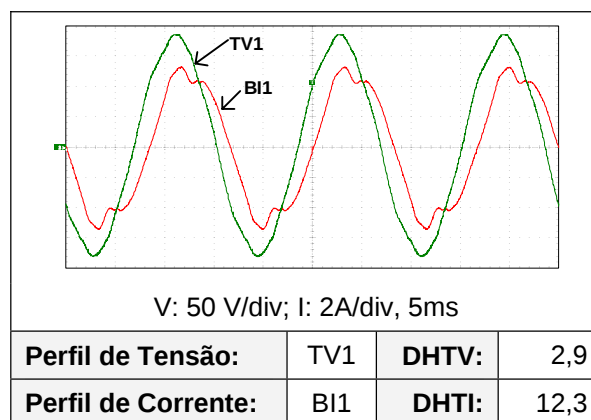


Figura 3.12 – Formas de onda referentes ao perfil TV1-BI1.

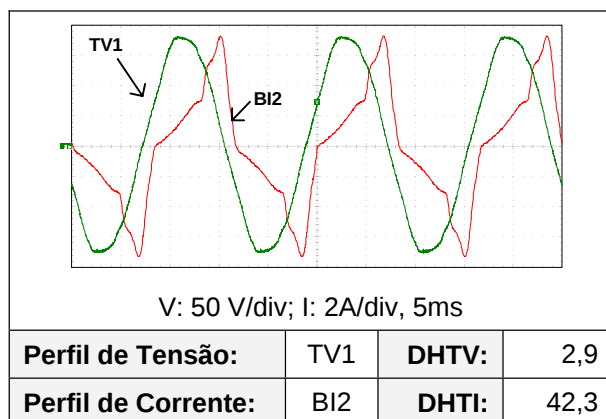


Figura 3.13 – Formas de onda referentes ao perfil TV1-BI2.

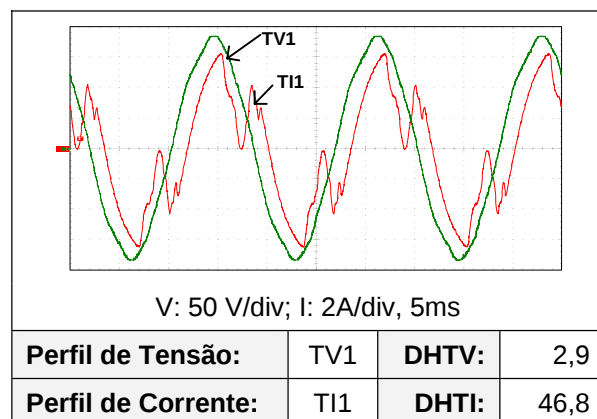


Figura 3.14 – Formas de onda referentes ao perfil TV1-TI1.

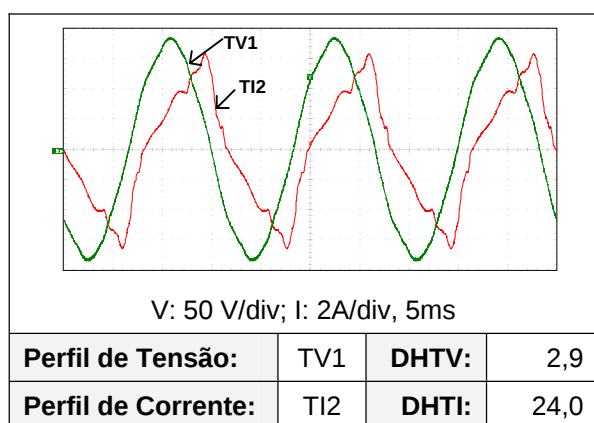


Figura 3.15 – Formas de onda referentes ao perfil TV1-TI2.

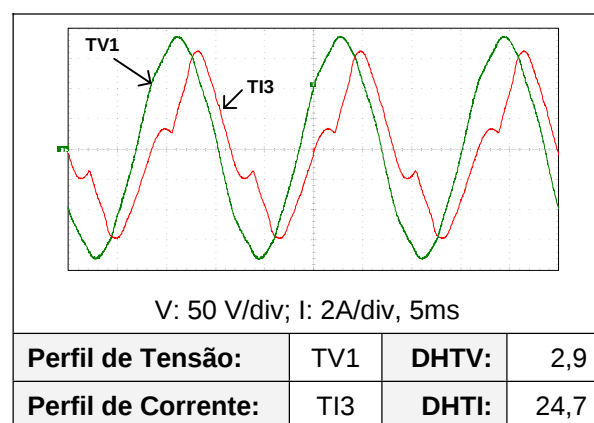


Figura 3.16 – Formas de onda referentes ao perfil TV1-TI3.

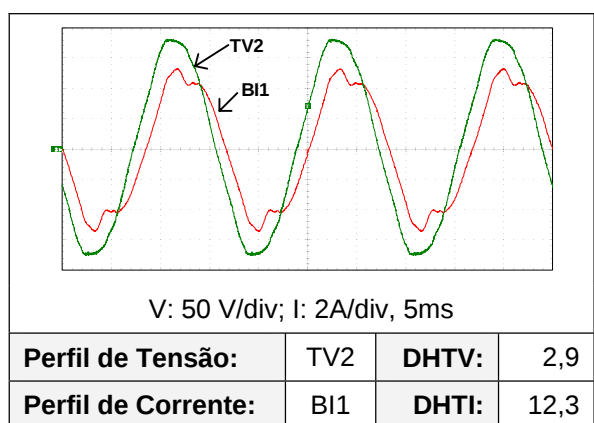


Figura 3.17 – Formas de onda referentes ao perfil TV2-BI1.

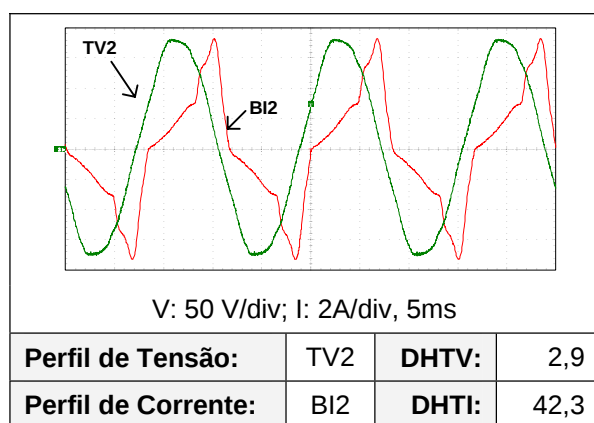


Figura 3.18 – Formas de onda referentes ao perfil TV2-BI2.

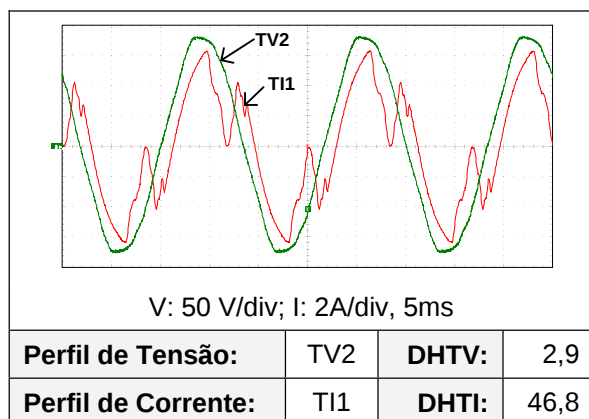


Figura 3.19 – Formas de onda referentes ao perfil TV2-TI1.

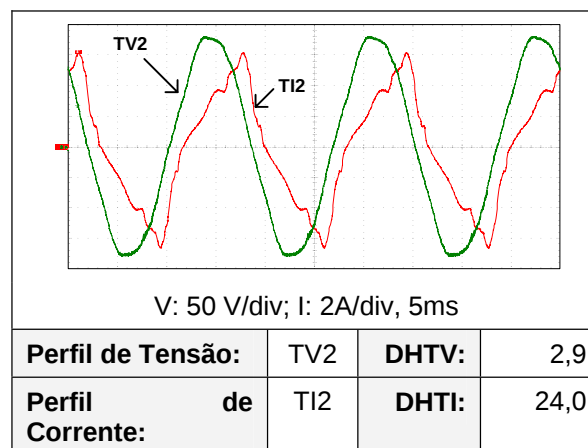


Figura 3.20 – Formas de onda referentes ao perfil TV2-TI2.

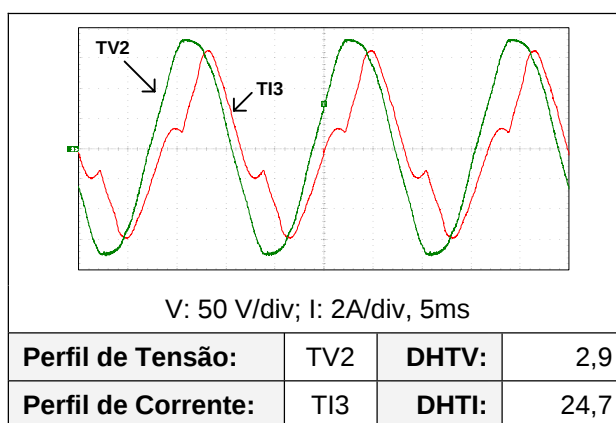


Figura 3.21 – Formas de onda referentes ao perfil TV2-TI3.

As formas de onda seleccionadas para perfis de correntes e de tensões aplicadas aos ensaios dos medidores tipo indução trifásicos, considerando-se uma ampla diversidade de espectros harmônicos, são apresentadas nas figuras 3.22 até 3.47, as quais são resultantes das combinações entre os perfis de tensão e corrente obtidos em circuitos trifásicos reais de distribuição.

Na tabela 3.5 são apresentadas às nomenclaturas das formas de onda de tensões aplicadas nos ensaios trifásicos, com suas respectivas distorções. Na tabela 3.6, encontram-se as nomenclaturas das formas de onda de corrente para os ensaios trifásicos, assim como a distorção harmônica total de cada forma de onda analisada.

Tabela 3.5 – Formas de onda de tensões selecionadas para os medidores trifásicos.

Nomenclatura	Tipo de Consumidor	Distorção Harmônica Total de Tensão
TV1	Comercial	3,0
INDV1	Industrial	4,8
INDV2	Industrial	1,9
RUV2	Rural	2,9
RUV3	Rural	2,5

Tabela 3.6 – Formas de onda de correntes selecionadas para os medidores trifásicos.

Nomenclatura	Tipo de Consumidor	Distorção Harmônica Total de Corrente
TRI1	Comercial	46,8
INDI1	Industrial	18,4
INDI2	Industrial	4,5
RUI2	Rural	7,2
RUI3	Rural	7,6

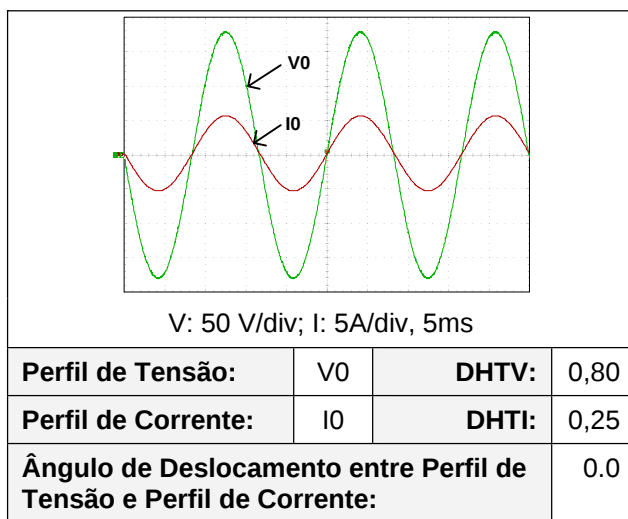


Figura 3.22 - Formas de onda referentes ao perfil V0-I0.

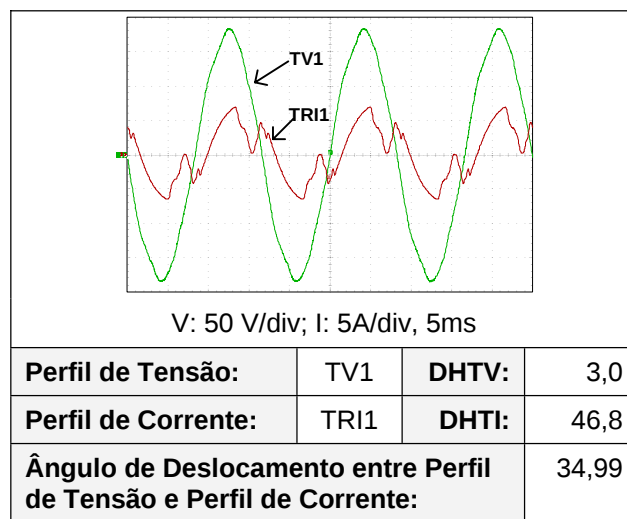


Figura 3.23 - Formas de onda referentes ao perfil TV1-TRI1.

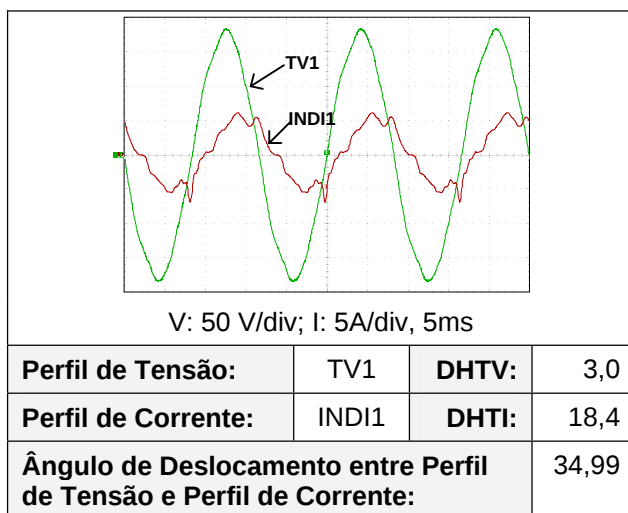


Figura 3.24 - Formas de onda referentes ao perfil TV1-INDI1.

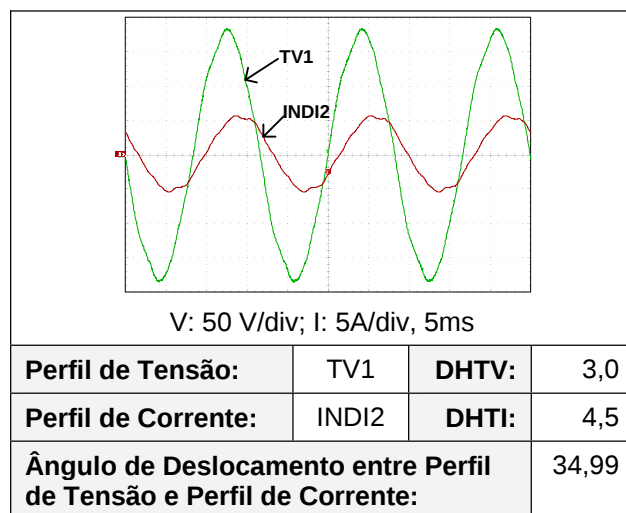


Figura 3.25 - Formas de onda referentes ao perfil TV1-INDI2.

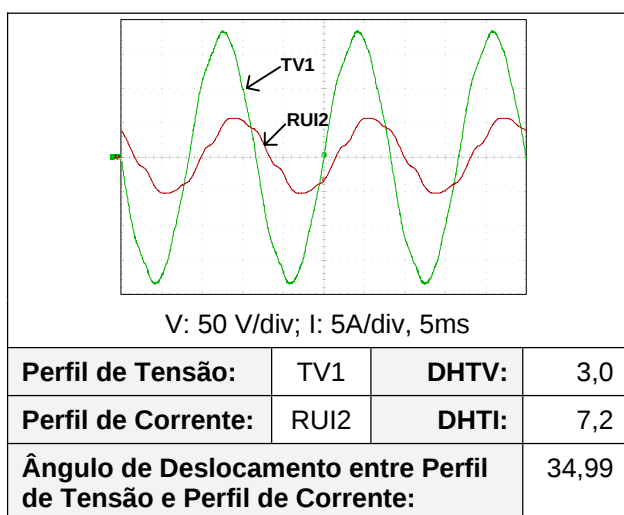


Figura 3.26 - Formas de onda referentes ao perfil TV1-RUI2.

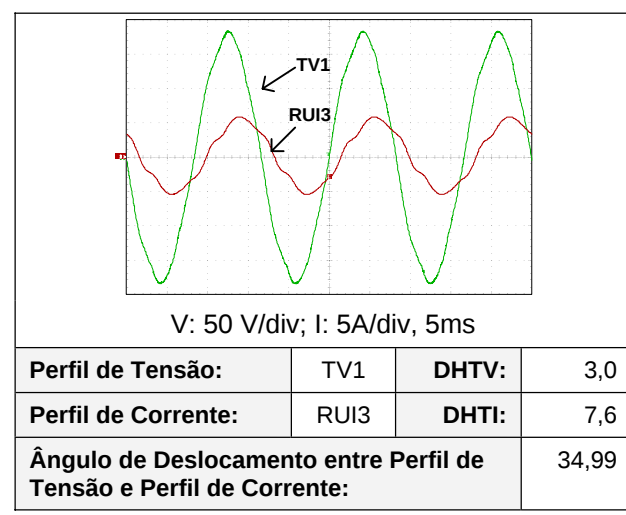


Figura 3.27 - Formas de onda referentes ao perfil TV1-RUI3

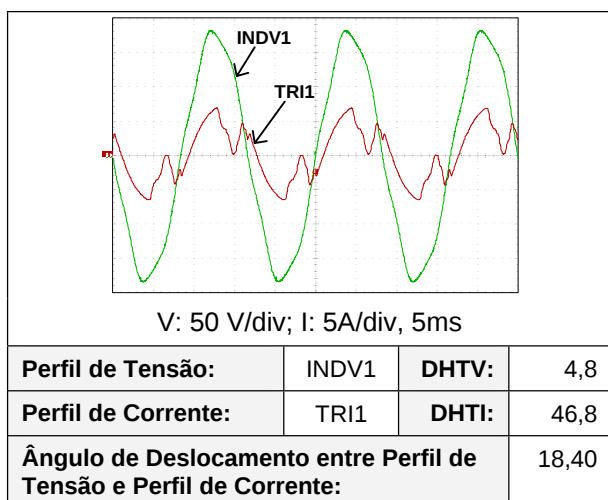


Figura 3.28 - Formas de onda referentes ao perfil INDV1-TRI1.

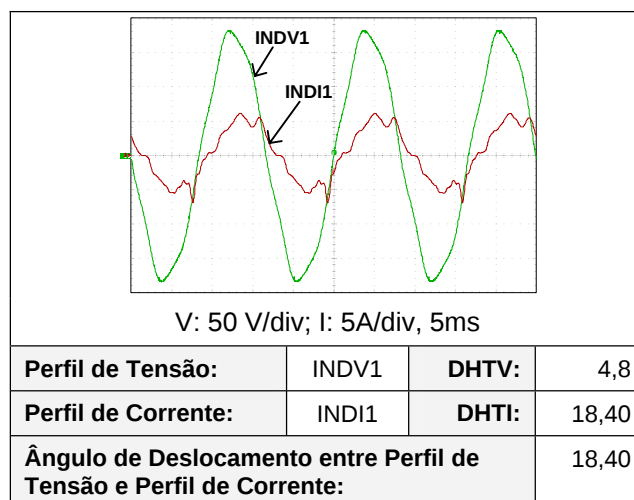


Figura 3.29 - Formas de onda referentes ao perfil INDV1-INDI1.

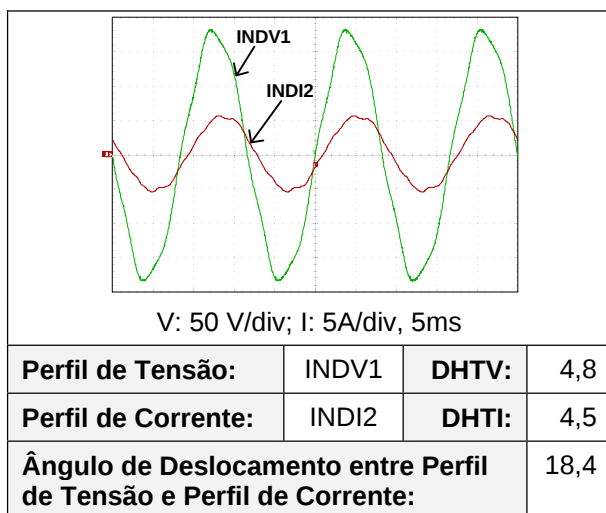


Figura 3.30 - Formas de onda referentes ao perfil INDV1-INDI2.

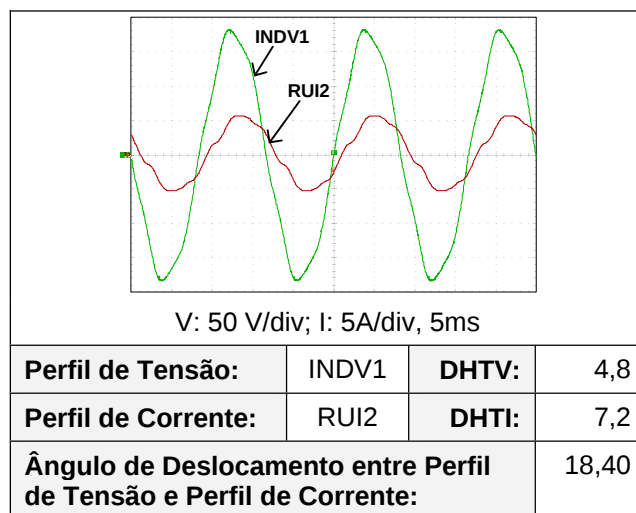


Figura 3.31 - Formas de onda referentes ao perfil INDV1-RUI2.

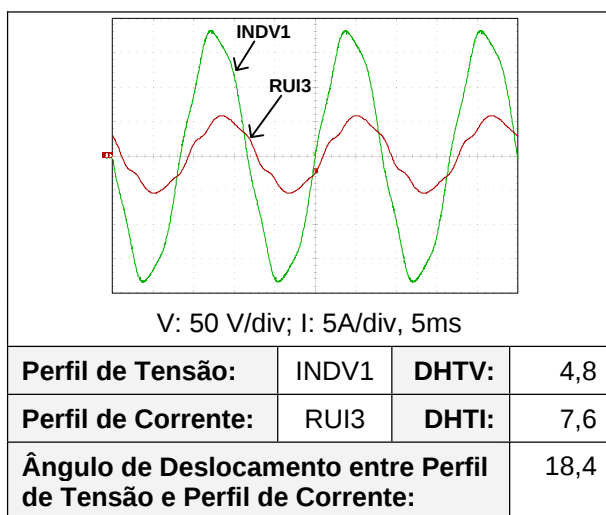


Figura 3.32 - Formas de onda referentes ao perfil INDV1-RUI3.

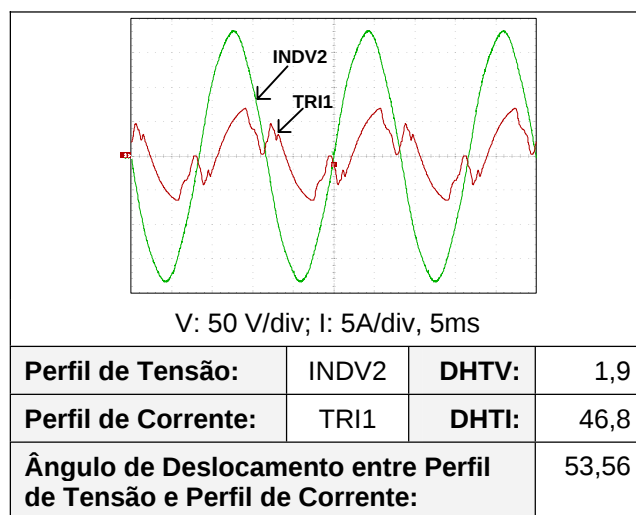


Figura 3.33 - Formas de onda referentes ao perfil INDV2-TRI1

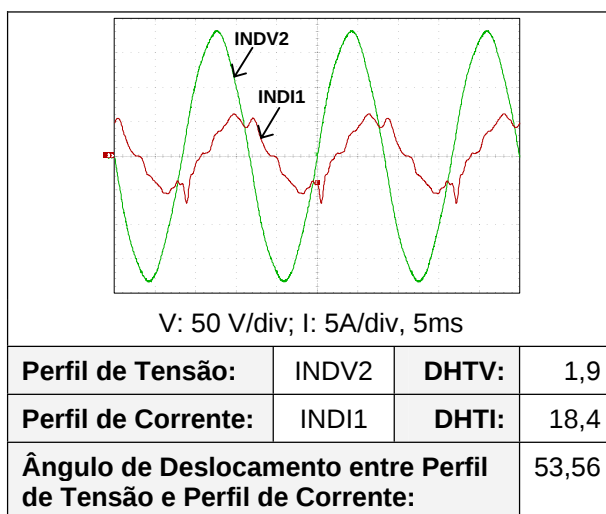


Figura 3.34 - Formas de onda referentes ao perfil INDV2-INDI1.

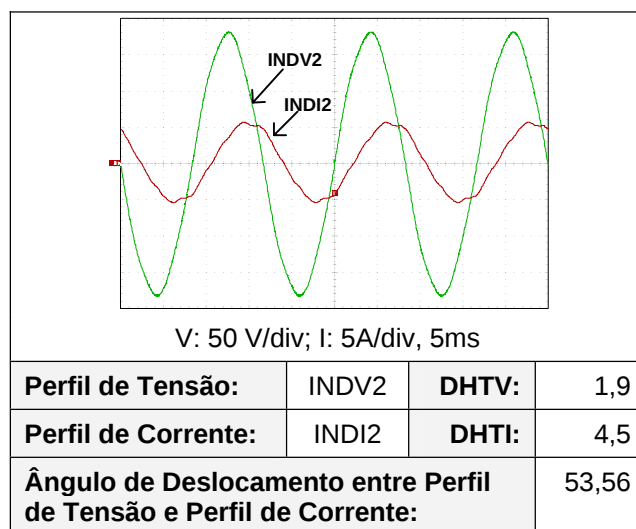


Figura 3.35 - Formas de onda referentes ao perfil INDV2-INDI2.

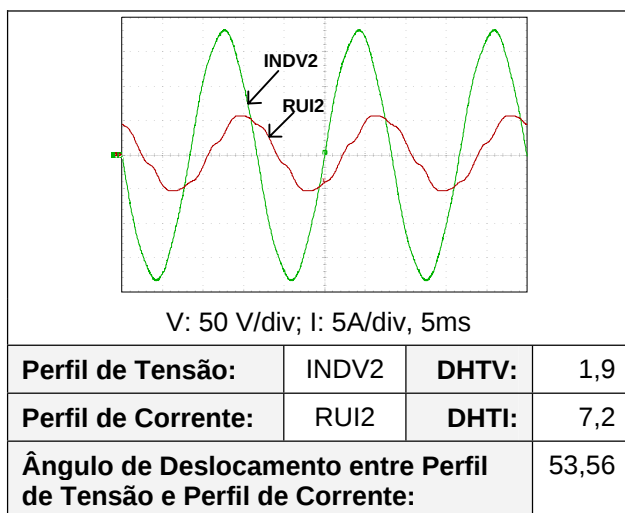


Figura 3.36 - Formas de onda referentes ao perfil INDV2-RUI2.

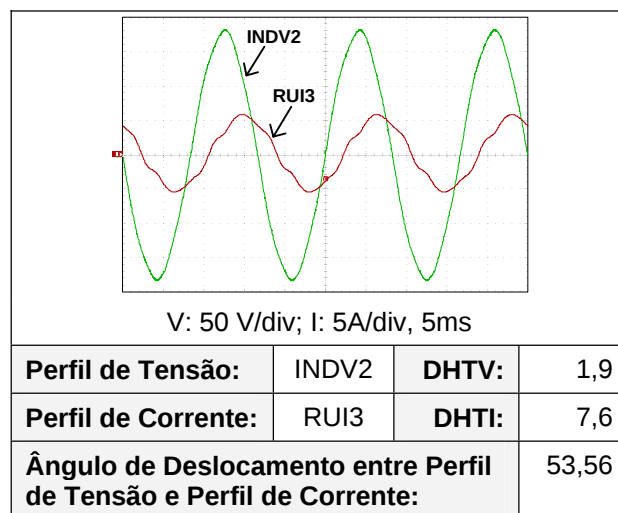


Figura 3.37 - Formas de onda referentes ao perfil INDV2-RUI3.

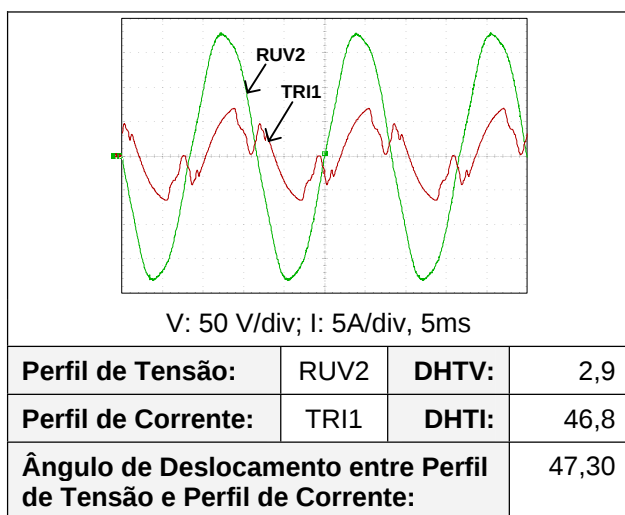


Figura 3.38 - Formas de onda referentes ao perfil RUV2-TRI1.

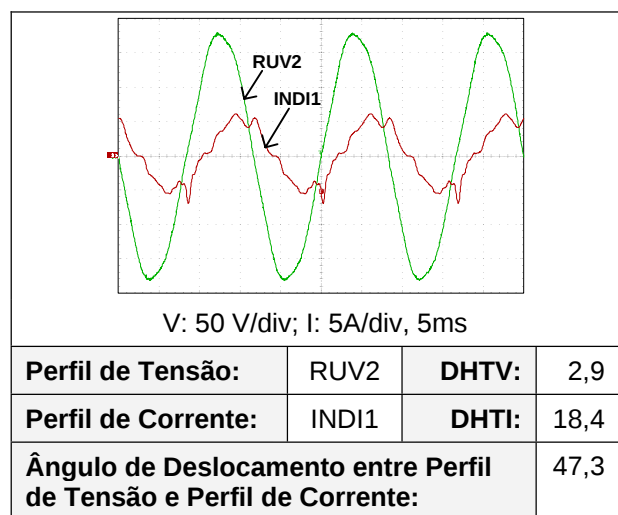


Figura 3.39 - Formas de onda referentes ao perfil RUV2-INDI1

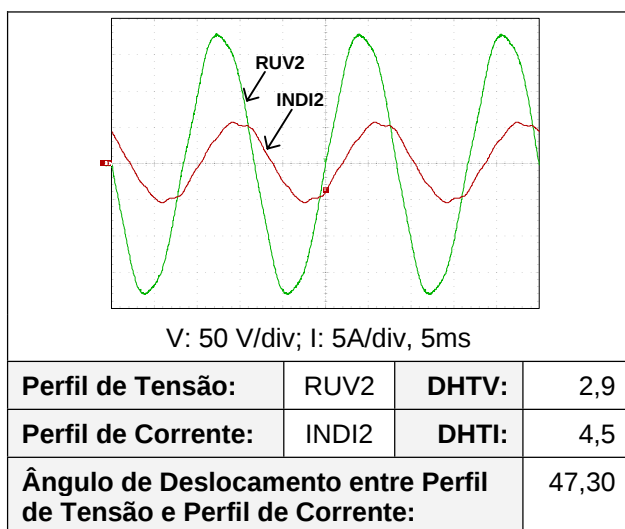


Figura 3.40 - Formas de onda referentes ao perfil RUV2-INDI2.

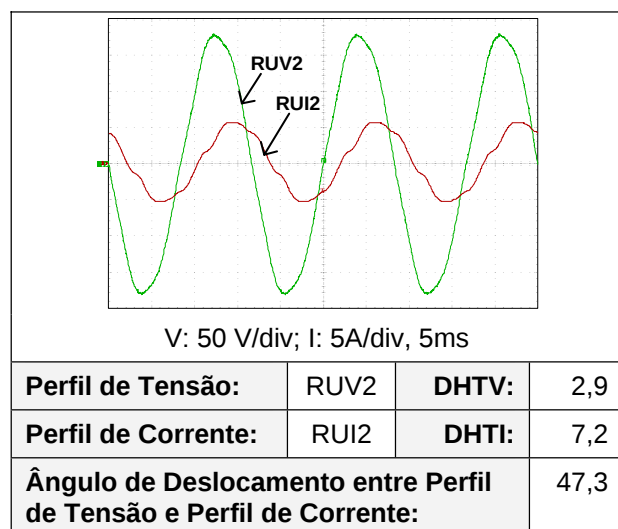


Figura 3.41 - Formas de onda referentes ao perfil RUV2-RUI2.

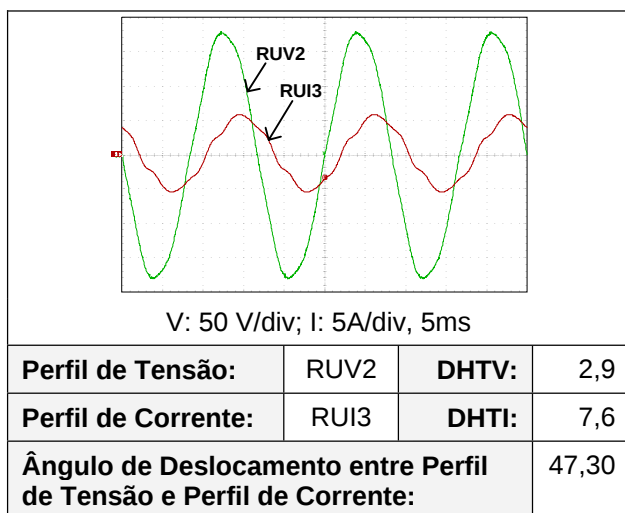


Figura 3.42 - Formas de onda referentes ao perfil RUV2-RUI3.

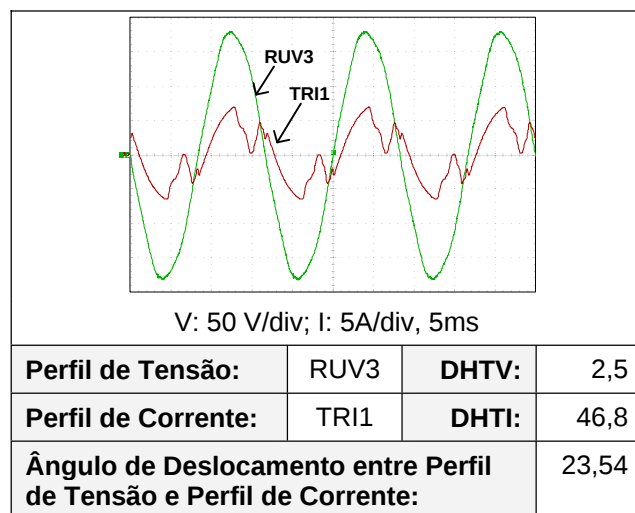


Figura 3.43 - Formas de onda referentes ao perfil RUV3-TRI1.

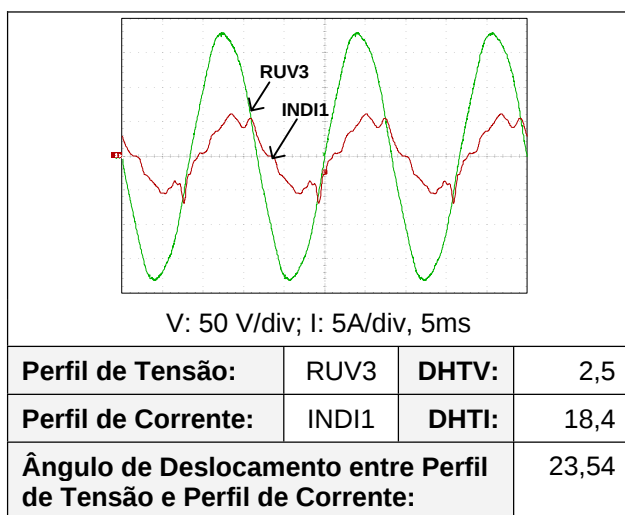


Figura 3.44 - Formas de onda referentes ao perfil RUV3-INDI1.

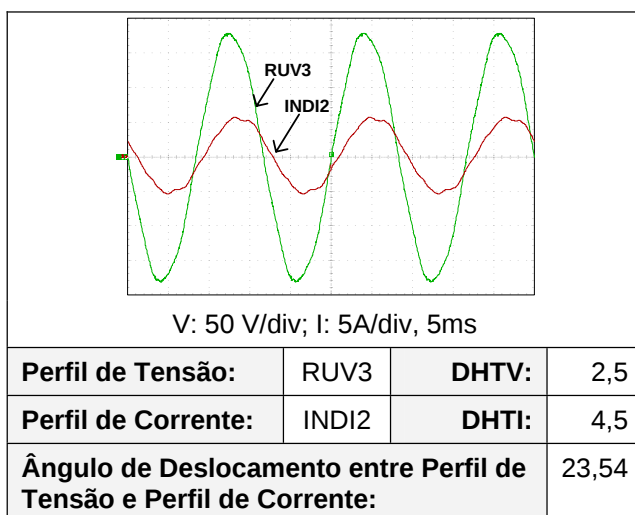


Figura 3.45 - Formas de onda referentes ao perfil RUV3-INDI2.

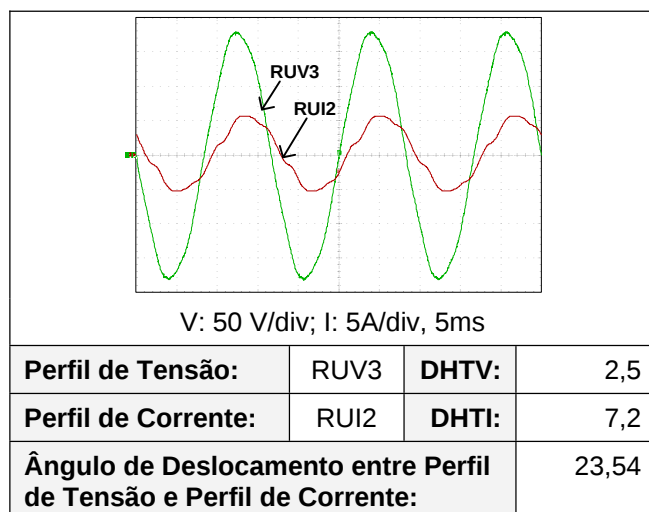


Figura 3.46 - Formas de onda referentes ao perfil RUV3-RUI2.

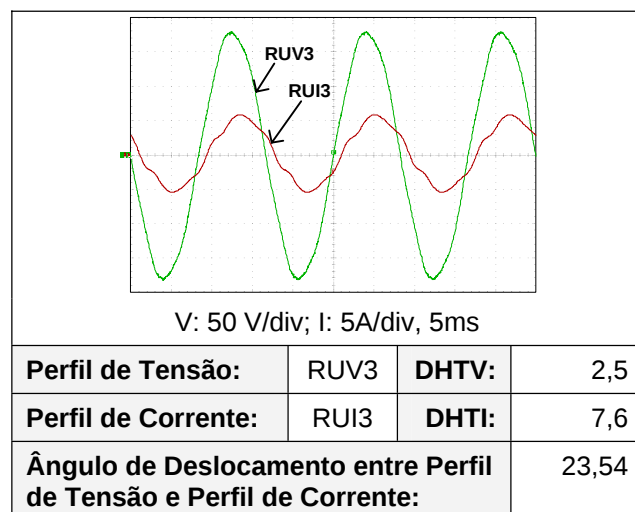


Figura 3.47 - Formas de onda referentes ao perfil RUV3-RUI3.

3.3.2 – Sistemas desequilibrados

Considerando-se os erros resultantes dos ensaios sem desequilíbrios, optou-se por resumir o número de perfis de tensões e correntes a serem analisados nessa etapa. Considerando-se os perfis que apresentaram maiores erros nos ensaios sem desequilíbrios, foram estabelecidos 11 (onze) diferentes cenários para os ensaios dos medidores bifásicos no sistema desequilibrado, incluindo-se o caso puramente senoidal e desequilibrado (3% / 11 cenários e 5% / 11 cenários), conforme tabela 3.7 a seguir.

Tabela 3.7 – Combinações de perfis de tensões e correntes selecionadas para análise do sistema bifásico desequilibrado (3% e 5%)

PERFIS	BI2	TI1	TI2	TI3	I0
BV1		BV1-TI1			
BV2	BV2-BI2	BV2-TI1		BV2-TI3	
TV1	TV1-BI2		TV1-TI2	TV1-TI3	
TV2	TV2-BI2		TV2-TI2	TV2-TI3	
V0					V0-I0

As formas de onda para correntes e tensões aplicadas aos ensaios dos medidores tipo indução bifásicos, considerando-se desequilíbrios de 3% e 5%, são apresentadas nas figuras de 3.48 até 3.69.

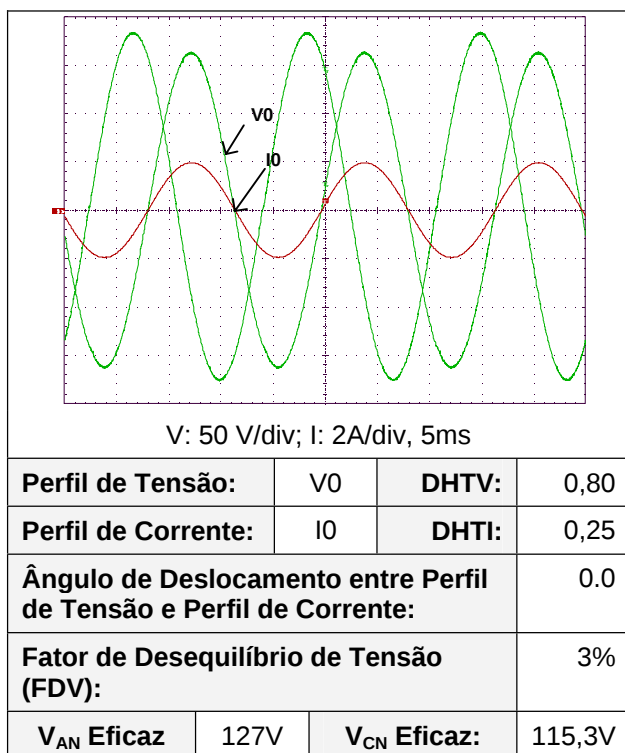


Figura 3.48 - Formas de onda referentes ao Perfil V0-I0 apresentando FDV de 3%

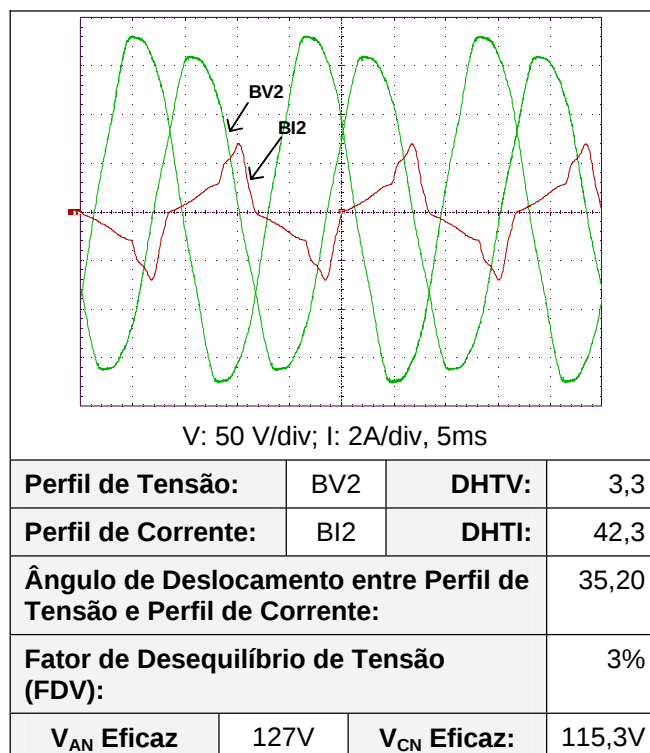


Figura 3.49 - Formas de onda referentes ao Perfil BV2-BI2 apresentando FDV de 3%.

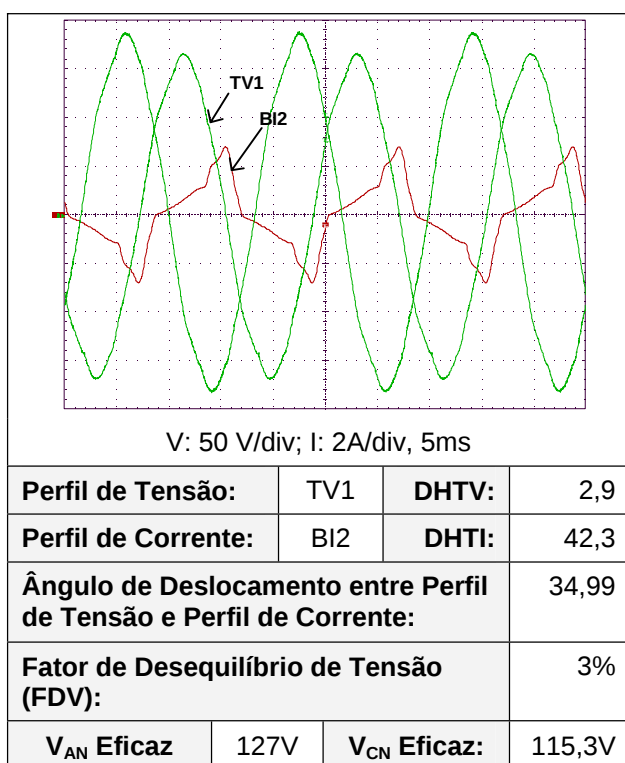


Figura 3.50 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-BI2 apresentando FDV de 3%.

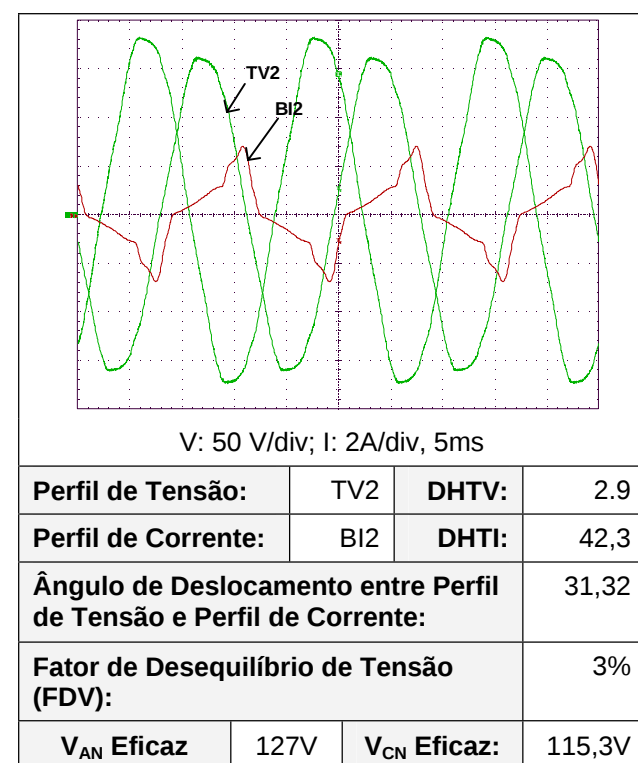


Figura 3.51 - Formas de onda referentes ao Perfil TV2-BI2 apresentando FDV de 3%.

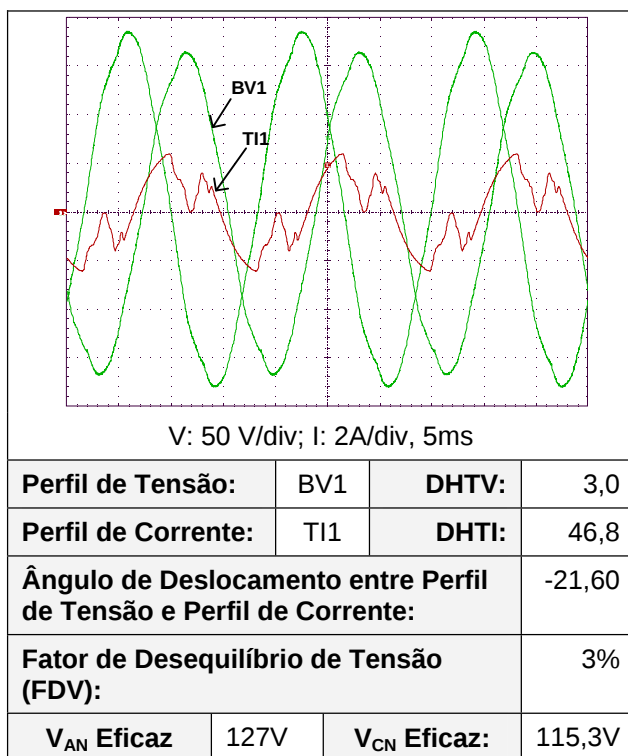


Figura 3.52 - Formas de onda referentes ao Perfil BV1-TI1 apresentando FDV de 3%.

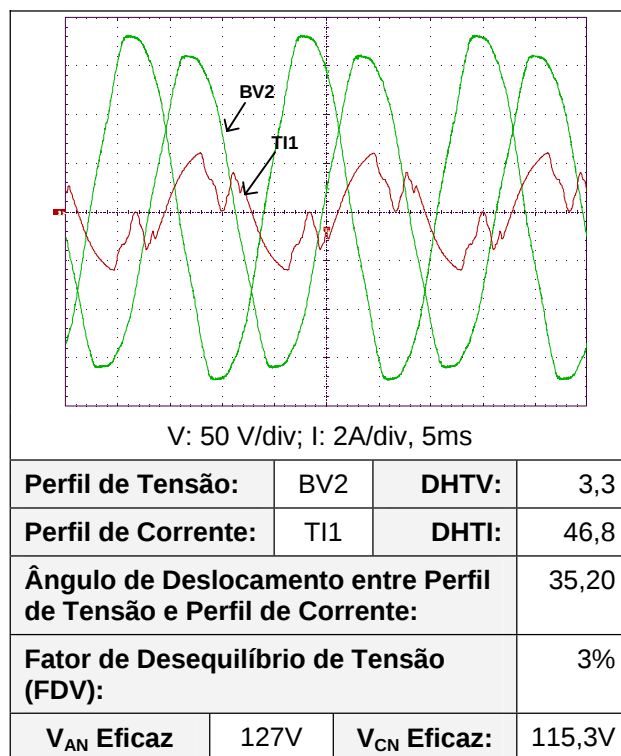


Figura 3.53 - Formas de onda referentes ao Perfil BV2-TI1 apresentando FDV de 3%.

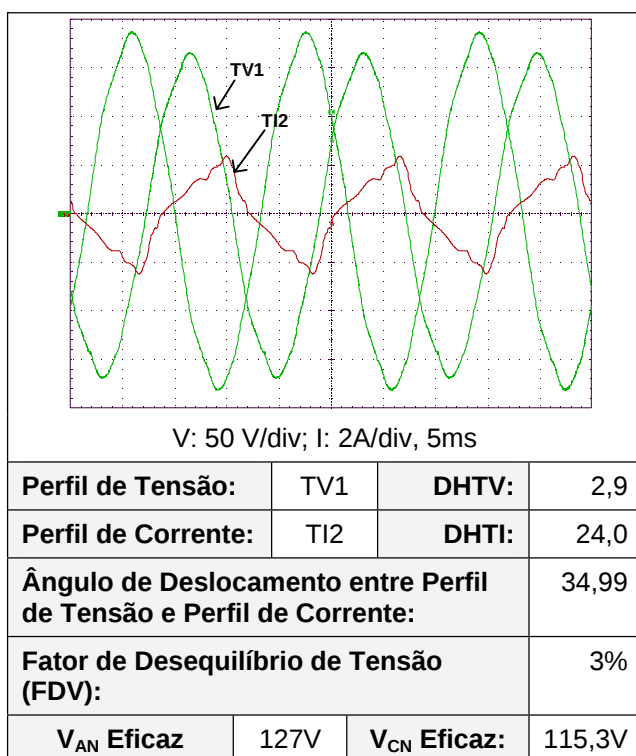


Figura 3.54 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-TI2 apresentando FDV de 3%.

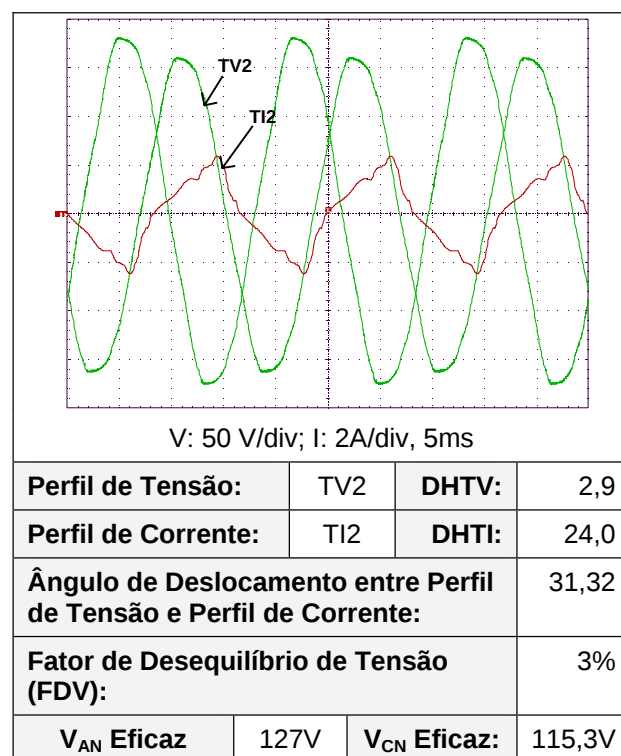


Figura 3.55 - Formas de onda referentes ao Perfil TV2-TI2 apresentando FDV de 3%.

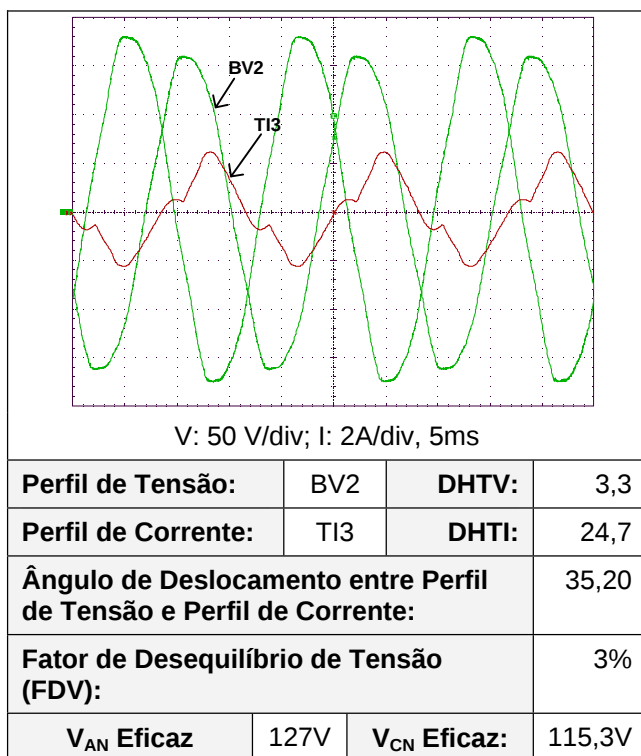


Figura 3.56 - Formas de onda referentes ao Perfil BV2-TI3 apresentando FDV de 3%.

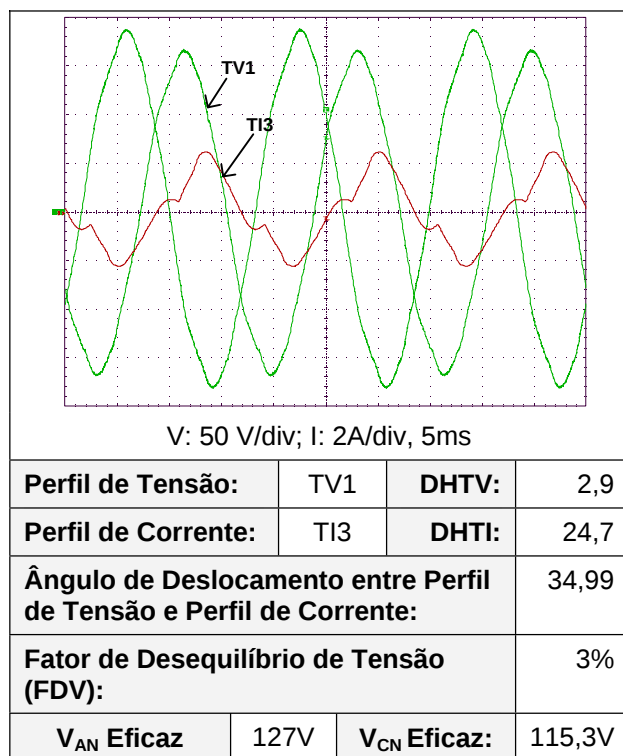


Figura 3.57 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-TI3 apresentando FDV de 3%.

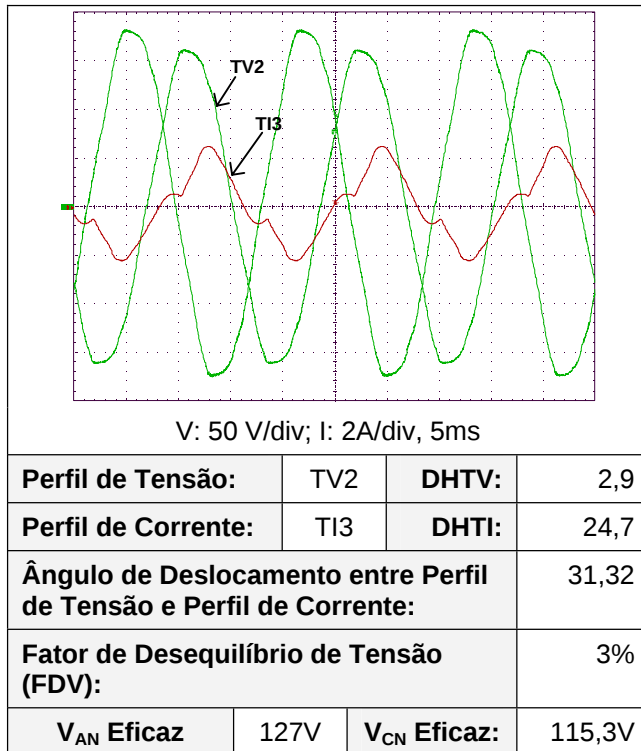


Figura 3.58 - Formas de onda referentes ao Perfil TV2-TI3 apresentando FDV de 3%.

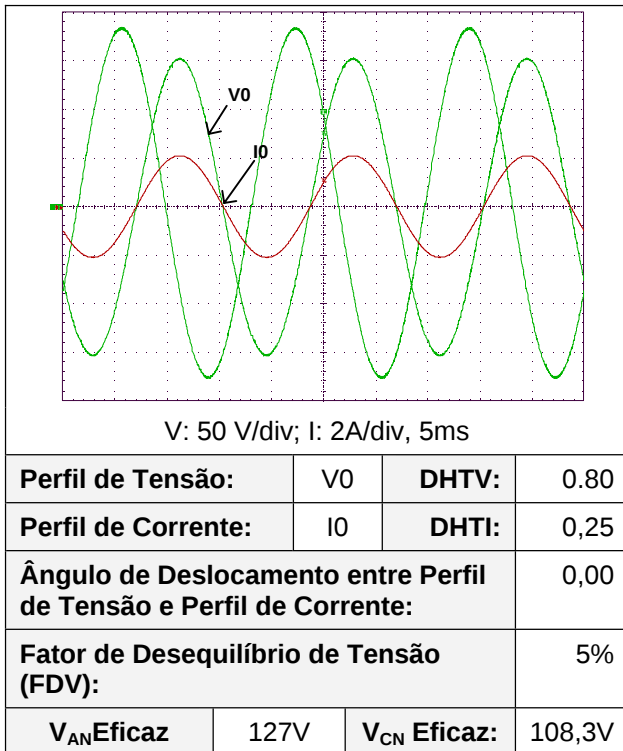


Figura 3.59 - Formas de onda referentes ao Perfil V0-I0 apresentando FDV de 5%.

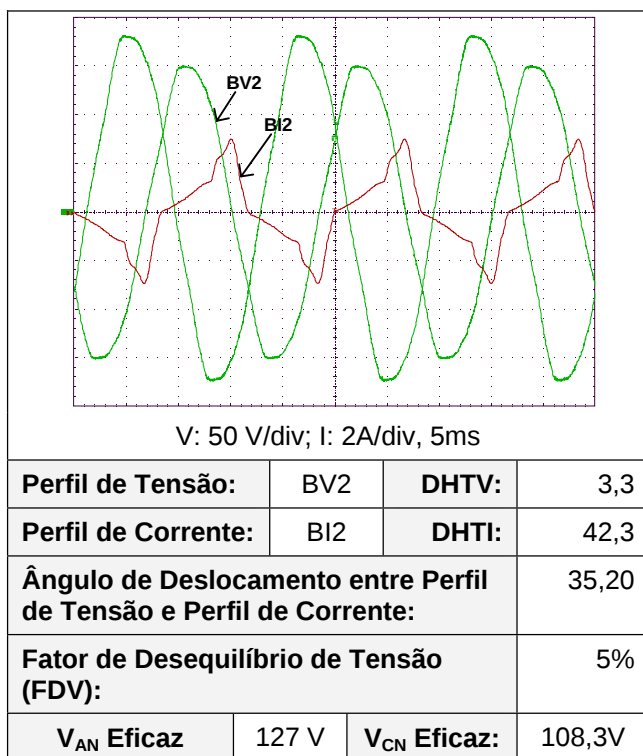


Figura 3.60- Formas de onda referentes ao Perfil BV2-BI2 apresentando FDV de 5%

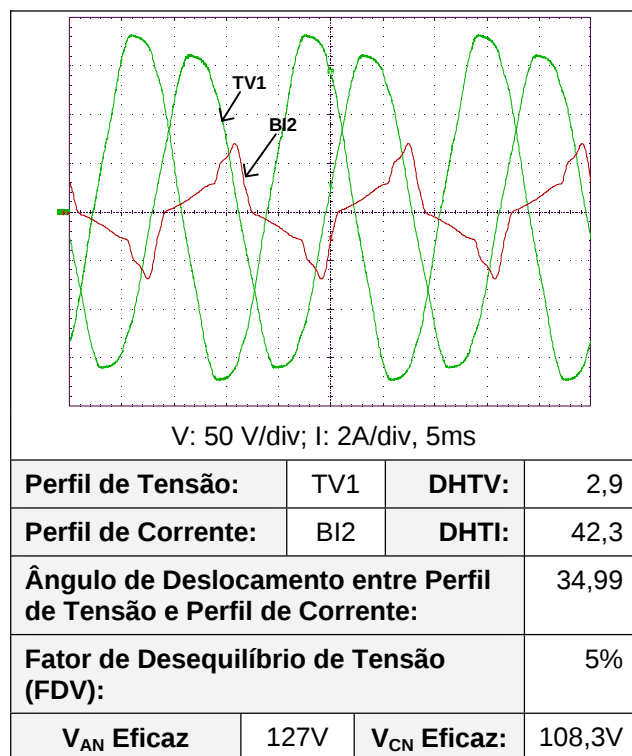


Figura 3.61- Formas de onda referentes ao Perfil TV1-BI2 apresentando FDV de 5%.

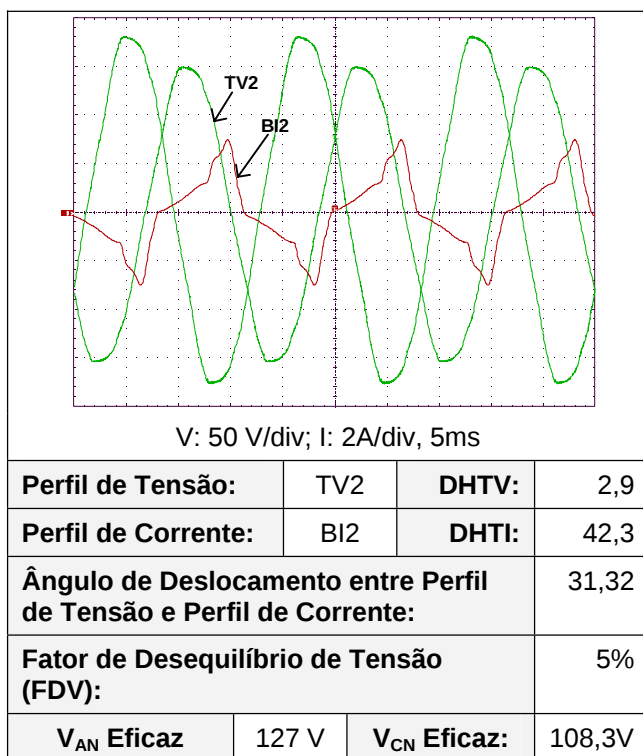


Figura 3.62- Formas de onda referentes ao Perfil TV2-BI2 apresentando FDV de 5%.

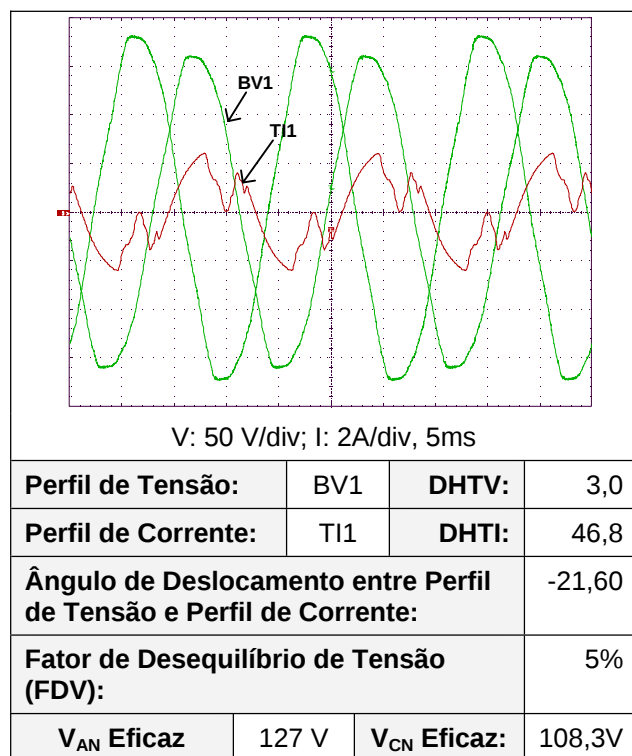


Figura 3.63- Formas de onda referentes ao Perfil BV1-TI1 apresentando FDV de 5%.

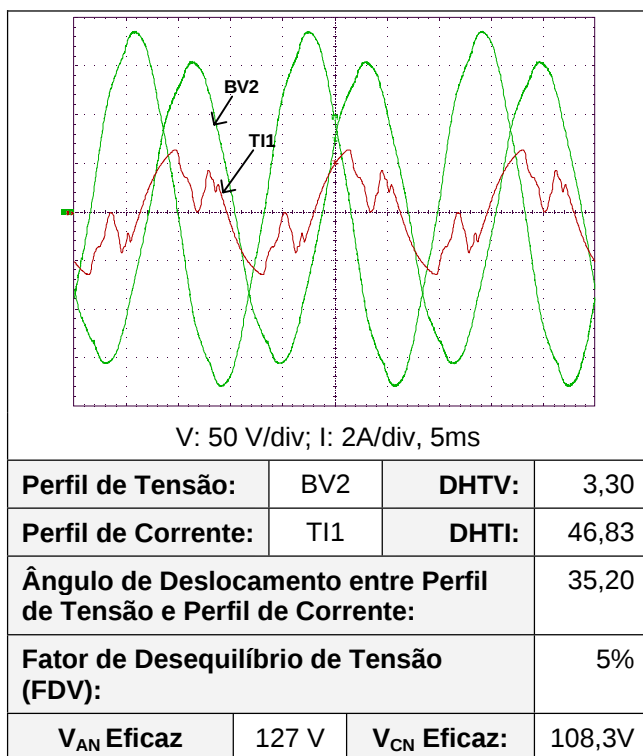


Figura 3.64- Formas de onda referentes ao Perfil BV2-TI1 apresentando FDV de 5%.

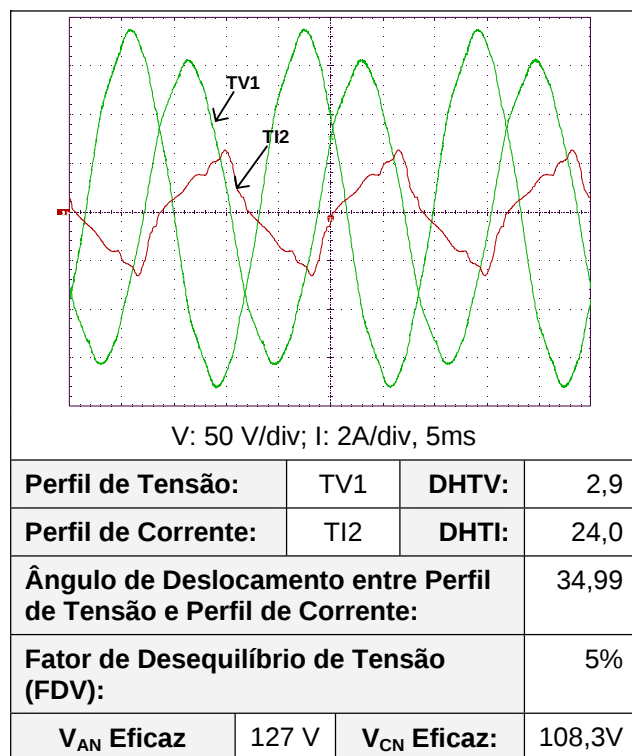


Figura 3.65- Formas de onda referentes ao Perfil TV1-TI2 apresentando FDV de 5%.

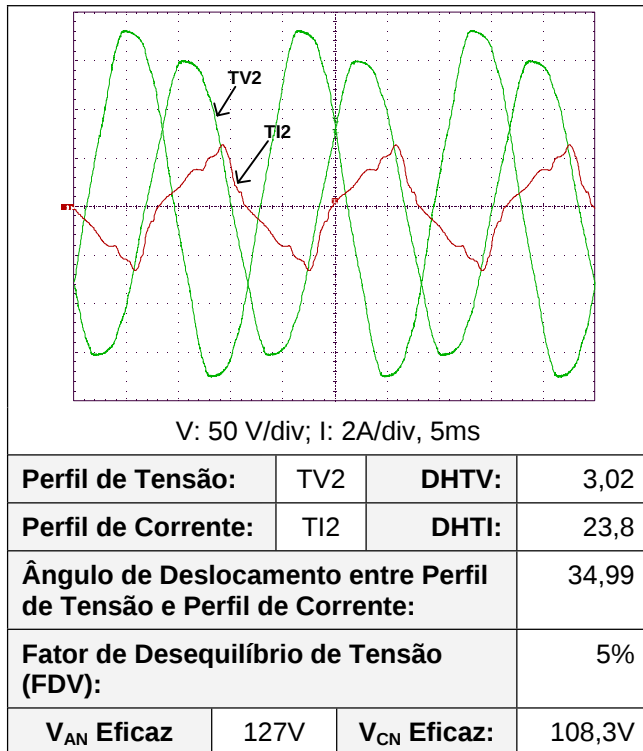


Figura 3.66 - Formas de onda referentes ao Perfil TV2-TI2 apresentando FDV de 5%.

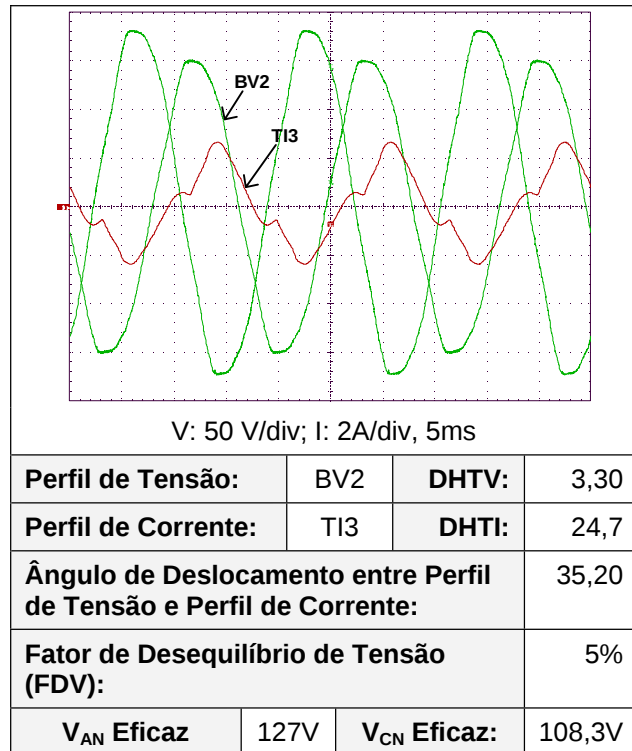


Figura 3.67- Formas de onda referentes ao Perfil BV2-TI3 apresentando FDV de 5%.

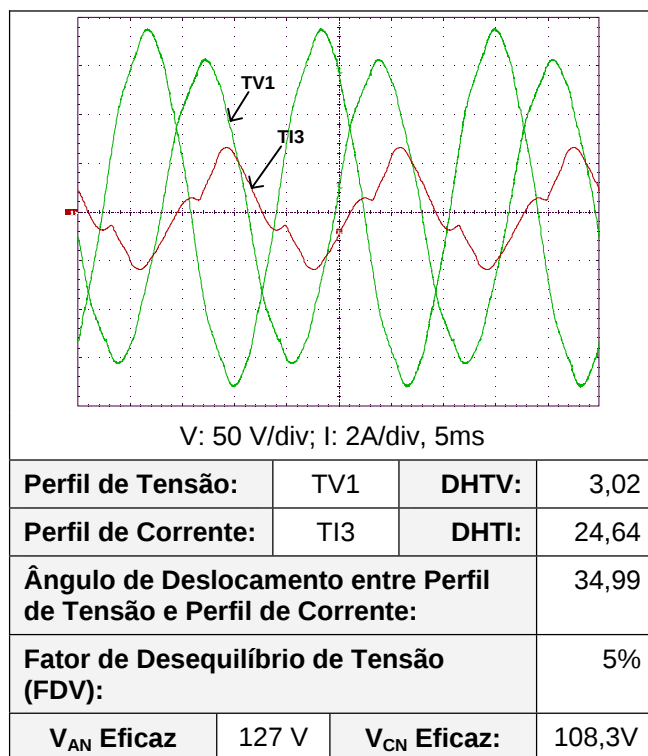


Figura 3.68- Formas de onda referentes ao Perfil TV1-TI3 apresentando FDV de 5%.

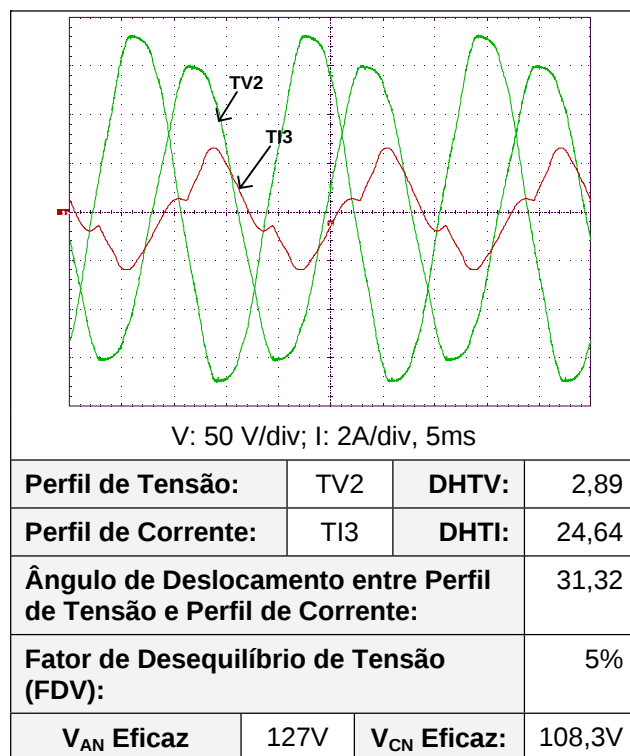


Figura 3.69 - Formas de onda referentes ao Perfil TV2-TI3 apresentando FDV de 5%.

A escolha dos perfis de tensões e correntes para ensaio dos medidores trifásicos em sistemas desequilibrados, seguiu a mesma metodologia adotada na escolha dos perfis de tensões e correntes para análise dos medidores bifásicos no sistema desequilibrado. Optou-se por resumir o número de perfis de tensões e correntes a serem analisados.

Considerando-se os perfis que apresentaram maiores erros nos ensaios sem desequilíbrios, foram estabelecidos 11 (onze) diferentes cenários para os ensaios dos medidores trifásicos em sistema desequilibrado, incluindo-se o caso puramente senoidal e desequilibrado (3% / 11 cenários e 5% / 11 cenários), conforme tabela 3.8 a seguir.

Tabela 3.8 – Combinações de perfis de tensões e correntes seleccionadas para análise do sistema trifásico desequilibrado (3% e 5%)

PERFIS	TRI1	INDI1	INDI2	RUI2	RUI3	I0
TV1	TV1-TRI1	TV1-INDI1	TV1-INDI2	TV1-RUI2	TV1-RUI3	
INDV1	INDV1-TRI1	INDV1-INDI1				
INDV2	INDV2-TRI1				INDV2-RUI3	
RUV3		RUV3-INDI1				
V0						V0-I0

As formas de onda para correntes e tensões aplicadas aos ensaios dos medidores tipo indução trifásicos, considerando-se desequilíbrios de 3% e 5%, são apresentadas nas figuras de 3.70 até 3.91.

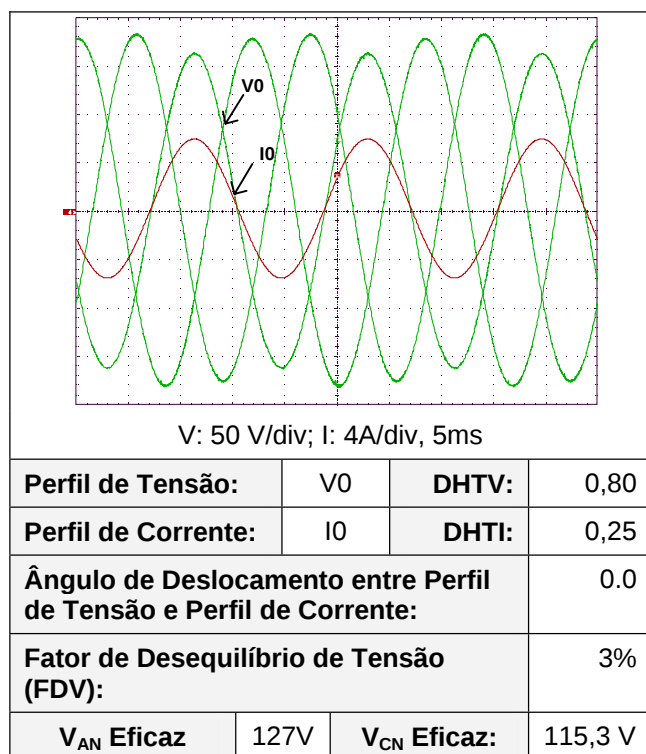


Figura 3.70- Formas de onda referentes ao Perfil V0-I0 apresentando FDV de 3%.

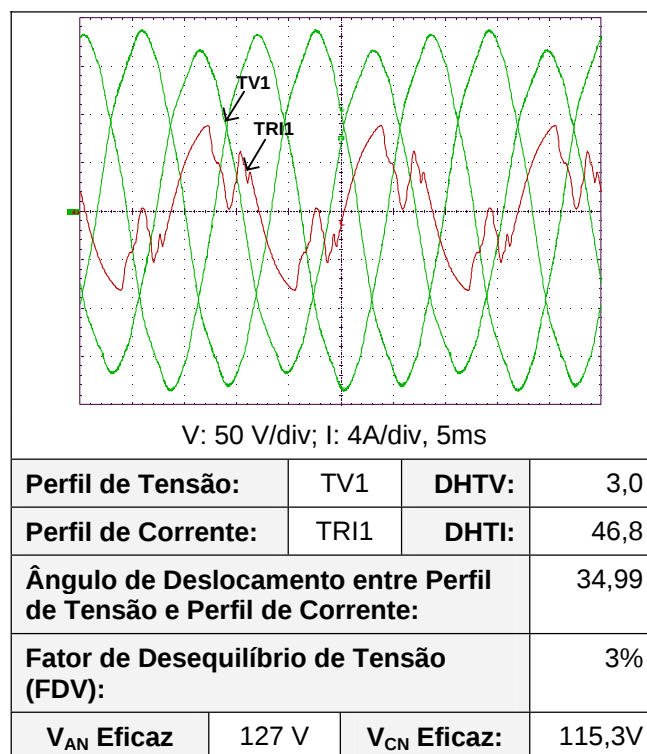


Figura 3.71 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-TRI1 apresentando FDV de 3%.

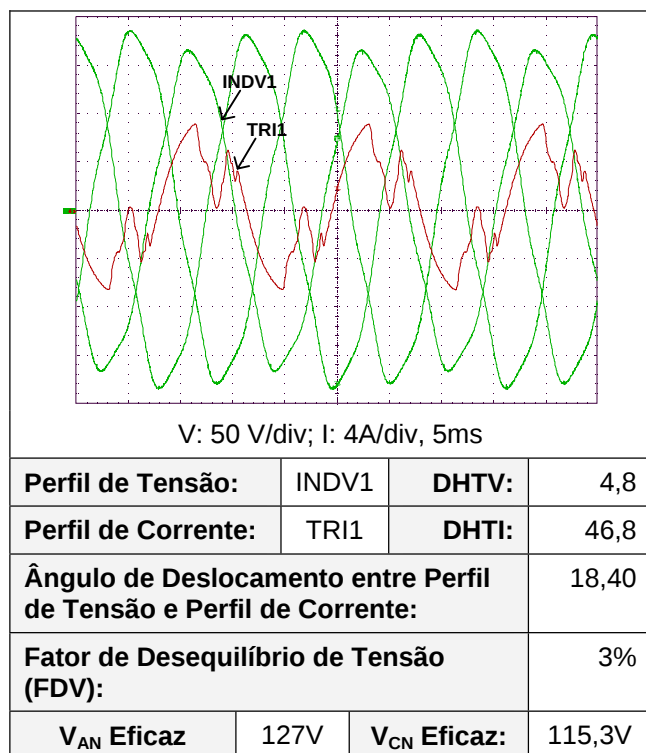


Figura 3.72 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-TRI1 apresentando FDV de 3%.

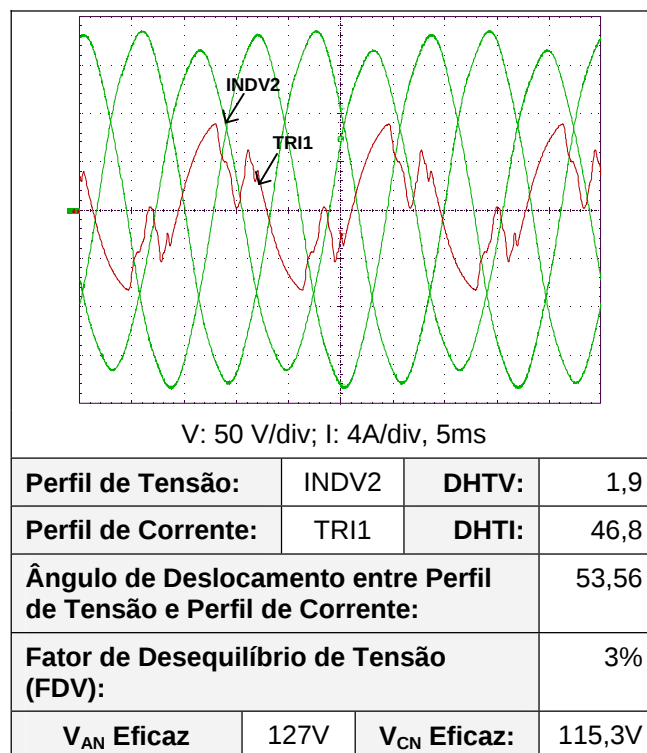


Figura 3.73 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV2-TRI1 apresentando FDV de 3%.

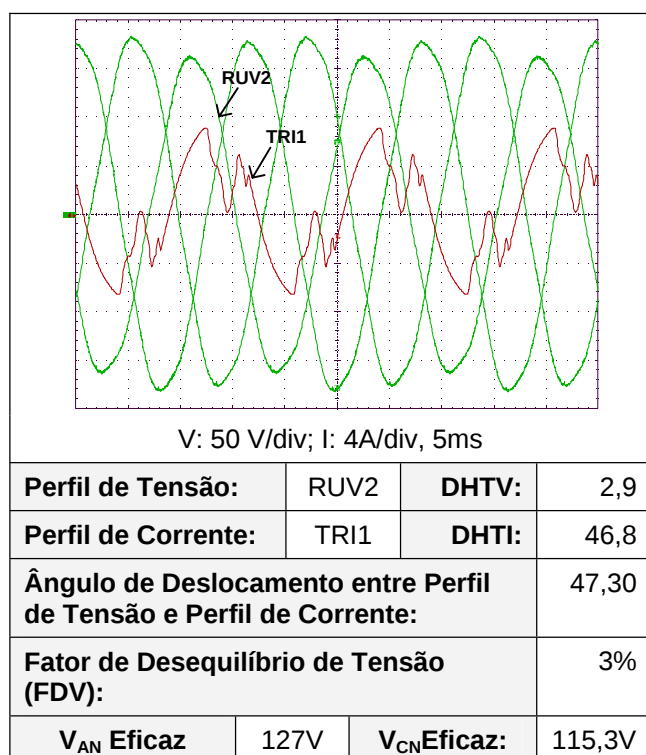


Figura 3.74 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV2-TRI1 apresentando FDV de 3%.

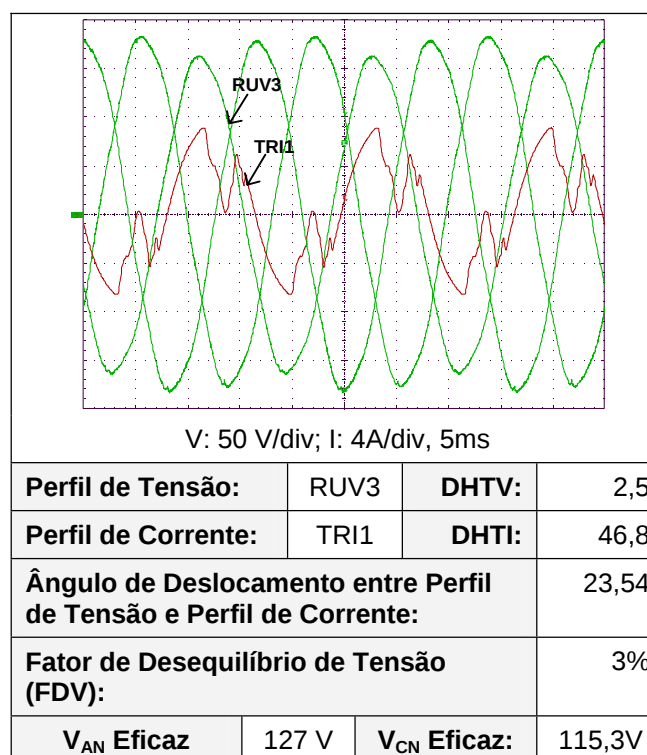


Figura 3.75 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV3-TRI1 apresentando FDV de 3%.

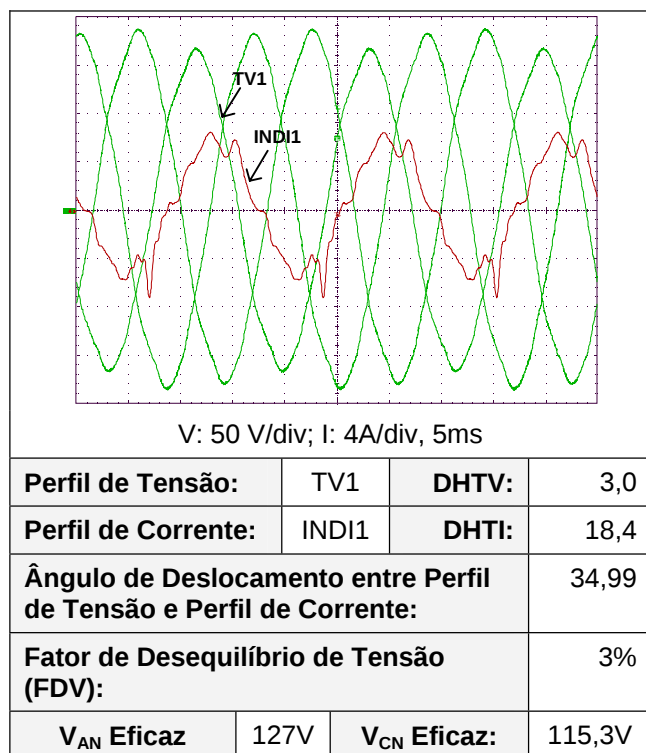


Figura 3.76 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-INDI1 apresentando FDV de 3%.

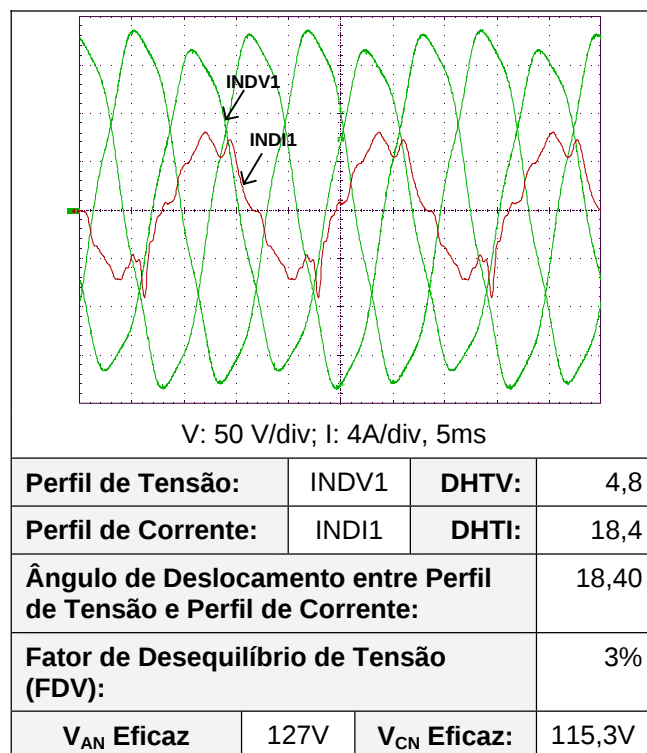


Figura 3.77 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-INDI1 apresentando FDV de 3%.

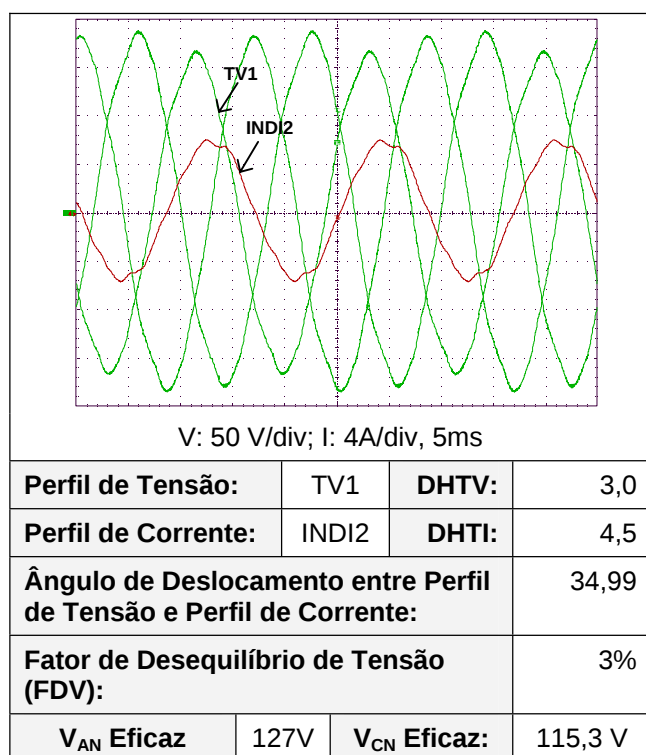


Figura 3.78 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-INDI2 apresentando FDV de 3%.

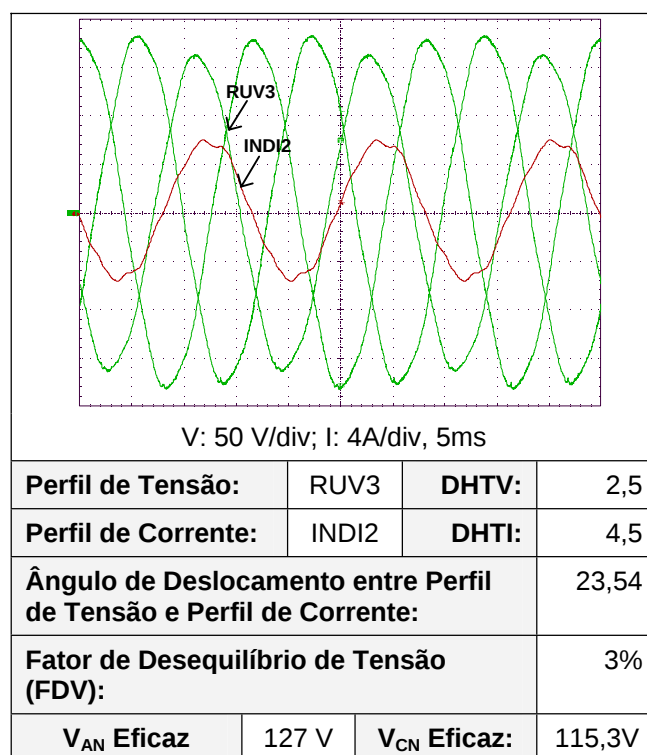


Figura 3.79 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV3-INDI2 apresentando FDV de 3%.

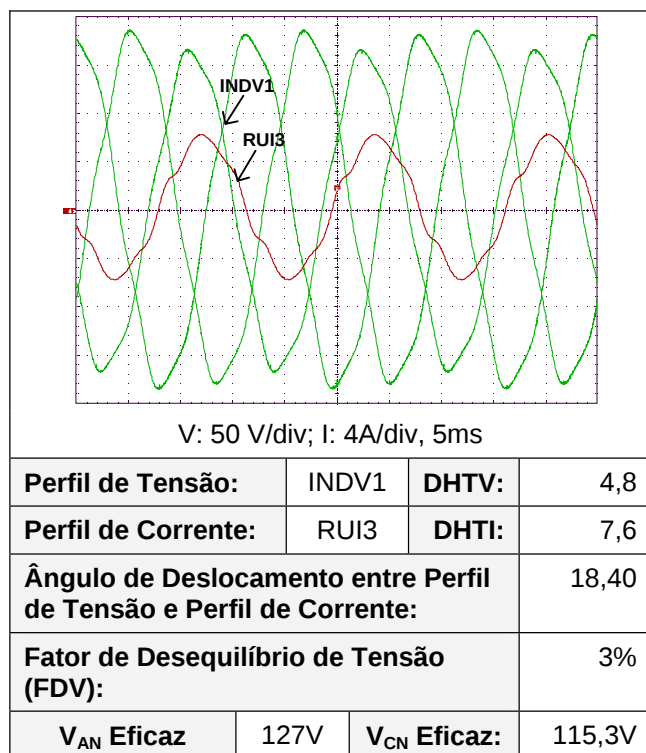


Figura 3.80 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-RUI3 apresentando FDV de 3%.

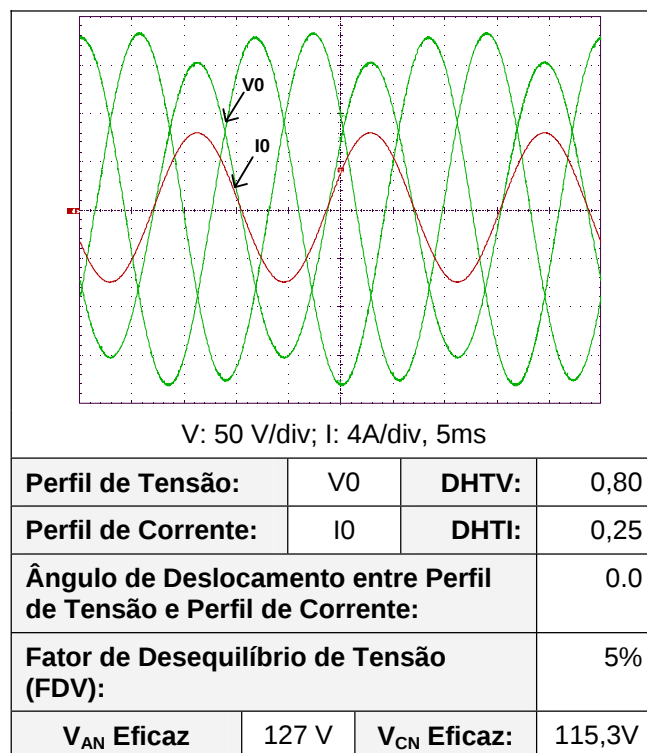


Figura 3.81 - Formas de onda referentes ao Perfil V0-I0 apresentando FDV de 5%.

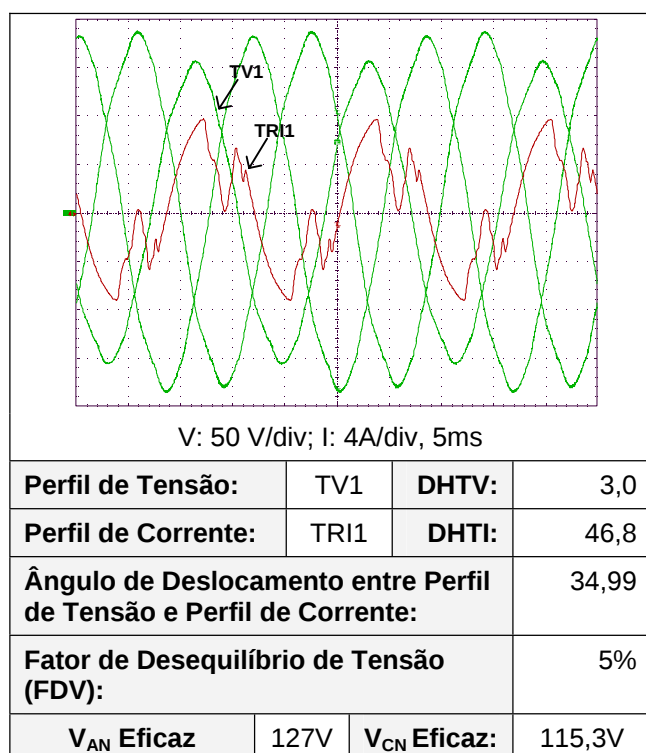


Figura 3.82 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-TRI1 apresentando FDV de 5%.

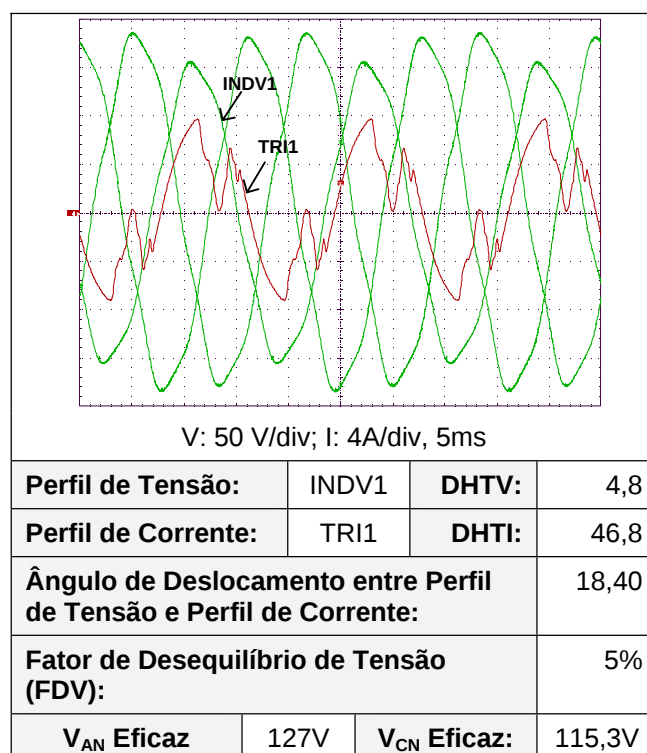


Figura 3.83 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-TRI1 apresentando FDV de 5%.

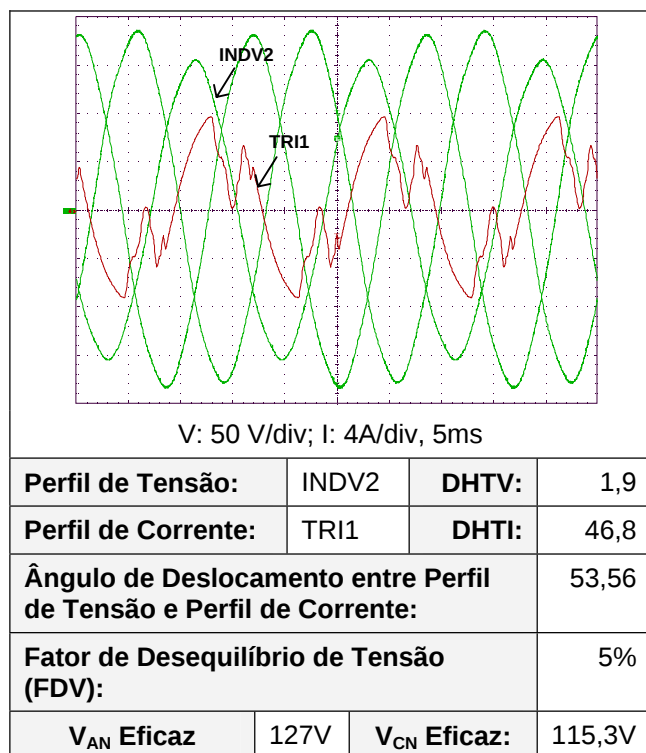


Figura 3.84 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV2-TRI1 apresentando FDV de 5%.

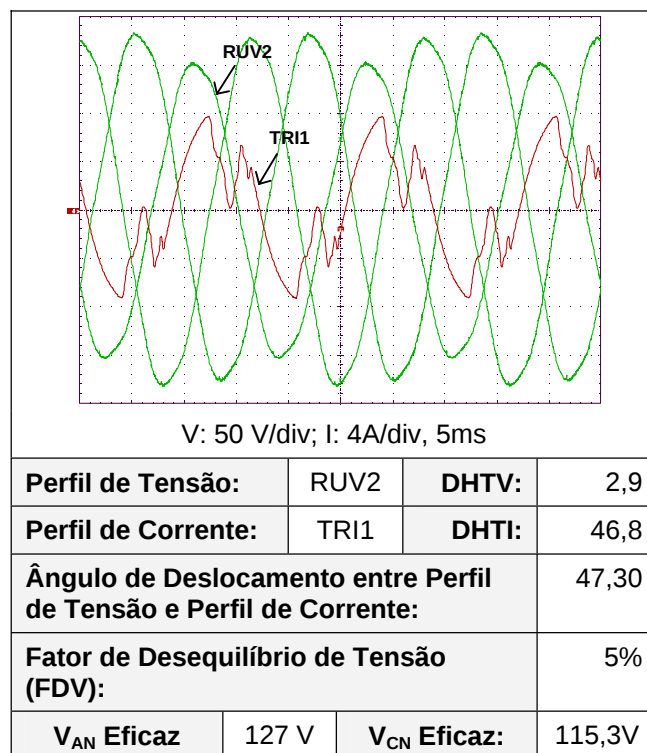


Figura 3.85 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV2-TRI1 apresentando FDV de 5%.

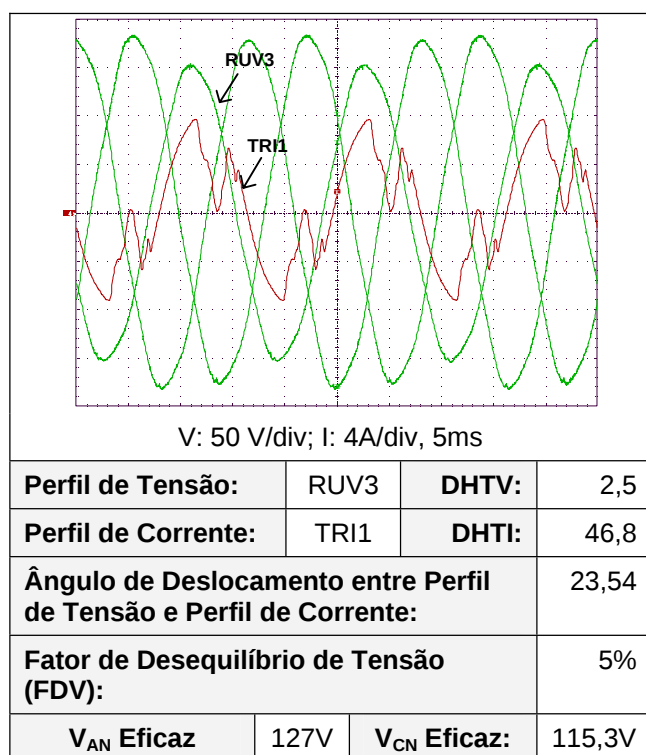


Figura 3.86- Formas de onda referentes ao Perfil RUV3-TRI1 apresentando FDV de 5%.

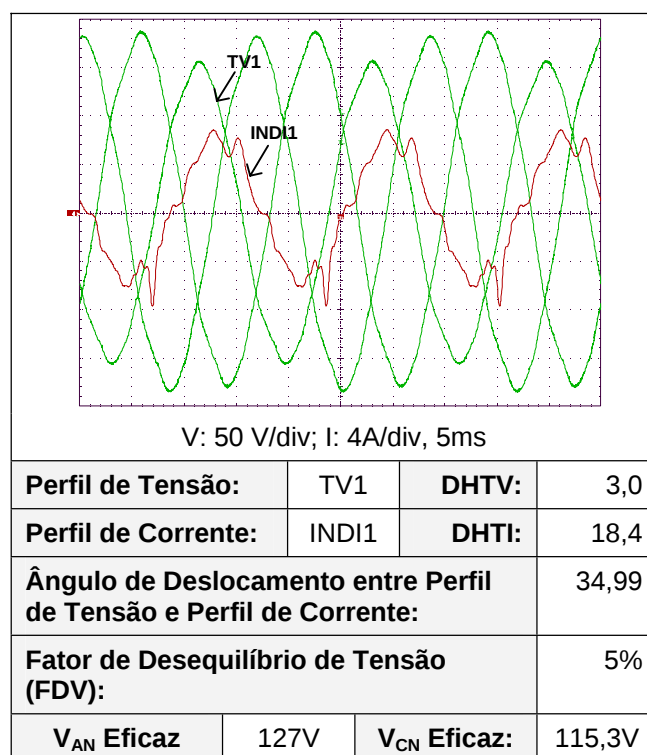


Figura 3.87 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-INDI1 apresentando FDV de 5%.

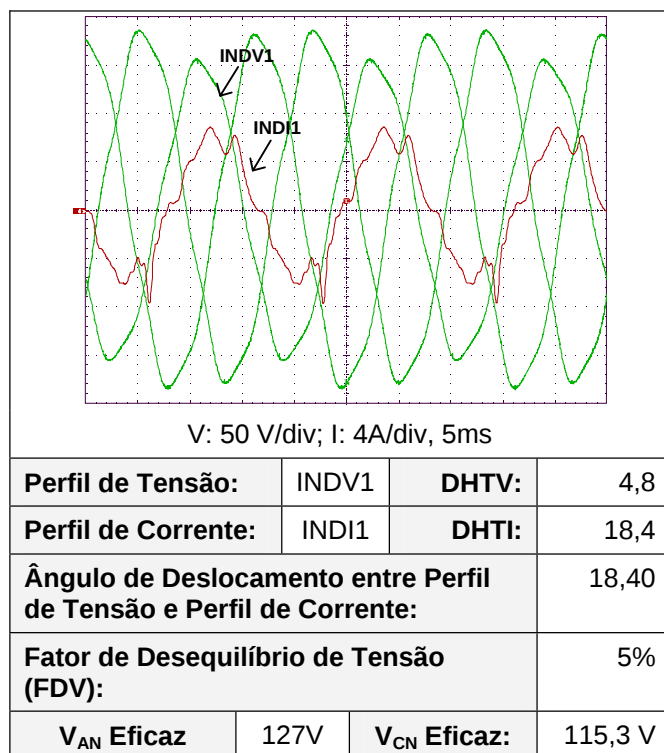


Figura 3.88 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-INDI1 apresentando FDV de 5%.

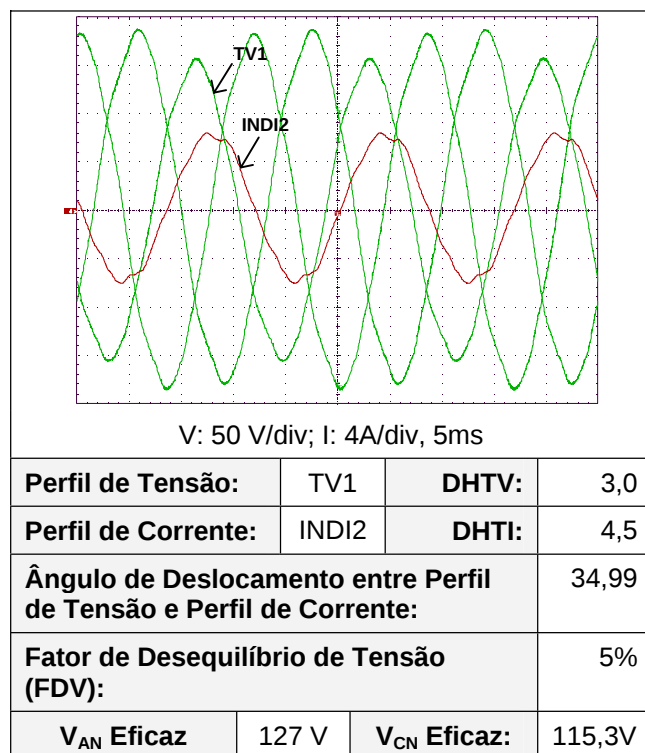


Figura 3.89 - Formas de onda referentes ao Perfil TV1-INDI2 apresentando FDV de 5%.

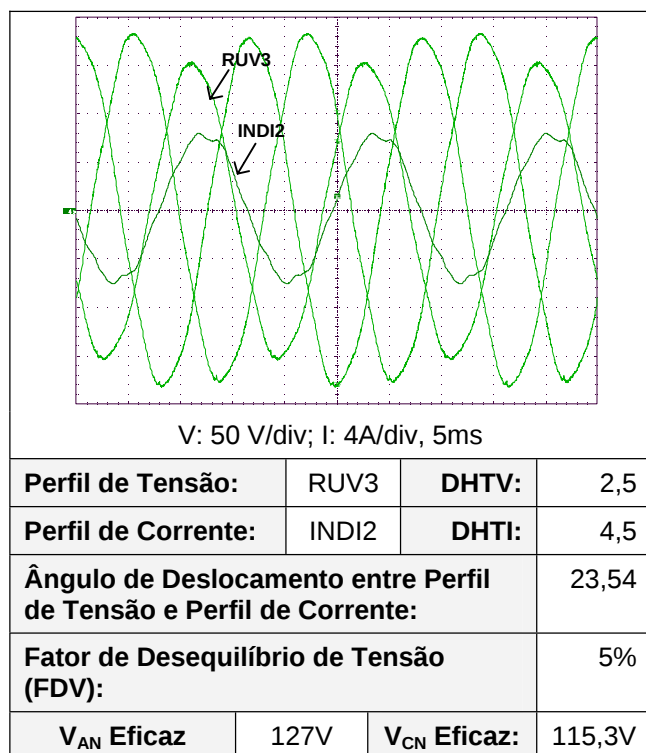


Figura 3.90 - Formas de onda referentes ao Perfil RUV3-INDI2 apresentando FDV de 5%.

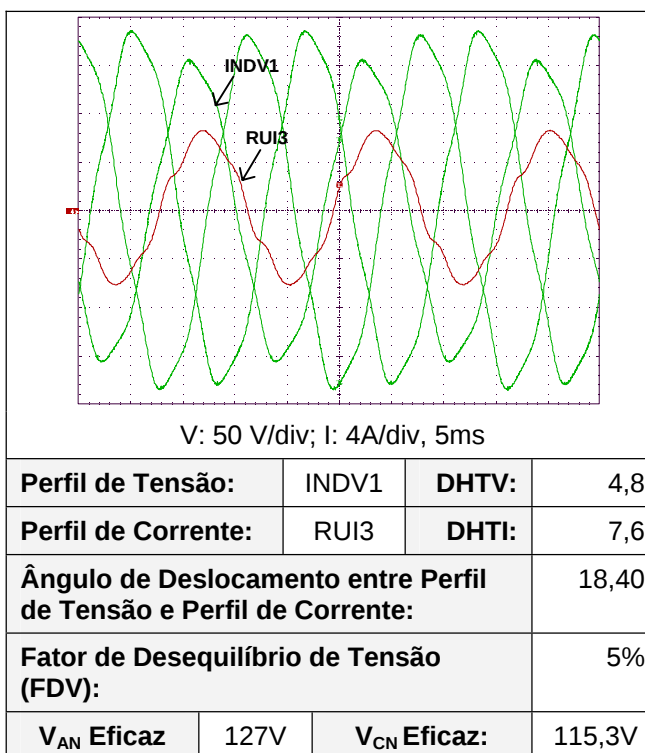


Figura 3.91 - Formas de onda referentes ao Perfil INDV1-RUI3 apresentando FDV de 5%.

3.4 – Arranjo Laboratorial

O arranjo laboratorial foi montado de forma adequada com as normas referentes aos ensaios de medidores de energia elétrica tipo indução.

Para a realização dos ensaios, conforme proposta do trabalho de impor distorções harmônicas de tensões e correntes quaisquer e distintas, utilizaram-se diversos equipamentos, os quais são apresentados esquematicamente na figura 3.92, para os arranjos dos ensaios dos medidores bifásicos.

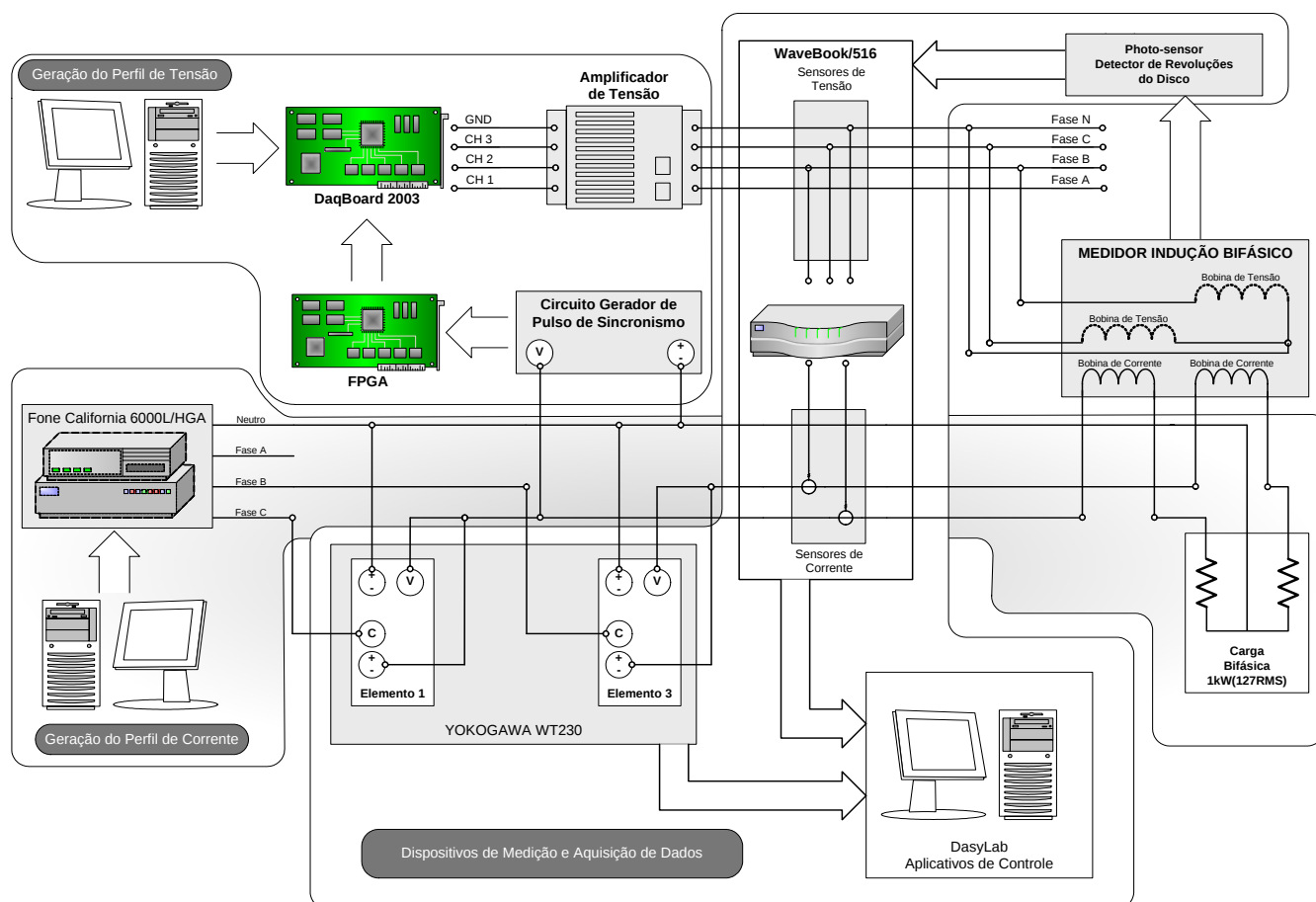


Figura 3.92 – Diagrama de blocos do arranjo laboratorial proposto para ensaios dos medidores tipo indução bifásicos.

Basicamente, a configuração de dispositivos empregados nos ensaios experimentais tanto para os medidores bifásicos, quanto trifásicos, pode ser dividida em quatro categorias principais:

- dos dispositivos envolvidos na geração dos perfis de corrente;
- dos dispositivos envolvidos na geração dos perfis de tensão;

- dos dispositivos envolvidos na aquisição dos dados necessários para a determinação do consumo em watt-hora pelo dispositivo padrão e pelos demais métodos de cálculo utilizados;
- do dispositivo medidor a ser ensaiado.

3.4.1 - Geração dos Perfis de Corrente

A metodologia empregada consistiu em aplicar formas de onda de tensões pré-determinadas a um conjunto de cargas resistivas as quais estão em série com as bobinas de corrente dos medidores sob ensaio. Desta maneira, consegue-se impor um perfil de forma de onda de corrente para o medidor ensaiado através da imposição de uma forma de onda de tensão controlada.

Para a geração dos perfis de correntes, a serem submetidos às bobinas de corrente dos medidores nos ensaios experimentais, utilizou-se uma fonte de alimentação trifásica modelo 6000L acoplada a um dispositivo gerador de formas de onda HGA (ambos da Califórnia Instruments) e um conjunto de cargas resistivas num arranjo bifásico para os medidores bifásicos, e, arranjo trifásico em estrela, com ponto comum de neutro, para os medidores trifásicos.

O dispositivo HGA é um dispositivo capaz de gerar formas de onda de referência para a fonte de alimentação a partir das informações das componentes harmônicas (amplitudes e fases) da forma de onda desejada. Considerando a componente fundamental com frequência de 60 Hz, o dispositivo é capaz de representar formas de onda com componentes harmônicas até a quinquagésima ordem.

A configuração do perfil de tensão é efetuada por meio de software específico de controle da fonte Califórnia Instruments, e, através da leitura de um banco de dados pré-definidos contendo todos os valores de amplitudes e fases das componentes harmônicas até a quinquagésima ordem da forma de onda desejada.

3.4.2 - Geração dos Perfis de Tensão

A metodologia empregada consistiu inicialmente na reconstrução da forma de onda desejada, a partir dos dados de amplitudes e fases provenientes da decomposição harmônica da forma de onda de tensão selecionada para ensaio, no

plano discreto, considerando uma taxa de amostragem de 50 kHz e 833 pontos por período. Aplicou-se a transformada de deslocamento discreto no conjunto de pontos obtidos para um período da forma de onda. Considerando deslocamentos de fase de 240° e 120° graus, obtiveram-se as demais fases para a composição de um sistema trifásico, como ilustra a figura 3.93.

Posteriormente, os pontos discretos com amplitudes em tensão são codificados utilizando a representação binária com palavras de 12 bits, conforme figura 3.94.

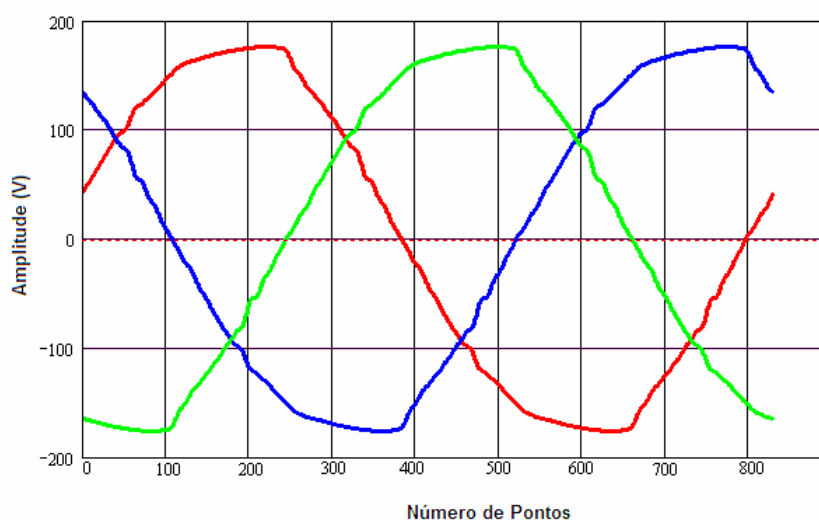


Figura 3.93 – Exemplo de forma de onda de tensão trifásica reconstruída no plano discreto considerando taxa de amostragem de 50kHz e 833 pontos por período.

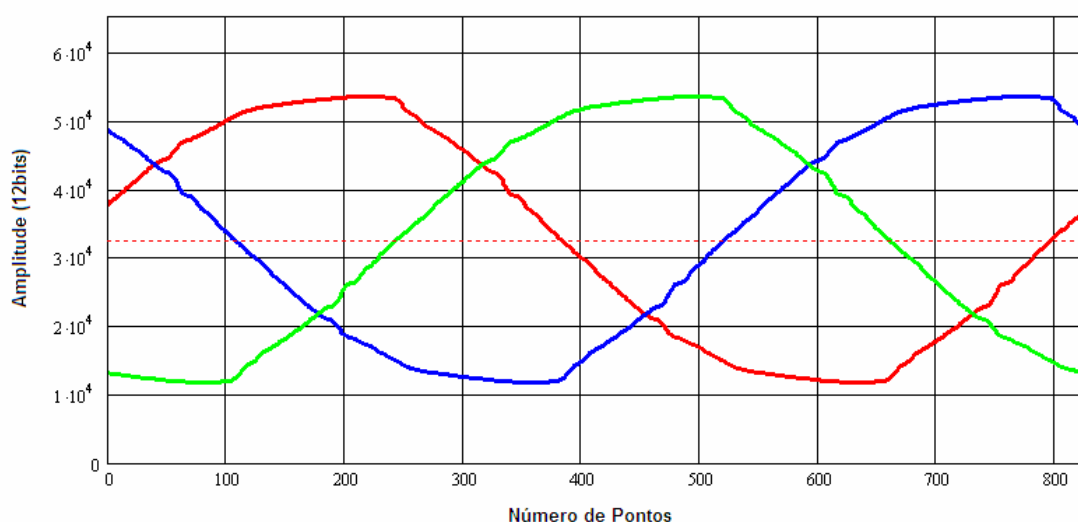


Figura 3.94 – Exemplo de codificação binária das formas de onda de tensões trifásicas reconstruída no plano discreto, considerando taxa de amostragem de 50kHz e 833 pontos por período.

Assim, as formas de onda discretas codificadas no padrão binário, referentes a cada fase, podem ser implementadas através de conversores do tipo digital/analógico presentes, por exemplo, numa placa DaqBoard 2003 (Iotech), em formas de onda analógicas com amplitudes de tensão de no máximo 20V de pico a pico. Levando em consideração essa limitação da amplitude destes sinais gerados, tornou-se necessário o acoplamento de um amplificador linear de tensão, desenvolvido para suportar as amplificações dos sinais harmônicos selecionados.

Considerando-se que as bobinas de tensão de todos os medidores pré-selecionados são de 127V (eficazes), foi imposto para o projeto do amplificador que, para qualquer nível de distorção harmônica determinada para as tensões, o amplificador deveria manter em sua saída um valor eficaz de 127V (eficazes). Adicionalmente, considerando-se as impedâncias típicas das bobinas de tensão dos medidores sob análise, ficou estabelecida uma potência máxima de saída para o amplificador em torno de 20W. A figura 3.95 apresenta fotos do amplificador desenvolvido.

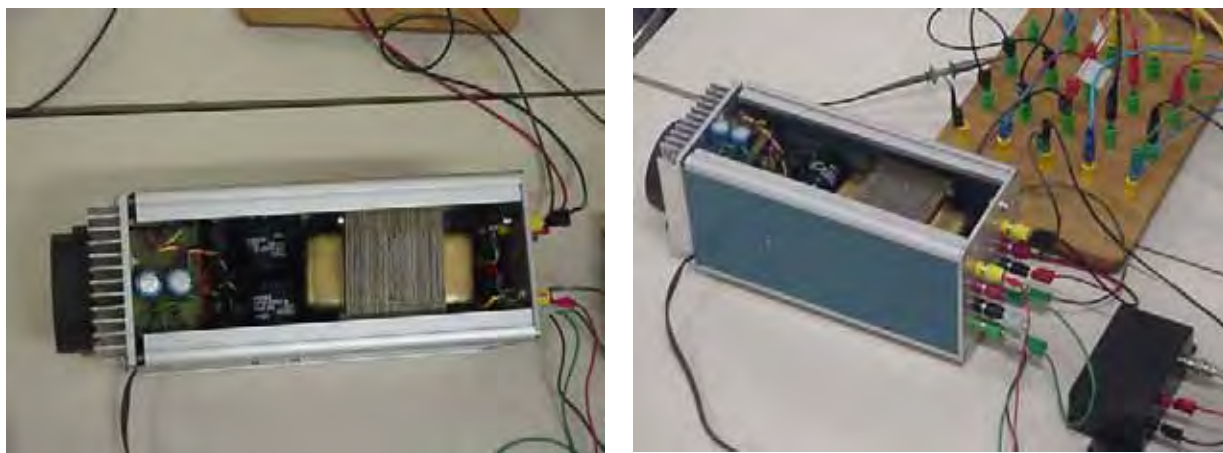


Figura 3.95 – Fotos do Amplificador Implementado.

A base utilizada na conversão está relacionada com o ganho imposto pelo amplificador nas formas de onda geradas pelo dispositivo DaqBoard 2003, de maneira que as formas de onda de tensão na saída do amplificador sempre apresentem um valor eficaz igual à 127V, independentemente das ordens harmônicas que compõe o sinal de tensão.

Deste modo, as formas de onda analógicas geradas em cada canal da placa DaqBoard 2003 foram amplificadas para alcançar os níveis de tensão requeridos,

para emular a existência de um perfil de tensão específico nas bobinas de tensão dos medidores, alimentadas separadamente das bobinas de corrente.

Adicionalmente, como as formas de onda de tensão e corrente injetadas nas bobinas dos dispositivos medidores de energia elétrica são geradas de maneira independente, para comporem determinados perfis para ensaios, tem-se a necessidade da existência de um mecanismo de sincronismo entre estas formas de onda. A metodologia de sincronismo empregada consiste em monitorar a forma de onda de corrente imposta às bobinas de corrente do medidor sob ensaio, determinando o exato instante da passagem do semiciclo negativo para o semiciclo positivo, ou seja, o cruzamento por zero. Desta forma, a partir deste instante sincroniza-se a tensão aplicada à bobina de tensão correspondente, impondo-se o deslocamento de fase entre a forma de onda de corrente e tensão requerido pelo perfil selecionado. Introduziu-se desta forma um dispositivo FPGA que monitora este instante de transição para acionar a placa de conversores D/A (DaqBoard 2003) com um trem de pulsos de “clock” controlando a geração das formas de onda de maneira síncrona, conforme figura 3.96.

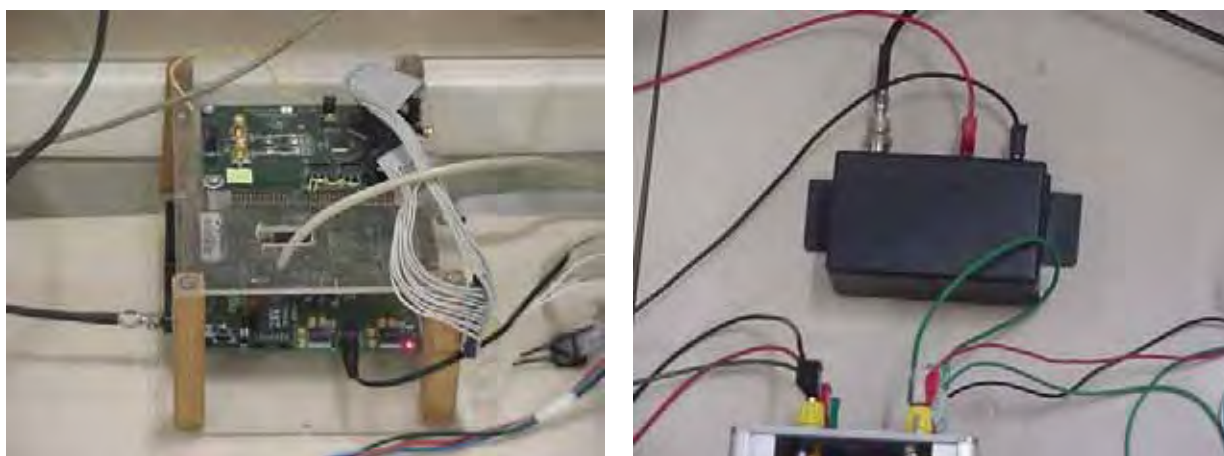


Figura 3.96 – Circuitos de sincronismo implementados, (a) FPGA Xilinx e (b) Sincronismo via detecção de passagem por zero.

A configuração do perfil de tensão é efetuada por meio de software através da leitura de um banco de dados previamente estabelecido, contendo os valores discretos dos pontos que compõe as formas de onda, com a gravação dos mesmos na placa geradora de sinais DaqBoard 2003, para cada caso admitido para ensaio.

3.4.3 - Sistemas de Aquisição de Dados e Determinação de kWh

O sistema de aquisição de dados esta dividido em duas etapas, cada qual com seu dispositivo adequado.

Deve-se monitorar o medidor sob ensaio, para leitura de seu registro de kWh, ou seja, a energia elétrica ativa registrada pelo medidor de energia elétrica tipo indução. Como os registradores são analógicos e baseados em mecanismos de relojoaria e disco, torna-se uma fonte de erros consideráveis a admissão de leitura direta nestes registradores. Desta forma, considerou-se o mesmo procedimento admitido nas normas de ensaios de aferição e calibração destes medidores, utilizando-se de técnicas de detecção de número de voltas do disco dos mesmos, e, com a conseqüente obtenção do valor do kWh registrado através de uma constante padronizada para cada medidor, denominada Kd (relação Wh/rotação)

Neste contexto, baseando-se nas formas propostas em normas para aferição de medidores de energia elétrica tipo indução [22], onde uma fotocélula sensível às rotações inteiras do disco possa transferir este impulso para computação no número de rotações e cálculo do kWh em função do Kd (“x”Wh/rotação) do medidor, implementou-se um sensor (fotocélula) de voltas (rotações), conforme mostra as fotos da figura 3.97.

Assim, considerando-se o pulso de saída do sensor de rotações, torna-se possível uma leitura mais precisa do Wh baseada em valores discretos múltiplos da constante Kd do medidor. Logicamente, os erros inerentes à relojoaria não são avaliados neste tipo de procedimento, uma vez que esta relação já se encontra definida pelo Kd do medidor, nem sequer os prováveis erros de leitura cometidos pelos apontadores (leitura visual do registrador analógico do medidor). Portanto, o “erro de medição” laboratorial ficará isento destas incertezas.



Figura 3.97 – Sensor de voltas de disco para medidores tipo indução.

A etapa seguinte se refere ao medidor padrão que será utilizado para fazer as comparações de erro do medidor ensaiado. O medidor padrão selecionado é o Yokogawa modelo WT230 que fornece as intensidades consideradas padrão para os dados aferidos (potência ativa, correntes e tensões eficazes em cada fase e o consumo total em watt-hora), com classe de precisão de 0,1% para tensões e correntes, e, 0,2% para potência ativa.

Em função do arranjo laboratorial estabelecido para os ensaios, e, a necessidade de redução de erros na aquisição dos sinais de leitura dos instrumentos de medição e sob teste, houve a necessidade do desenvolvimento de um sistema automatizado de tal forma que, eletronicamente, os dados pudessem ser computados, processados e armazenados, para posterior análise, evitando-se erros grosseiros de medição.

Assim, o sistema empregado é composto por um microcomputador do tipo PC executando aplicativos desenvolvidos no ambiente DasyLab, uma placa de comunicação do tipo GPIB, um sistema de aquisição de dados do tipo WaveBook/516 possuindo quatro sensores de tensão e três sensores de corrente, um sensor de voltas acoplado ao medidor ensaiado, e o medidor padrão.

Neste contexto, desenvolveram-se rotinas de controle de transferência direta de dados do Medidor Padrão Yokogawa, diretamente para um microcomputador PC, assim como, os sinais adquiridos pelo sistema WaveBook e o sinal proveniente do sensor de volta do disco de medidores tipo indução.

Portanto, em um ambiente amigável é possível controlar todo o sistema, inclusive o período de estabilização térmica e mecânica dos medidores sob ensaio,

permitindo-se ampla análise durante a fase de medição, inclusive dos sinais instantâneos aplicados nos medidores.

Especificamente, foram desenvolvidos dois aplicativos para o ambiente DasyLab. Um deles referente à calibração automática dos ganhos utilizados nos sensores de tensão e corrente do dispositivo WaveBook/516, que possui classe de precisão para as ponteiras de corrente de 3,5% e para as ponteiras de tensão de 0,2%. A figura 3.99 apresenta a tela referente ao procedimento de calibração. O segundo aplicativo desenvolvido é destinado à determinação e registro do consumo em watt-hora através das metodologias propostas (integração e contagem de revolução do disco) e do valor padrão aferido pelo dispositivo Yokogawa modelo WT230, apresentados nas figuras 3.98 e 3.99.

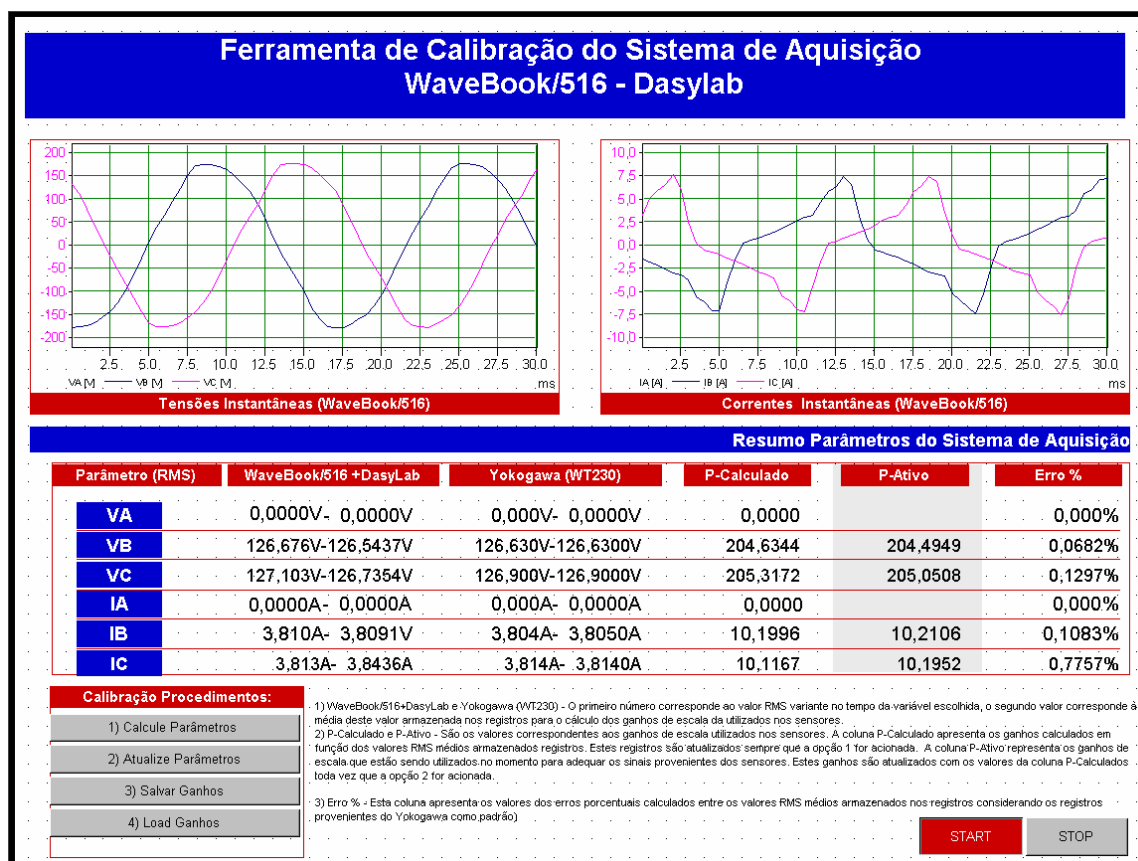


Figura 3.98 – Tela de Calibração dos ganhos utilizados nos sensores de tensão e corrente do dispositivo WaveBook/516, desenvolvido na plataforma DasyLab.

O procedimento de calibração é baseado no ajuste dos valores eficazes das formas de onda de tensão e corrente, acarretando na média em erros porcentuais menores que 1%. Este aplicativo estabelece uma comunicação cíclica a cada 5 segundos com o dispositivo Yokogawa modelo WT230, através da placa GPIB,

utilizando o protocolo de comunicação IEEE-488. Assim, a cada período de 5 segundos o sistema coleta os valores eficazes estipulados como padrão das formas de onda de corrente e de tensão em cada fase. Estes valores padrões são utilizados para efetuar o auto-ajuste dos ganhos aplicados a cada sinal de tensão e corrente quantizados pelo sistema de aquisição, de maneira que a média dos valores eficazes destes sinais quantizados se aproxime do valor padrão aferido pelo dispositivo Yokogawa modelo WT230.

Adicionalmente, este aplicativo é utilizado sempre que a amostra sob ensaio é substituída no arranjo de medição, ou, quando há troca de perfis de distorções harmônicas sob análise, ou, quando do reinício das medições depois de determinado período de interrupção.

O segundo aplicativo desenvolvido, conforme figuras 3.99 e 3.100 determina e registra o valor do consumo aferido no ensaio experimental em watt-hora através das metodologias propostas e o valor calculado pelo dispositivo Yokogawa WT230.

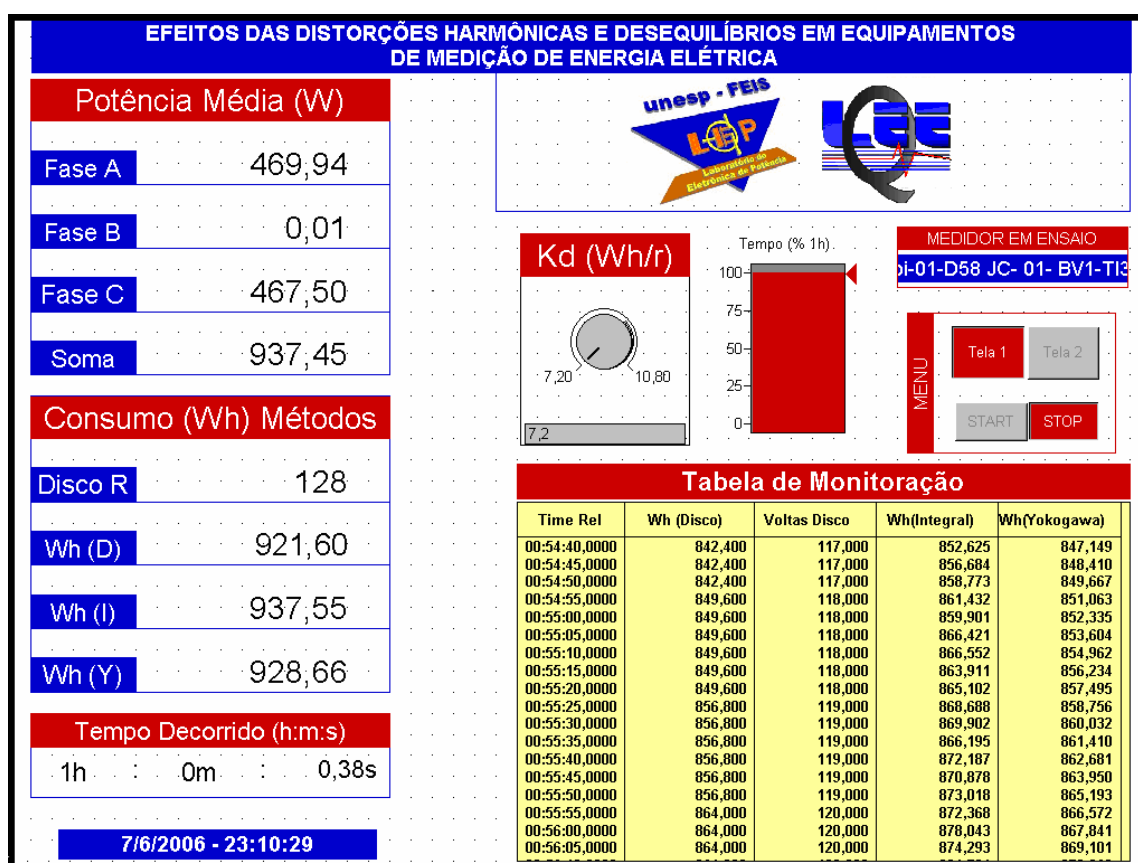


Figura 3.99 - Tela de aquisição de dados referente a medição de energia elétrica, desenvolvida na plataforma DasyLab.

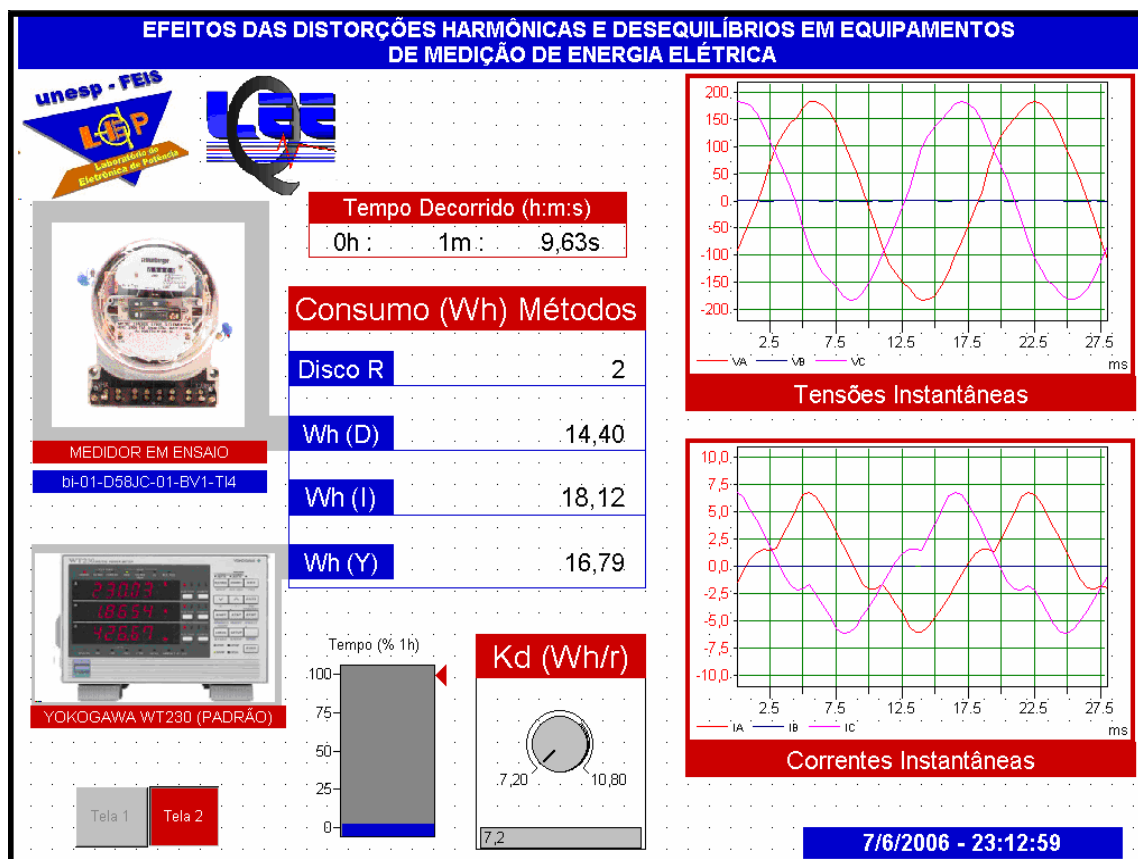


Figura 3.100 - Tela de verificação dos perfis de tensão e corrente durante à aquisição de dados, desenvolvida na plataforma DasyLab.

A primeira metodologia de registro de kWh implementada no aplicativo consiste na contagem direta do número de revoluções do disco no medidor sob ensaio e a conseqüente determinação da energia elétrica ativa através da multiplicação do número de revoluções pela constante de revolução Kd (Wh/revolução) do medidor em análise. A determinação do número de revoluções é realizada através da utilização de um sensor de revolução acoplado na parte frontal do medidor, direcionado exatamente para parte lateral do disco, conforme explicado anteriormente e de acordo com a figura 3.97.

Este sensor gera uma forma de onda do tipo quadrada, com sua borda de subida localizada sempre que a marca principal do disco passa pelo sensor, esta forma de onda por sua vez é monitorada pelo sistema de aquisição WaveBook/516 e sempre que a borda de subida é detectada significa que o disco efetuou uma revolução e portanto o contador de revoluções deve ser incrementado.

A metodologia da integração através da aquisição instantânea dos sinais de tensões e correntes, através do WaveBook/516, permite a integração destes sinais e

a obtenção direta de potência média, a qual é multiplicada, pelo fator de tempo relativo ao período de integração que determina a duração do ensaio, para a determinação do valor da energia elétrica ativa em watt-hora.

Adicionalmente, o procedimento de inicialização dos integradores empregados no aplicativo DasyLab e no dispositivo padrão Yokogawa modelo WT230 são realizados de maneira síncrona e automática pelo aplicativo desenvolvido. Desta maneira, impõem-se que os registros dos dados provenientes dos dois integradores estejam nas mesmas bases de tempo, possibilitando a comparação direta entre os mesmos.

Este aplicativo utiliza a mesma arquitetura de comunicação utilizada no aplicativo de calibração, placa GPIB mais protocolo de comunicação IEEE-488, para coletar os dados referentes ao kWh registrado pelo dispositivo padrão Yokogawa modelo WT230.

Uma vez iniciado o processo, o aplicativo funciona de maneira autônoma determinando e registrando os dados de kWh em arquivos do tipo texto, a cada 5 segundos, para posterior processamento pelas ferramentas de análise.

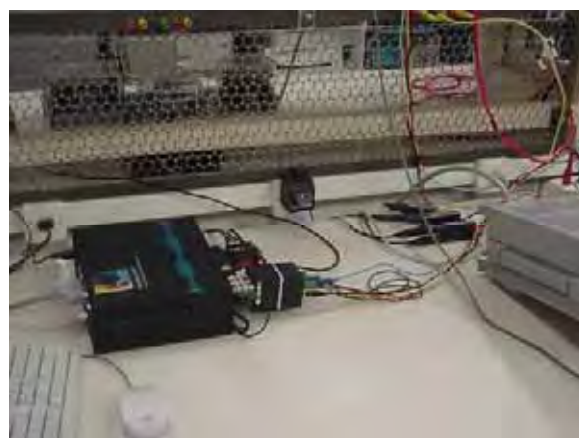
A figura 3.101 apresenta uma foto geral do arranjo laboratorial de medição implementado e a figura 3.102 os equipamentos de medição (Padrão Yokogawa e Sistema WaveBook). A figura 3.103 apresenta o conjunto HGA mais fonte California Instruments 6000L empregado para impor as formas de onda de correntes pré-determinadas nas bobinas de corrente dos medidores sob ensaio.



Figura 3.101 – Fotografia do arranjo laboratorial para ensaio dos medidores de energia tipo indução.



(a)



(b)

Figura 3.102 – Sistemas de medição: (a) Padrão Yokogawa e (b) Sistema WaveBook/516.



Figura 3.103 – Fonte California Instruments 6000L com Gerador de Harmônicas.

3.5 – Protocolo de Medição

O procedimento de aquisição dos dados foi automatizado para que pudesse ser simples e eficaz, sendo subdividido em três etapas:

- Entrada em regime permanente, térmico/mecânico;
- Calibração dos sensores integrados ao WaveBook/516;
- Medição.

Inicialmente são selecionadas as formas de onda de tensão e corrente a serem ensaiadas. Após a energização do sistema, reserva-se um período de 20 minutos para a obtenção do regime permanente térmico e mecânico do medidor sob ensaio, não sendo adquiridos quaisquer valores de kWh. Entretanto, para cada configuração (perfis de corrente e tensão), são conferidos os valores de potência ativa e tensão aplicada, através do padrão Yokogawa.

O procedimento seguinte é de calibração dos sensores de tensões e correntes, que é baseado no ajuste dos valores eficazes das formas de onda de tensão e corrente, com o objetivo de manter em média erros percentuais menores que 1% a priori, para o Wavebook/516. Observa-se que este procedimento pode ser

feito durante o tempo de espera de entrada em regime permanente térmico/mecânico dos medidores.

A próxima etapa é a de aquisição de dados que se dá com o auxílio do aplicativo já apresentado, essa aquisição tem um intervalo de tempo previamente determinado de 1 hora. Observa-se que os ensaios para cada amostra de medidor selecionado, são repetidos para 3 (três) unidades da mesma amostra (3 repetições), considerando-se as mesmas condições de ensaio, com a finalidade do estabelecimento de um erro médio para cada amostra.

3.6 - Considerações Finais

No decorrer deste capítulo foi descrita a montagem do arranjo laboratorial utilizado na pesquisa, incluindo-se os equipamentos a serem ensaiados até o sistema de aquisição de dados.

Os medidores de energia elétrica tipo indução foram selecionados a partir de um banco de dados de uma concessionária de energia elétrica, levando em consideração a quantidade de medidores existentes na área de concessão da concessionária e também os medidores que eram significativos e representativos, em termos percentuais, em relação ao montante de consumo médio registrado pela empresa, nas seguintes categorias de interesse para a pesquisa: medidores de indução bifásicos e trifásicos.

Em seguida foi feita a seleção das formas de onda de tensões e correntes que foram implementadas nos ensaios, adotando-se, aquisições realizadas em consumidores da área da concessionária admitida para análise.

Foram selecionadas formas de onda (perfis de correntes e tensões) de consumidores com características comerciais, residenciais, industriais e rurais, proporcionando perfis com distintas distorções, tanto de tensões, quanto de correntes.

Foi apresentada a concepção da montagem laboratorial com a exposição dos equipamentos responsáveis por cada etapa. O arranjo laboratório foi elaborado para que fosse possível programar formas de onda de tensão e corrente em equipamentos separados, possibilitando assim a geração de perfis distintos. Na geração do perfil de corrente utilizou-se uma fonte de alimentação trifásica modelo

6000L acoplada a um dispositivo gerador de formas de onda HGA (ambos da Califórnia Instruments). Na geração dos perfis de tensão aplicou-se dois equipamentos, uma placa de geração de sinais DaqBoard 2003 responsável pela geração das formas de onda de tensão, que tem sua capacidade limitada de saída de 20V de pico a pico, sendo necessário o uso de um amplificador de sinais para que as formas de onda geradas pela placa alcance níveis de tensões requeridos para emular a existência de um perfil de tensão específico nas bobinas de potencial dos medidores. Como as formas de onda são implementadas separadamente, foi necessário o uso de um equipamento que fizesse o sincronismo entre elas. Para isso, utilizou-se um dispositivo FPGA que monitora a forma de onda de corrente imposta e determina o exato instante da passagem do semiciclo negativo para o semiciclo positivo, ou seja, o cruzamento por zero, possibilitando assim que no instante de transição o dispositivo FPGA acione a placa de geração de sinais de tensões, com um trem de pulsos de “clock”, controlando a geração das formas de onda de maneira síncrona.

A etapa final do capítulo consistiu na apresentação do sistema de aquisição de dados, que foi dividida em duas etapas. Na primeira etapa é feita a aquisição dos valores medidos pelo medidor ensaiado, essa aquisição se dá através de uma fotocélula acoplada ao medidor que registra as revoluções do disco e repassa essa informação ao sistema que integra os dados. Assim, ao detectar a revolução do disco este quantitativo (número de voltas) é multiplicado pelo Kd de cada medidor, proporcionando assim a leitura do valor Wh registrado. A etapa seguinte se refere ao medidor padrão que foi admitido para as comparações de erro do medidor ensaiado. O medidor padrão selecionado foi o Yokogawa modelo WT230 que fornece as intensidades consideradas padrões para os dados aferidos (potência ativa, correntes e tensões eficazes em cada fase e o consumo total em watt-hora).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISES

4.1 - Introdução

No capítulo anterior apresentou-se o arranjo proposto para os ensaios, considerando-se a aquisição automática de todos os dados de interesse, assim como, os perfis de tensões e correntes que foram selecionados para impor condições de distorções harmônicas de tensões e correntes, distintas, aos medidores tipo indução admitidos para análise, incluindo-se os ensaios com desequilíbrios de tensão (3% e 5%).

Este capítulo é dedicado à apresentação e discussão dos resultados obtidos nos ensaios dos medidores selecionados.

4.2 – Análise de resultados

Neste tópico serão apresentados os resultados referentes aos ensaios dos medidores bifásicos e trifásicos selecionados.

Primeiramente, será analisado o caso onde se aplicam apenas as distorções harmônicas nas formas de onda de tensões e de correntes, e, posteriormente, a análise será feita com o resultado das medições onde foram impostas também desequilíbrios de tensões.

Observa-se que os erros serão analisados considerando-se as curvas de erros para as três repetições ensaiadas para cada amostra, e, apresentados em tabelas apenas os que superarem o limite da classe de exatidão dos mesmos, ou seja, $\pm 2\%$.

Finalmente, observa-se que todos os demais resultados, para todos os perfis analisados, encontram-se no apêndice desta dissertação.

4.2.1 - Resultados Obtidos Nos Ensaio Experimentais dos Medidores Bifásicos no Sistema Equilibrado

Para facilitar a análise, os resultados para os erros que ultrapassarem o limite admissível da classe de exatidão dos medidores, $\pm 2\%$, serão apresentados em forma de tabelas. Nas tabelas constam os erros relativos percentuais médios, em relação ao padrão Yokogawa modelo WT230, encontrados para o kWh aferido pelo medidor sob ensaio e pelo método de integração dos sinais instantâneos aquisitados. Cada amostra (com 3 repetições) será analisada separadamente. Os resultados dos ensaios dos medidores da Amostra 2 não apresentaram erros significativos, ou seja, foram inferiores a $\pm 2\%$, e por isso não foram apresentados nessa etapa. As tabelas com os dados completos referentes aos ensaios de todos os medidores podem ser encontradas no Apêndice da dissertação. Em seguida, apresentam-se os gráficos referentes a todos os ensaios de cada amostra com suas respectivas repetições, fazendo a relação do erro de medição com o TDHI e o cosseno do ângulo entre a tensão e a corrente referente a cada ensaio.

Tabela 4.1 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 1, ($K_d=7,2$)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	DHTV	DHTI	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas	Temper.
3	TV1	TI2	3,02	23,85	-5,37796	-0,28402	597,6000	630,4900	631,1200	83	23,20
1	TV2	TI3	2,89	24,64	-2,03194	2,08319	770,4000	807,3500	771,3100	107	25,00

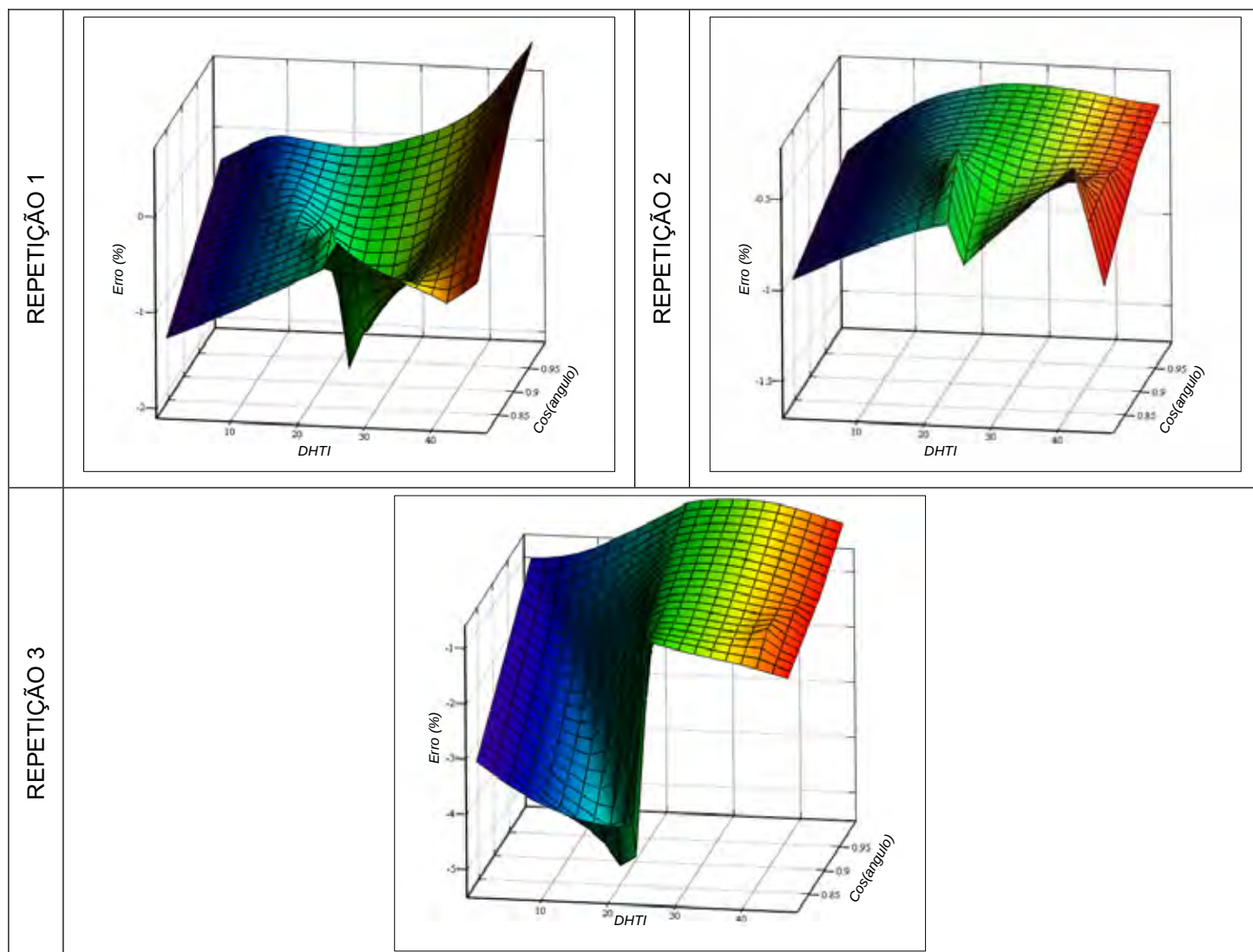


Figura 4.1 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 1.

Tabela 4.2 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 3, ($K_d=3,6$)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	DHTV	DHTI	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas	Temper.
2	BV1	TI1	3,07	46,83	3,31215	-2,32903	788,4000	746,8000	763,1600	219	23,20
2	BV2	BI2	3,30	42,35	3,55270	6,48286	450,0000	466,0400	435,5400	125	23,00
2	BV2	TI2	3,30	23,85	2,71584	3,81931	648,0000	656,7200	629,6100	180	23,00
2	BV2	TI3	3,30	24,64	2,58021	2,83818	730,8000	733,6400	712,3800	203	22,00
2	TV1	BI2	3,02	42,35	2,71437	6,67099	406,8000	424,8700	397,6300	113	22,80
2	TV1	TI2	3,02	23,85	2,24532	3,82655	615,6000	621,0300	603,4400	171	24,00
2	TV1	TI3	3,02	24,64	2,84974	3,10412	709,2000	712,8300	689,5100	197	24,00
2	TV2	BI2	2,89	42,35	3,47523	4,92402	532,8000	540,3400	513,1300	148	24,00
2	TV2	TI2	2,89	23,85	2,53285	3,32200	698,4000	706,0900	681,8700	194	24,00
2	TV2	TI3	2,89	24,64	2,59957	2,49223	784,8000	784,1500	763,1700	218	24,00

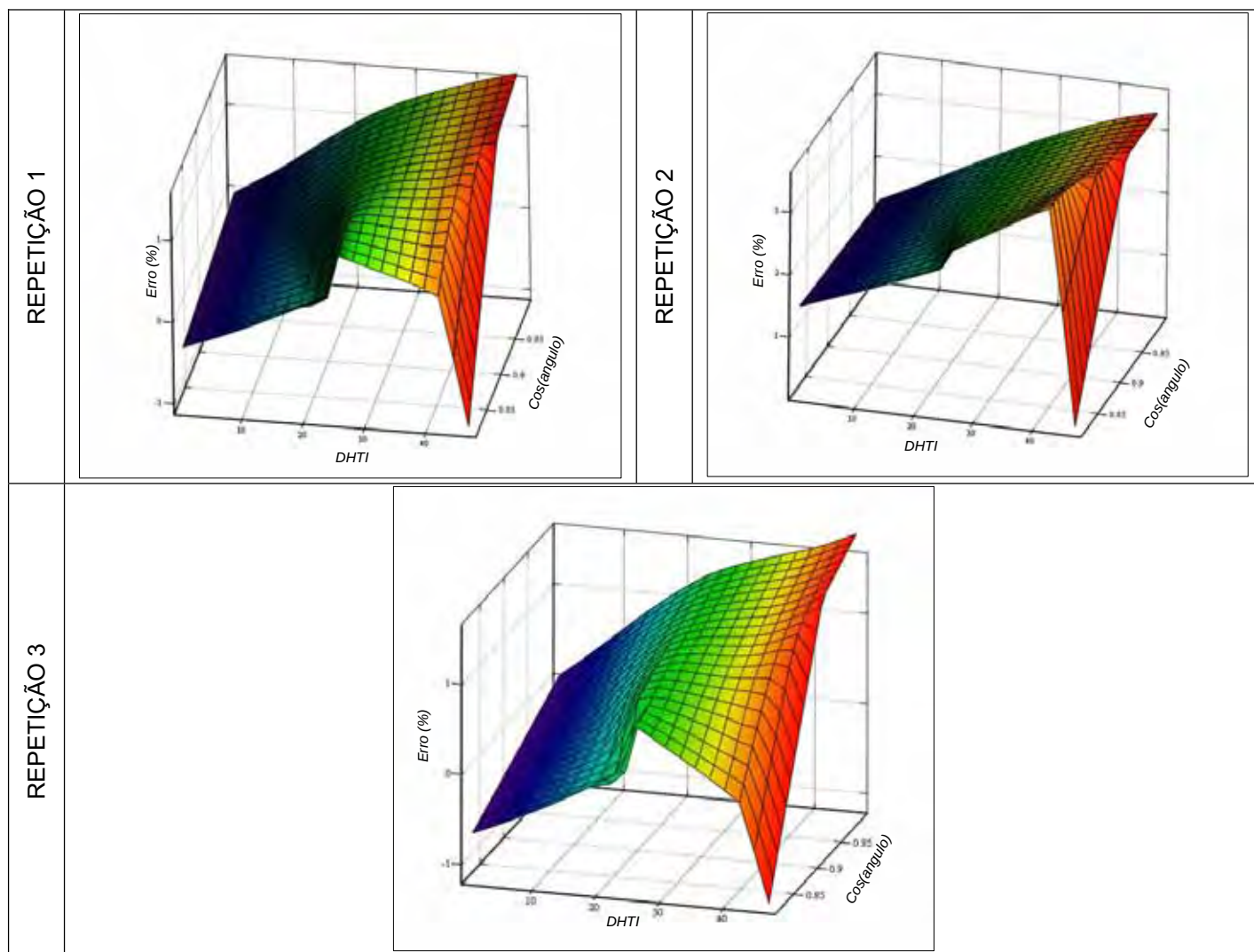


Figura 4.2 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 3.

Tabela 4.3 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 4, ($K_d=7,2$)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	DHTV	DHTI	E% DISCO	E%INT	Wh DISCO	WhINT	Wh YOKO	N. Voltas	Temper.
2	BV1	TI1	3,07	46,83	2,69342	-2,14370	784,8000	747,0000	763,1100	109	24
3	BV1	TI1	3,07	46,83	2,51981	-2,03289	784,8000	753,8900	768,5200	109	24
2	BV2	BI2	3,30	42,35	2,55816	6,21016	446,4000	465,4200	435,4700	62	23
3	BV2	BI2	3,30	42,35	3,80947	6,38812	439,2000	452,3900	423,8100	61	24
1	BV2	TI1	3,30	46,83	-2,09905	-0,44428	813,6000	832,4300	818,4400	113	23
3	BV2	TI2	3,30	23,85	2,39091	3,74189	640,8000	654,3800	629,6300	89	24
3	BV2	TI3	3,30	24,64	2,25463	2,88592	727,2000	734,8400	711,8200	101	25
2	TV1	BI2	3,02	42,35	2,09471	6,73432	417,6000	439,6100	409,9200	58	21
3	TV1	BI2	3,02	42,35	3,22221	6,71018	417,6000	439,6700	409,6900	58	26
3	TV1	TI2	3,02	23,85	2,25856	4,01802	619,2000	632,4300	605,8300	86	27
3	TV1	TI3	3,02	24,64	2,47605	3,14980	705,6000	710,9000	688,5800	98	27
1	TV2	BI2	2,89	42,35	3,60883	4,90775	525,6000	539,5800	513,7800	73	28
2	TV2	BI2	2,89	42,35	3,26298	4,93316	525,6000	539,2800	513,3000	73	22
3	TV2	BI2	2,89	42,35	3,61568	4,83458	532,8000	540,5800	513,1000	74	27
3	TV2	TI2	2,89	23,85	2,51274	2,96053	712,8000	721,7300	698,7700	99	27
3	TV2	TI3	2,89	24,64	2,40873	2,25871	784,8000	789,7800	771,1700	109	27

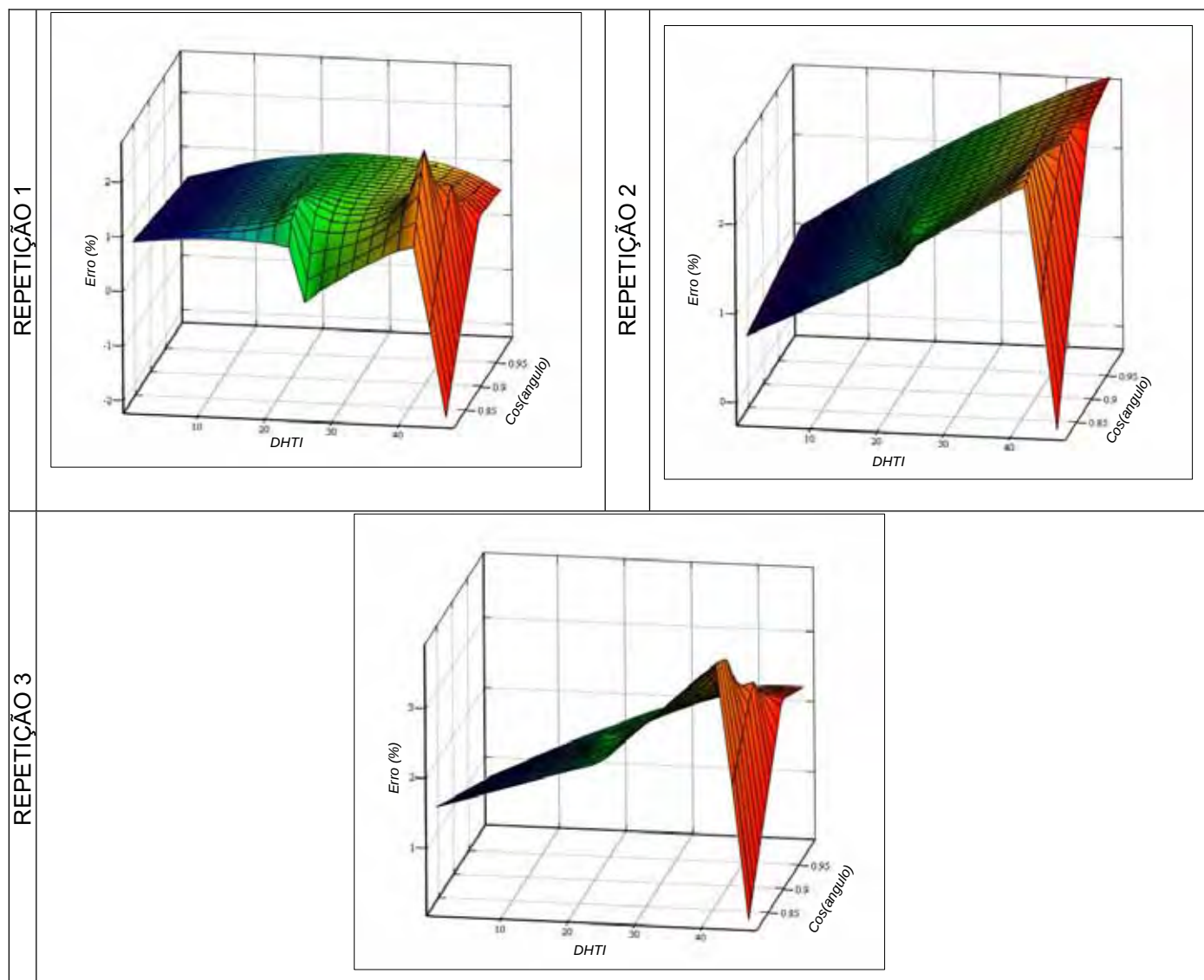


Figura 4.3 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 4.

Tabela 4.4 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 5, ($K_d=7,2$)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	DHTV	DHTI	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas	Temper.
2	BV2	BI2	3,30	42,35	2,50553	6,36094	446,4000	465,2600	436,2900	62	26,00
2	TV1	BI2	3,02	42,35	2,12090	6,85856	417,6000	440,1300	409,5300	58	23,60
2	TV1	TI3	3,02	24,64	2,01847	3,24689	698,4000	712,3800	689,6600	97	23,80
2	TV2	BI2	2,89	42,35	2,42507	4,81929	525,6000	540,1900	513,7900	73	25,40

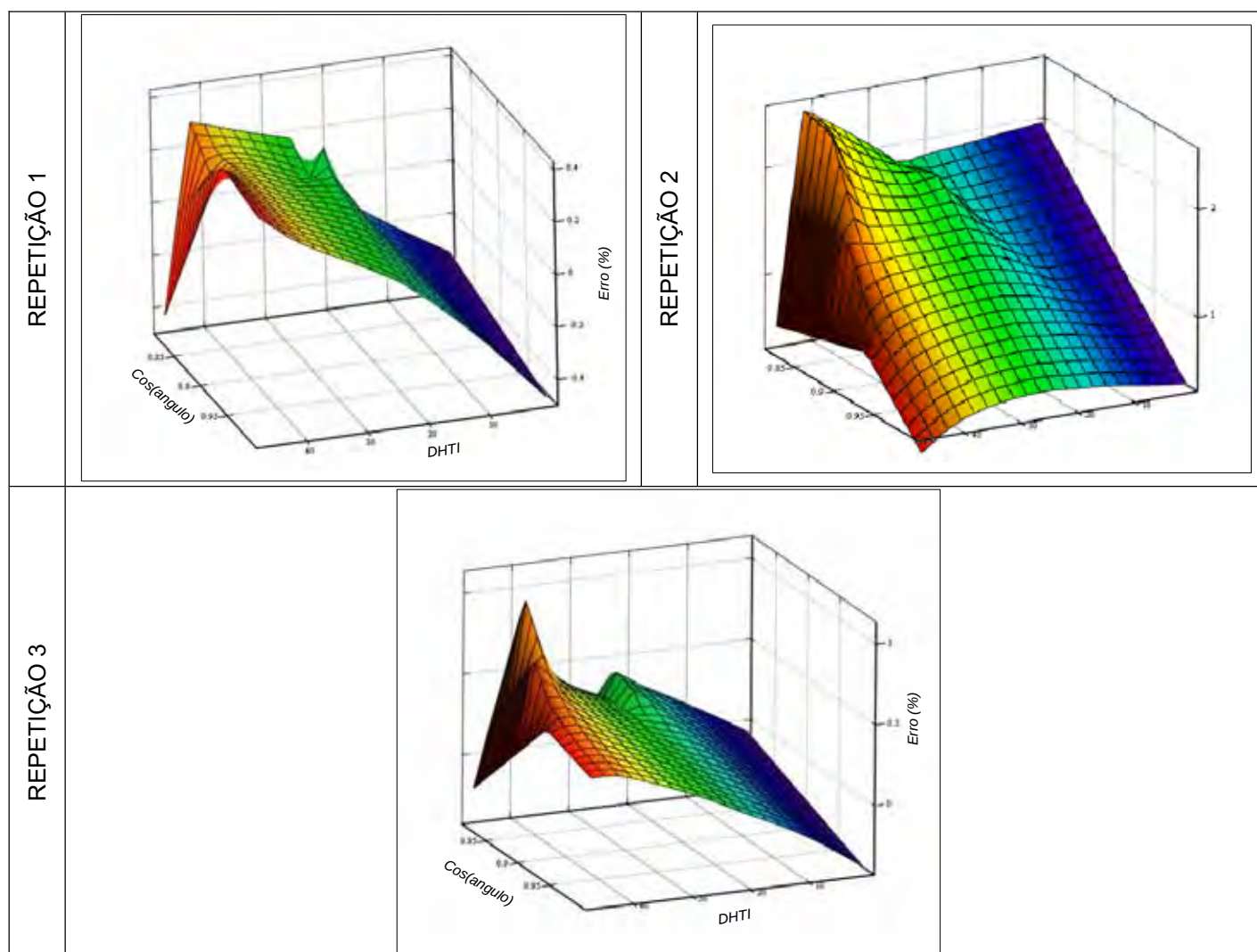


Figura 4.4 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 5

Ao analisar os resultados referentes aos ensaios dos medidores bifásicos no sistema equilibrado, quando aplicado distorções harmônicas na tensão e na corrente, percebeu-se que os erros estavam presentes em todos os ensaios, porém, eles tornam-se maiores com o aumento do nível de distorção harmônica da corrente. Os resultados que apresentaram erros superiores a $\pm 2\%$, ou seja, erros superiores aos permitidos pela classe de exatidão dos medidores, foram aqueles quando os medidores foram submetidos aos ensaios com os perfis de corrente BI2, TI1 e TI3, perfis estes que apresentam nível de distorção harmônica total de corrente de 42,3%, 46,8% e 24,7%, respectivamente. Na análise dos gráficos em que o erro foi plotado em função do nível de distorção harmônica total da corrente e do cosseno do ângulo entre a tensão e a corrente, verificou-se que esses dois parâmetros

influenciaram diretamente nos erros de medição de energia dos medidores tipo indução.

4.2.2 - Resultados Obtidos Nos Ensaios Experimentais dos Medidores Trifásicos No Sistema Equilibrado

Como apresentado no item anterior, para facilitar a análise, os resultados são apresentados em forma de tabelas, onde constam apenas os erros que ultrapassaram o limite admissível de acordo com a classe de exatidão dos medidores ($\pm 2\%$). Nas tabelas encontram-se os erros relativos percentuais médios em relação ao padrão Yokogawa modelo WT230, encontrados para o kWh aferido pelo medidor sob ensaio e pelo método de integração dos sinais instantâneos aquisitados. Cada amostra (3 repetições) será analisada separadamente. Os resultados dos ensaios dos medidores das Amostras 6 e 11 não apresentaram erros significativos e por isso não foram apresentados (ou seja, apresentaram erros menores que $\pm 2\%$). As tabelas com os dados referentes aos ensaios de todos os medidores podem ser encontradas no Apêndice da dissertação. Em seguida, apresentam-se os gráficos referentes a todos os ensaios de cada amostra com suas respectivas repetições, fazendo a relação do erro de medição com o TDHI e o cosseno do ângulo entre a tensão e a corrente referente a cada ensaio.

Tabela 4.5 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 7, ($K_d=10,8$)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	DHTV	DHTI	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N.Voltas	Temper.
2	TV1	TRI1	3,02	46,80	-2,11700	1,44400	1188,00	1236,00	1217,00	110	24,00
2	INDV2	TRI1	1,89	46,80	-2,13300	2,97800	1004,00	1056,00	1024,00	93	21,00

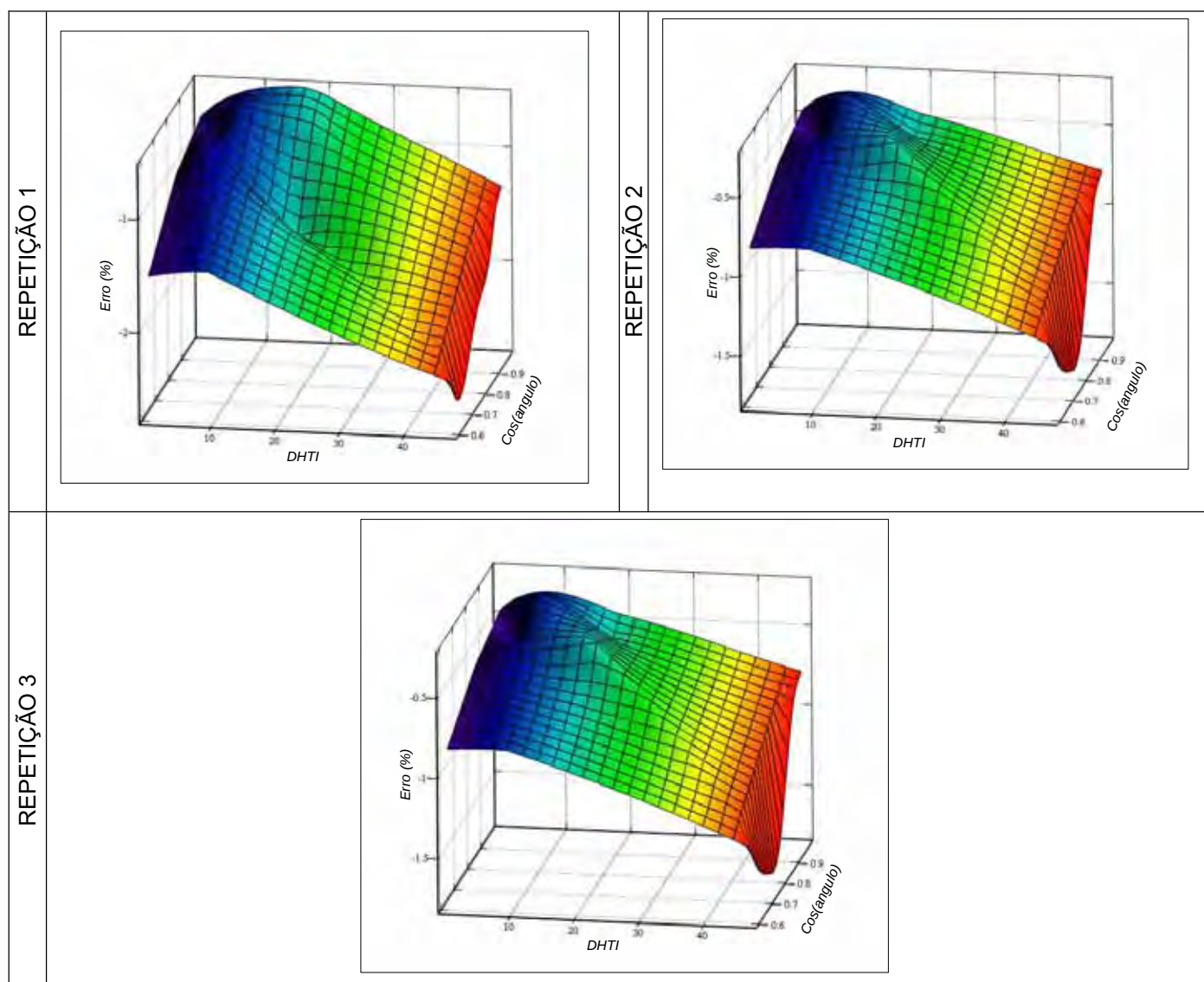


Figura 4.5 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 7.

Tabela 4.6 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 8, ($K_d=10,8$)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	DHTV	DHTI	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N.Voltas	Temper.
1	TV1	TRI1	3,02	46,80	-2,61310	1,48206	1177,20	1237,35	1215,90	109	25,00
2	TV1	TRI1	3,02	46,80	-2,33671	1,43820	1188,00	1235,91	1215,50	110	27,90
1	INDV2	TRI1	1,89	46,80	-2,43279	3,01052	993,60	1057,47	1024,10	92	24,40
2	INDV2	TRI1	1,89	46,80	-2,09288	2,84376	1004,40	1055,08	1023,20	93	28,40
1	RUV2	TRI1	2,86	46,80	-2,63506	1,91095	1080,00	1137,06	1113,20	100	28,70
2	RUV2	TRI1	2,86	46,80	-2,35069	2,24577	1090,80	1149,67	1121,60	101	29,20
3	RUV2	TRI1	2,86	46,80	-2,00054	2,22271	1101,60	1150,17	1122,60	102	28,00

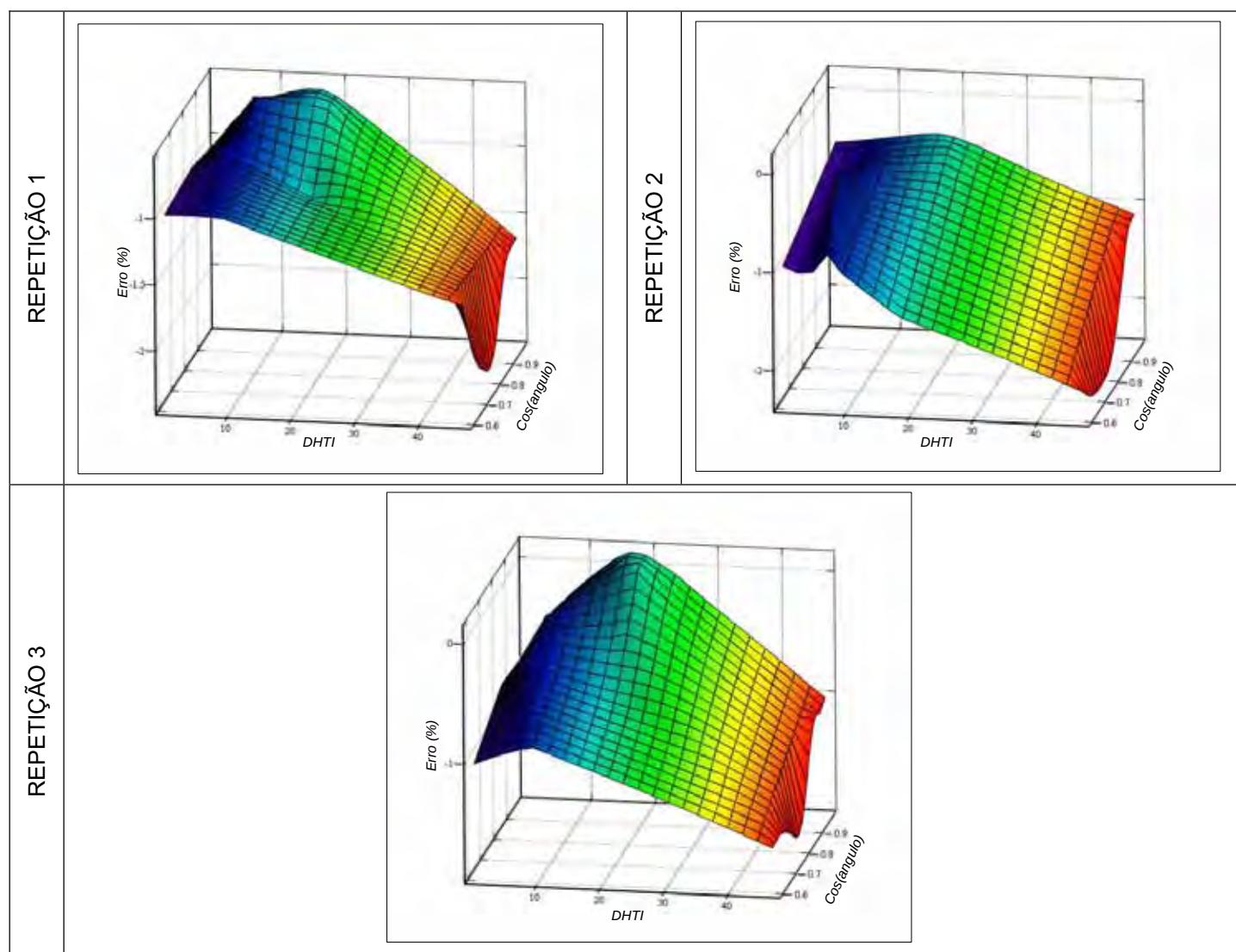


Figura 4.6 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 8.

Tabela 4.7 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 9, ($K_d=10,8$)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	DHTV	DHTI	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N.Voltas	Temper.
3	TV1	TRI1	3,02	46,80	-3,15376	1,38892	1177,20	1235,27	1215,40	109	24,40
3	TV1	INDI1	3,02	18,40	-2,40491	3,58896	1026,00	1089,42	1049,80	95	24,50
3	TV1	INDI2	3,02	4,46	-2,07590	2,53902	1177,20	1230,61	1197,70	109	24,60
3	TV1	RUI2	3,02	7,18	-2,06548	2,98685	1112,40	1169,47	1133,00	103	24,30
3	INDV1	TRI1	4,76	46,80	-2,33323	0,47015	1252,80	1298,47	1290,50	116	24,00
3	INDV2	TRI1	1,89	46,80	-2,77510	3,10568	993,60	1057,18	1023,00	92	24,00
3	INDV2	INDI1	1,89	18,40	-2,72738	6,40169	702,00	778,67	730,95	65	24,00
3	INDV2	INDI2	1,89	4,46	-2,78177	4,68966	896,40	964,31	919,71	83	20,40
3	INDV2	RUI2	1,89	7,18	-3,06627	5,41993	799,20	877,68	831,10	74	22,20
3	INDV2	RUI3	1,89	7,54	-2,87214	5,08524	842,40	916,65	871,47	78	23,80
3	RUV2	TRI1	2,86	46,80	-3,53162	2,29332	1080,00	1149,84	1121,70	100	25,00
3	RUV2	INDI1	2,86	18,40	-2,95383	4,98315	853,20	924,98	878,58	79	26,70
3	RUV2	INDI2	2,86	4,46	-2,60869	3,59930	1026,00	1093,23	1052,80	95	24,80
3	RUV2	RUI2	2,86	7,18	-2,91514	4,15929	939,60	1016,97	974,44	87	24,00

3	RUV2	RUI3	2,86	7,54	-2,54496	3,84037	982,80	1053,30	1012,60	91	24,40
3	RUV3	TRI1	2,49	46,80	-2,67215	0,55919	1252,80	1297,94	1288,40	116	24,30
3	RUV3	INDI1	2,49	18,40	-2,18053	2,14622	1198,80	1250,55	1231,60	111	24,30
3	RUV3	INDI2	2,49	4,46	-2,05934	1,43169	1317,60	1369,70	1348,50	122	24,20
3	RUV3	RUI3	2,49	7,54	-2,08214	1,58684	1285,20	1340,72	1317,60	119	23,00

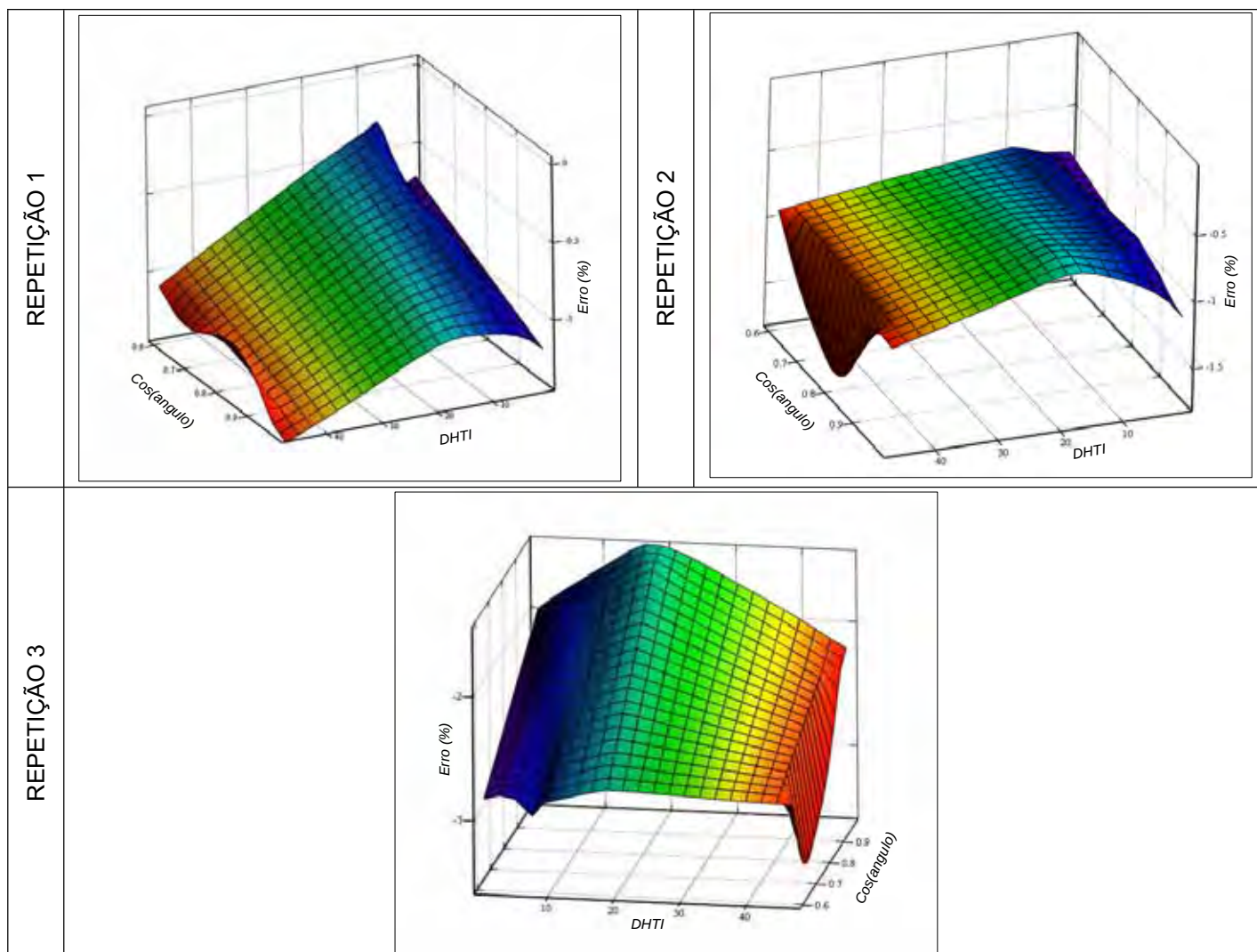


Figura 4.7 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 9.

Tabela 4.8 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 10, ($K_d=10,8$)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	DHTV	DHTI	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N.Voltas	Temper.
1	TV1	TRI1	3.02	46.80	-2.13139	1.38422	1188.00	1235.75	1216.40	110	22.00
2	TV1	TRI1	3.02	46.80	-2.18119	1.42763	1188.00	1236.67	1216.50	110	25.70
2	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-2.25493	6.44469	712.80	779.49	731.16	66	25.00
2	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-2.09328	0.46536	1263.60	1299.03	1290.90	117	26.60

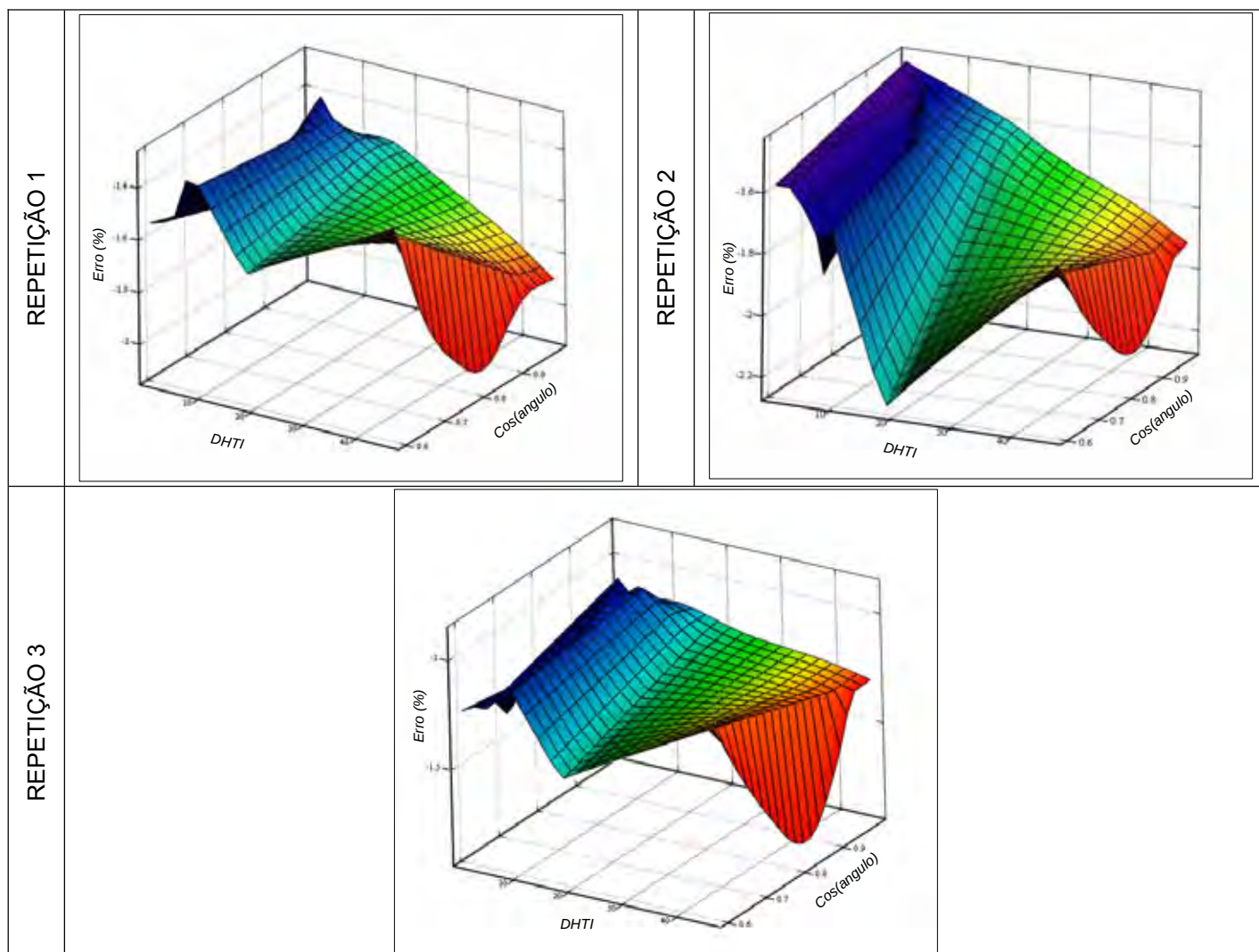


Figura 4.8 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 10

Na análise dos resultados dos ensaios dos medidores trifásicos submetidos a perfis de tensão e corrente com diferentes níveis de distorção harmônica, percebeu-se a presença de erros na medição em todos os ensaios. Mais uma vez, esse erro torna-se maior com o aumento do nível de distorção harmônica da corrente, como observado anteriormente para os bifásicos, visto que a distorção harmônica total da tensão não ultrapassa cerca de 5% nos ensaios realizados. Desta forma, esse parâmetro não influenciou significativamente nos erros de medição observados. Entretanto, para distorções nas tensões de maiores amplitudes, pode-se não observar tal comportamento para os erros. Porém, considerando-se os limites impostos para as distorções harmônicas nas tensões dos sistemas de distribuição, em torno de 5%, as análises realizadas não comprometem significativamente a

quantificação dos erros observados.

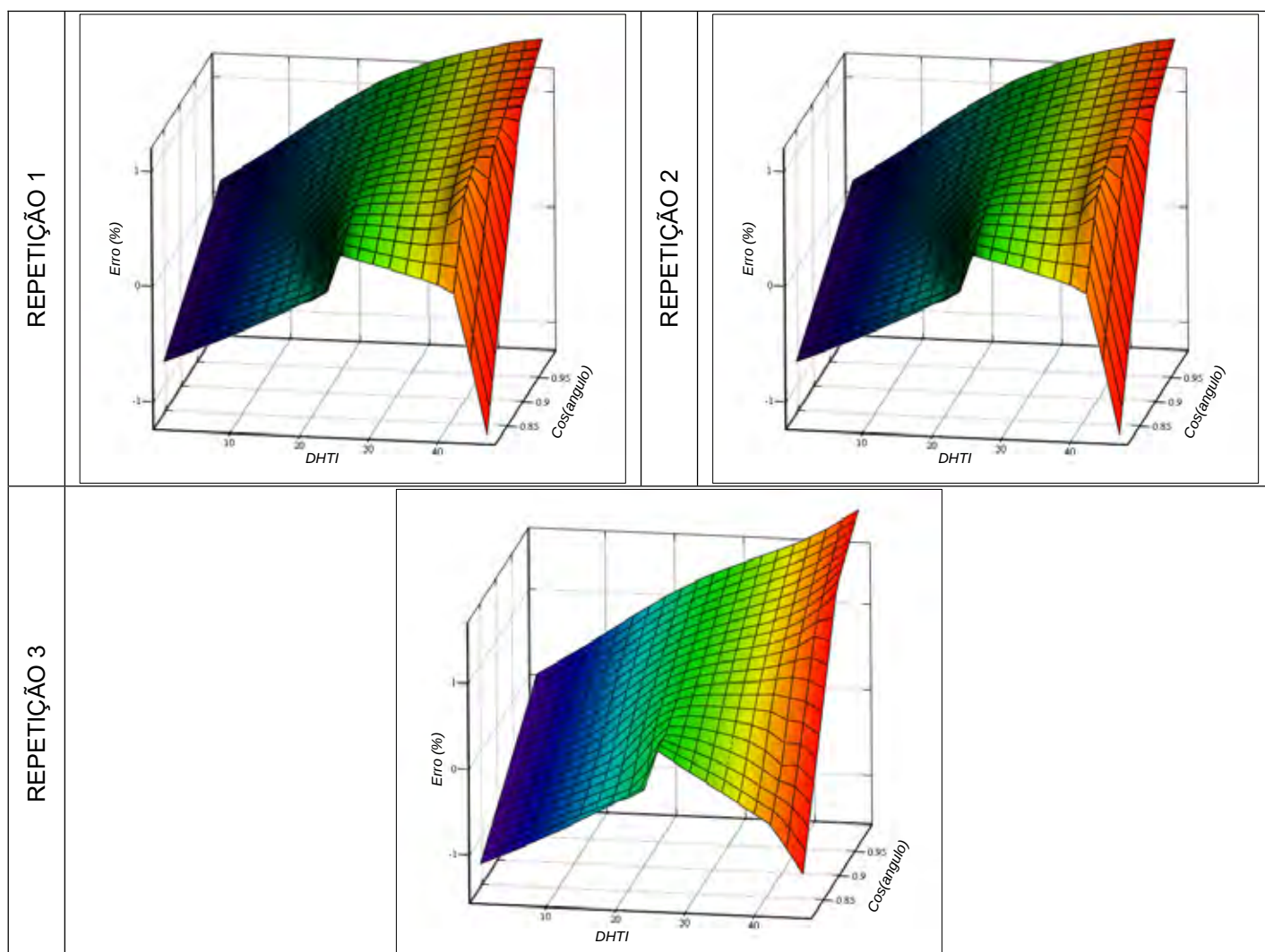
Os resultados que apresentaram erros superiores a $\pm 2\%$, ou seja, erros superiores aos permitidos pela classe de exatidão dos medidores, foram os ensaios com os perfis de corrente TRI1 e INDI1, perfis que apresentam nível de distorção harmônica de 46,80% e 18,40%, respectivamente. A exceção é a Amostra 9, em que a terceira repetição apresentou erros em quase todos os ensaios. Isto demonstrou a necessidade do uso de repetições para cada amostra, possibilitando que tais erros possam ser questionados e avaliados. Na análise dos gráficos em que o erro de medição foi plotado em função do nível de distorção harmônica da corrente e do cosseno do ângulo de deslocamento entre a tensão e a corrente, verificou-se que tais parâmetros são extremamente importantes na análise dos erros de medição. Verificou-se também que, tanto na análise dos resultados dos medidores bifásicos, quanto trifásicos, para tensões equilibradas, com o aumento do nível de distorção harmônica da corrente, o erro de medição tende a ser cada vez maior e negativo, ou seja, o medidor de energia elétrica do tipo indução registra valores menores que os registrados pelo equipamento padrão, usado para comparação dos resultados.

4.2.3 - Erros em Medidores Tipo Indução Bifásicos, Considerando-se Desequilíbrio

As tabelas 4.9 até 4.11 apresentam os resultados das medições referentes aos cenários admitidos para ensaios dos sistemas desequilibrados, considerando-se apenas os erros que ultrapassaram o limite admissível de acordo com a classe de exatidão dos medidores ($\pm 2\%$). Os resultados dos ensaios dos medidores das Amostras 1 e 2 não apresentaram erros significativos, ou seja, foram inferiores a $\pm 2\%$, e, desta forma, não foram apresentados nesta etapa. As tabelas com os dados referentes aos ensaios de todos os medidores podem ser encontradas no Apêndice da dissertação. Em seguida apresentam-se os gráficos referentes a todos os ensaios de cada amostra com suas respectivas repetições, fazendo a relação do erro de medição com o TDHI e o cosseno do ângulo entre a tensão e a corrente referente a cada ensaio.

Tabela 4.9 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 3, considerando-se desequilíbrios ($K_d=3,6$).

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	DHTV	DHTI	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas
2	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	3%	720	2,5087	-2,2290	784,80	749,52	764,10	218
2	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	5%	720	2,8446	-2,1697	788,40	748,03	762,96	219
2	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	3%	720	2,1346	6,1706	442,80	461,79	433,95	123
2	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	5%	720	3,1260	6,1021	446,40	459,67	433,39	124
2	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	3%	720	2,6893	2,8050	730,80	732,31	710,12	203
2	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	5%	720	2,1503	2,8565	727,20	734,57	710,36	202
2	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	5%	720	3,4370	6,7676	421,20	436,11	407,16	117
2	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	3%	720	2,9007	3,0622	705,60	710,12	687,11	196
2	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	5%	720	2,1569	3,0515	709,20	715,50	692,11	197
2	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	3%	720	2,7798	4,8538	525,60	538,14	511,50	146
2	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	5%	720	3,3401	4,7292	529,20	537,04	511,25	147
2	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	3%	720	2,9571	2,1698	795,60	794,29	773,47	221
2	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	5%	720	2,1958	2,2102	792,00	793,47	773,16	220

Figura 4.9 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 3, com desequilíbrio de tensão de 3%.

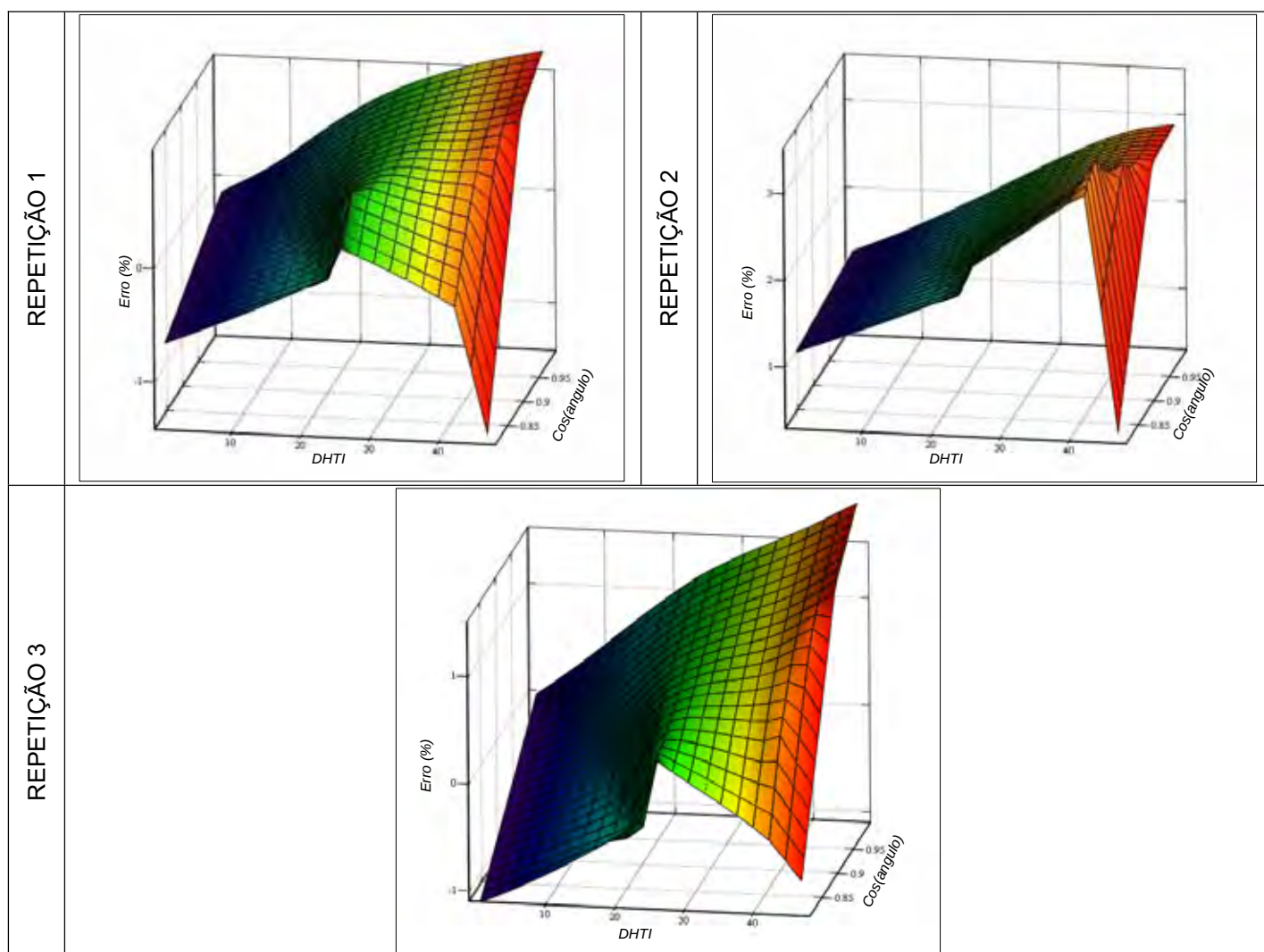


Figura 4.10 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 3, com desequilíbrio de tensão de 5%.

Tabela 4.10 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 4, considerando-se desequilíbrios ($K_d=7,2$)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	DHTV	DHTI	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N.Voltas
1	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	3%	720	2,066719	-2,111524	777,60	750,55	765,12	108
2	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	3%	720	2,144307	-2,229212	777,60	748,74	764,23	108
2	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	5%	720	2,039547	-2,180332	777,60	748,14	763,60	108
3	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	3%	720	3,543500	2,420708	784,80	752,19	764,58	109
3	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	5%	720	2,372035	-2,196412	784,80	751,56	764,64	109
1	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	3%	720	2,408464	6,333589	446,40	464,51	434,06	62
1	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	5%	720	2,608513	6,063975	424,80	466,98	439,92	59
3	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	3%	720	3,505624	6,280484	446,40	461,93	433,77	62
3	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	5%	720	3,372555	6,267433	446,40	462,17	433,99	62
3	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	3%	720	2,345583	2,942608	727,20	736,34	712,03	101
1	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	3%	720	2,141617	6,879151	410,40	437,37	408,02	57
1	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	5%	720	-8,927816	6,891578	388,80	438,49	408,00	54
3	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	3%	720	2,707078	6,870233	417,60	438,76	408,04	58
3	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	5%	720	2,563041	6,811930	417,60	436,83	407,95	58

3	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	3%	720	2,321232	4,221277	604,80	623,22	595,12	84
3	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	5%	720	2,071116	4,110798	612,00	631,81	604,73	85
3	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	3%	720	2,101393	3,222931	705,60	711,76	688,36	98
1	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	3%	720	2,758646	4,928283	525,60	537,91	511,73	73
1	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	5%	720	2,177268	4,820756	518,40	538,55	511,39	72
3	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	3%	720	3,273318	4,897037	525,60	537,04	511,59	73
3	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	5%	720	3,162280	4,933670	525,60	537,69	511,59	73
3	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	3%	720	2,574194	3,076393	698,40	711,47	686,81	97

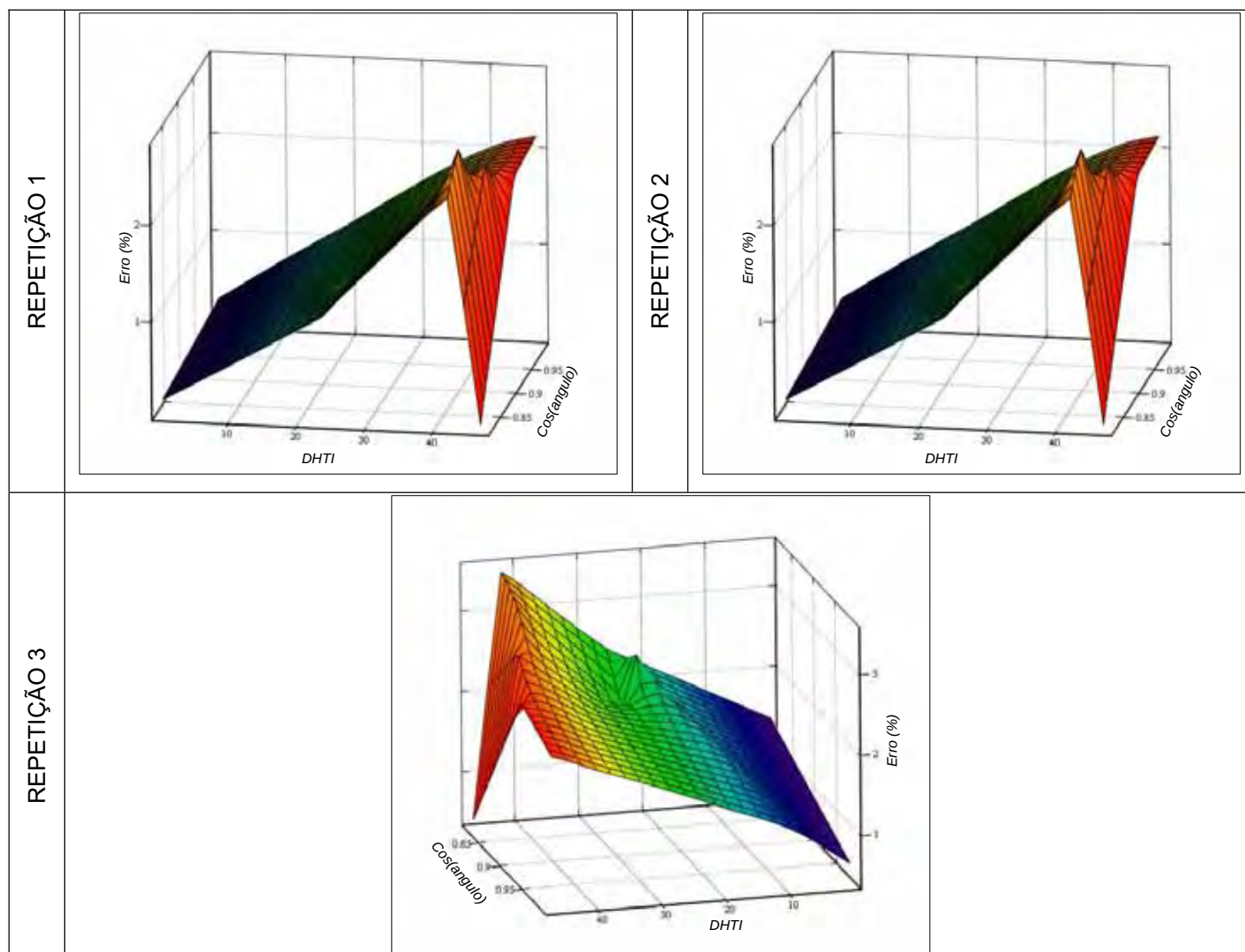


Figura 4.11 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 4, com desequilíbrio de tensão de 3%.

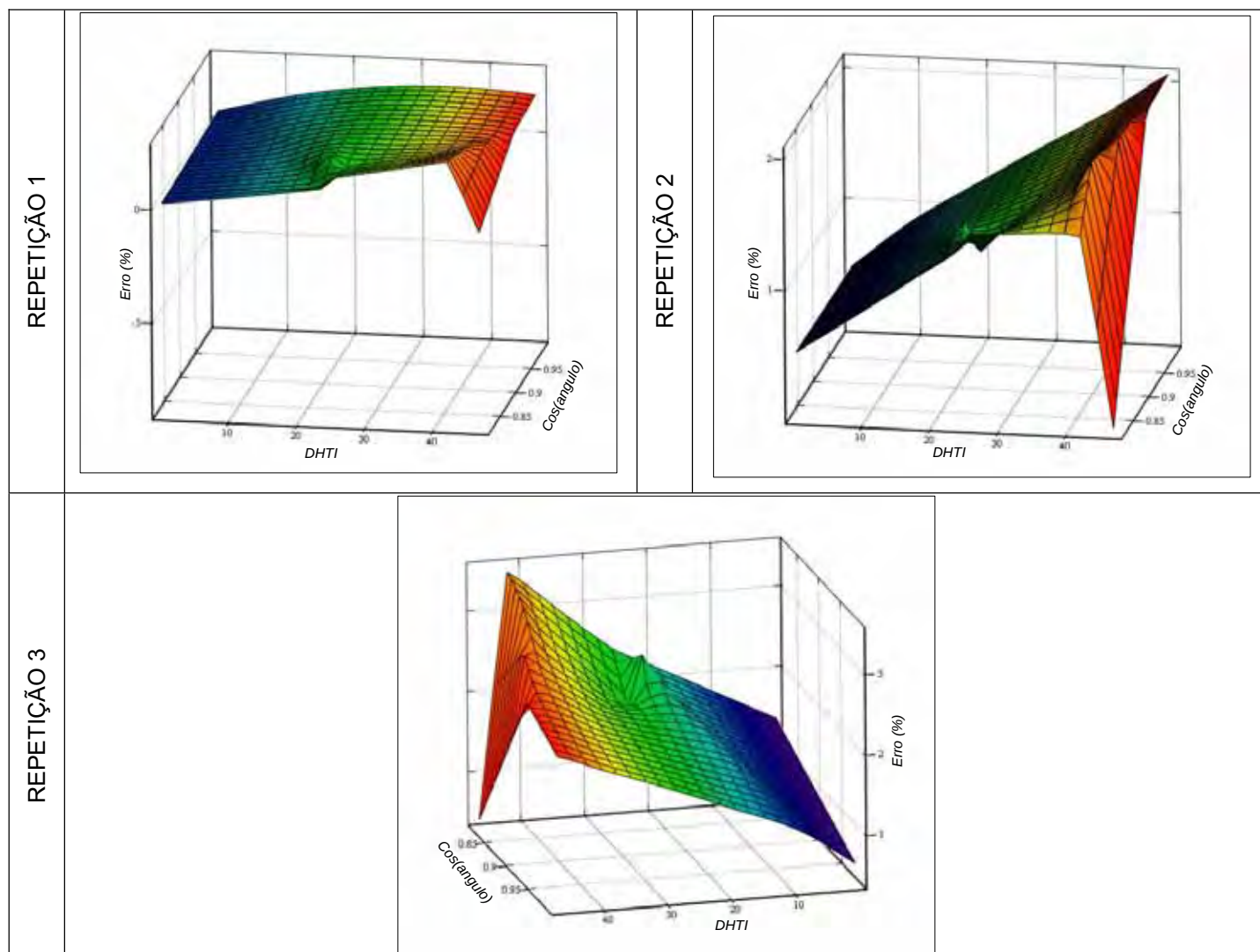


Figura 4.12 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 4, com desequilíbrio de tensão de 5%.

Tabela 4.11 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 5, considerando-se desequilíbrios ($K_d=7,2$)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	DHTV	DHTI	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas
2	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	5%	720	2,84691	6,22958	446,40	461,91	434,13	62
2	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	3%	720	2,19329	2,95784	727,20	735,78	712,10	101
2	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	5%	720	2,43876	6,76518	417,60	437,77	408,07	58
2	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	5%	720	2,40379	4,09473	619,20	631,50	604,92	86
2	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	3%	720	2,34233	3,22899	705,60	714,99	688,88	98
2	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	3%	720	2,58987	4,91475	525,60	540,38	511,92	73
2	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	5%	720	3,05336	4,89982	525,60	538,05	511,78	73
2	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	3%	720	2,29776	3,07996	712,80	722,08	698,13	99

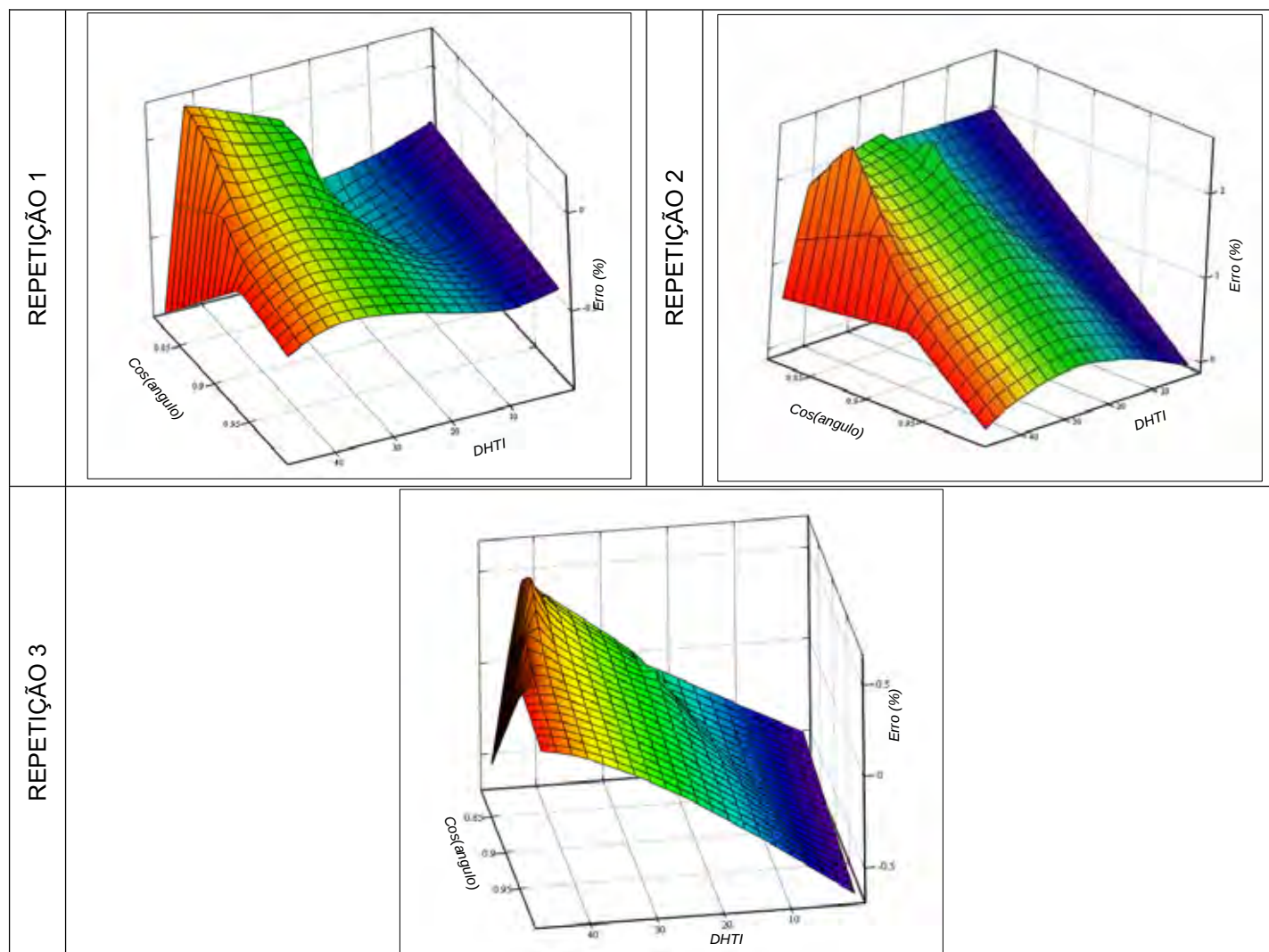


Figura 4.13 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 5, com desequilíbrio de tensão de 3%.

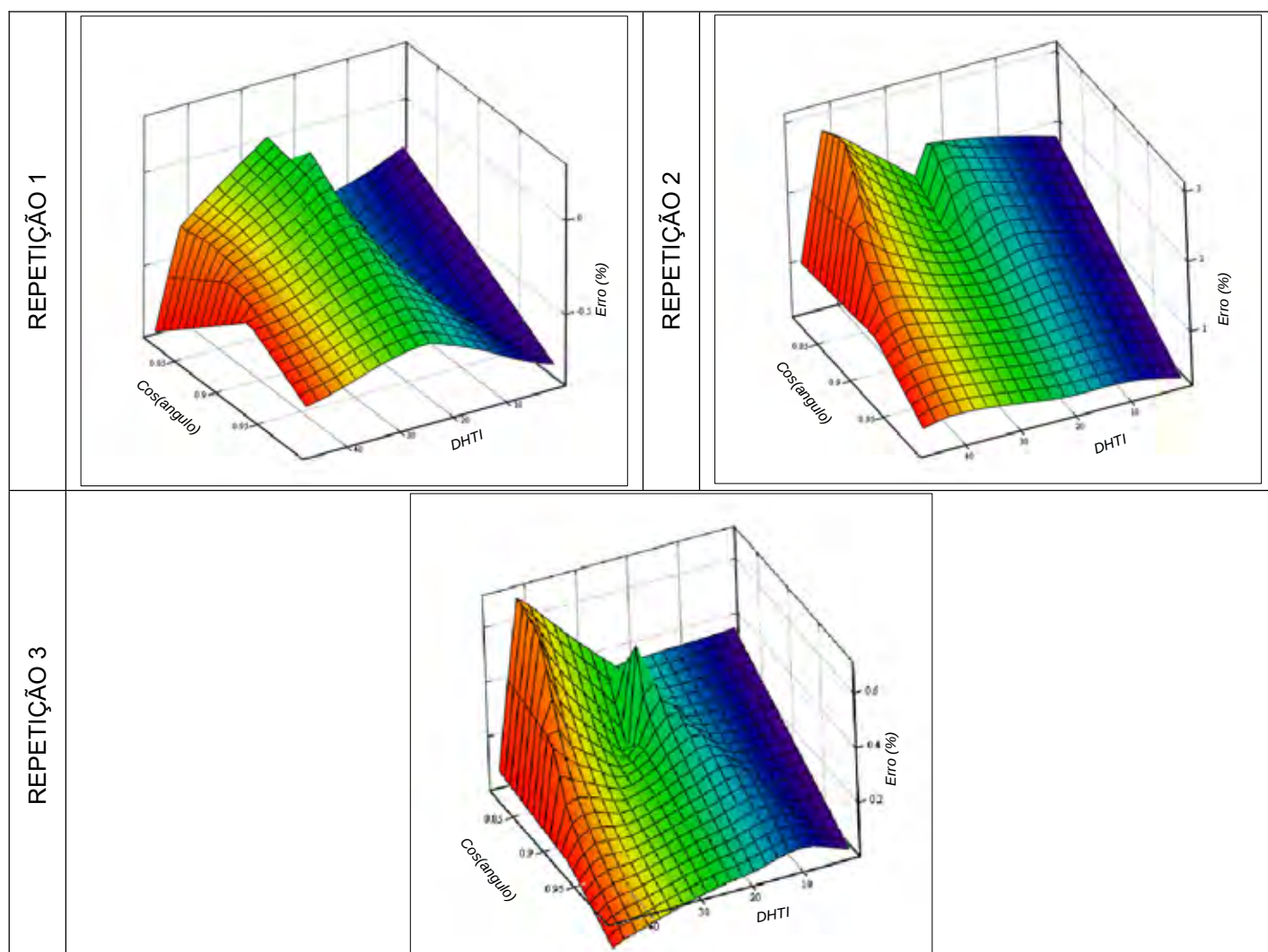


Figura 4.14 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 5, com desequilíbrio de tensão de 5%.

Na análise dos dados referentes aos ensaios dos medidores submetidos a distorções harmônicas na corrente e na tensão em um sistema desequilibrado, pode-se perceber que os erros na medição também tornam-se maiores de acordo com o aumento do nível de distorção harmônica da corrente. Os resultados que apresentaram erros superiores a $\pm 2\%$, ou seja, erros superiores aos permitidos pela classe de exatidão dos medidores, foram aqueles quando os medidores foram submetidos aos ensaios com os perfis de corrente BI2, TI1 e TI3, perfis estes que apresentam nível de distorção harmônica de 42,3%, 46,8% e 24,7%, respectivamente. Com a imposição dos desequilíbrios, erros superiores a 2% tornaram-se mais presentes e de maiores amplitudes. De maneira geral, observou-se que quanto maior os desequilíbrios entre tensões, maiores são os erros. Entretanto,

esta tendência não foi verificada para todos os pares de perfis de tensões e correntes, ocorrendo exceções a esta tendência geral, em alguns casos. Assim como no sistema equilibrado, tanto para os bifásicos, quanto para os trifásicos, considerando-se as reduzidas distorções harmônicas nas tensões ensaiadas, os erros foram apresentados em função da distorção harmônica de corrente total e do cosseno do ângulo entre os perfis de tensão e corrente, uma vez que estes dois parâmetros foram verificados como sendo de maior significância para a análise dos erros de medição dos medidores de energia elétrica ativa, tipo indução. Observou-se também que, com o aumento do nível de distorção harmônica da corrente, o erro tende a aumentar de forma negativa, ou seja, o medidor tipo indução registra valores menores que os registrados pelo medidor padrão selecionado, considerando-se as distorções harmônicas analisadas.

4.2.4 - Erros em Medidores Tipo Indução Trifásicos, Considerando-se Desequilíbrio

As tabelas 4.12 até 4.15 apresentam os resultados das medições nos medidores trifásicos, referentes aos cenários admitidos para o sistema desequilibrado, considerando-se apenas os erros que ultrapassaram o limite admissível de acordo com a classe de exatidão dos medidores ($\pm 2\%$). Os resultados dos ensaios dos medidores das Amostras 6 e 11 não apresentaram erros significativos (inferiores a $\pm 2\%$) e por isso não foram apresentados nesta etapa. As tabelas com os dados referentes aos ensaios de todos os medidores podem ser encontradas no Apêndice da dissertação. Em seguida, apresentam-se os gráficos referentes a todos os ensaios de cada amostra com suas respectivas repetições, apresentado-se tais erros com relação à TDHI e o cosseno do ângulo entre a tensão e a corrente, referente a cada ensaio.

Tabela 4.12 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 7, considerando-se desequilíbrios ($K_d=10,8$).

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	DHTV	DHTI	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas
1	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	3%	720	-2.016541	1.527991	1188.00	1236.53	1215.40	110
1	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	5%	720	-2.718631	1.438270	1177.20	1233.80	1214.40	109
1	INDV2	TRI1	1.89	46.80	53.56	3%	720	-2.315463	2.869148	993.60	1055.96	1024.00	92
1	INDV2	TRI1	1.89	46.80	53.56	5%	720	-2.460800	3.045786	972.00	1035.80	1003.90	90
1	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	3%	720	-2.739122	2.252697	1090.80	1149.94	1122.10	101
1	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	5%	720	-2.485392	2.245270	1090.80	1150.44	1121.80	101

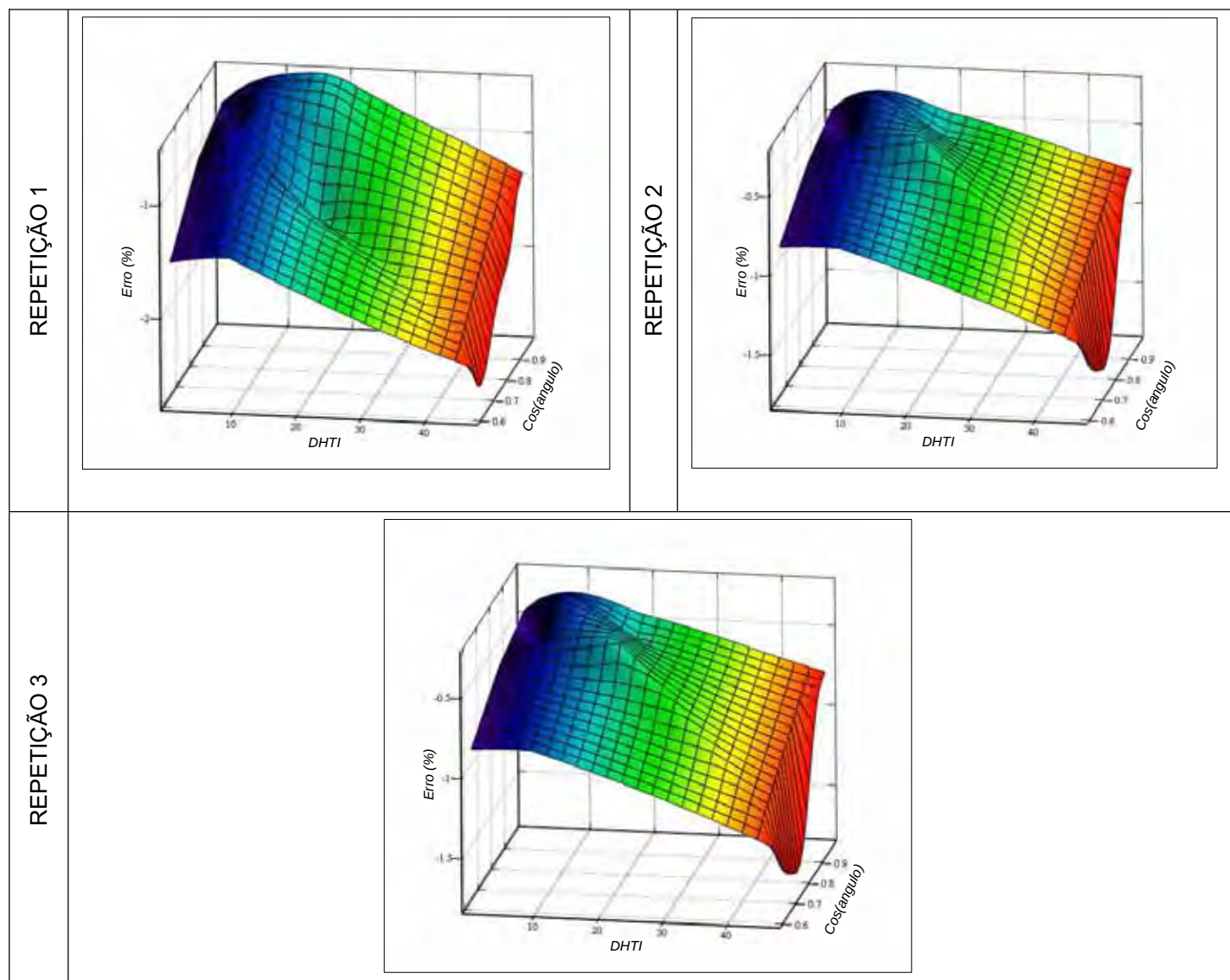


Figura 4.15 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 7, com desequilíbrio de tensão de 3%.

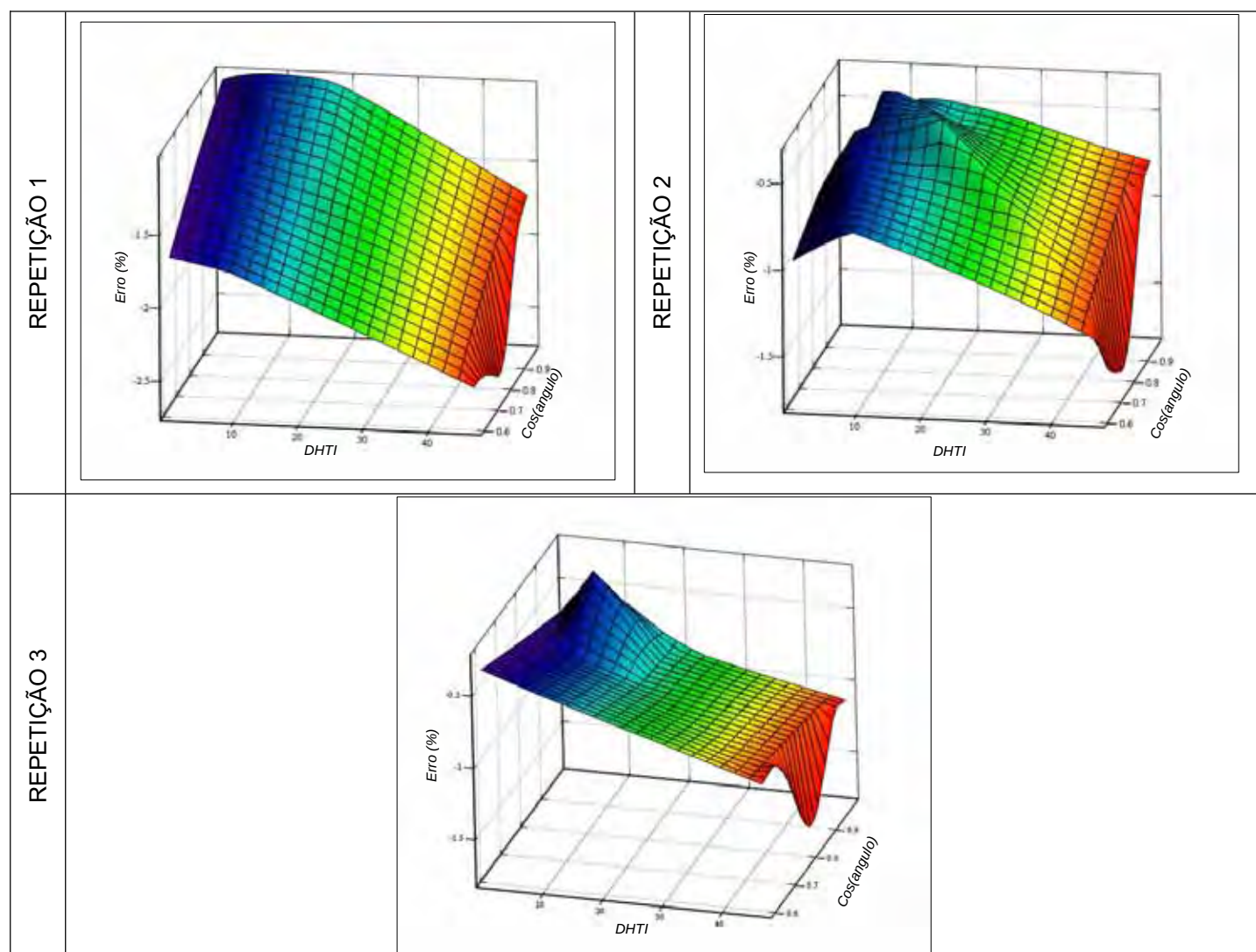


Figura 4.16 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 7, com desequilíbrio de tensão de 5%.

Tabela 4.13 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 8, considerando-se desequilíbrios ($K_d=10,8$)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	DHTV	DHTI	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas
1	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	3%	720	-2.429688	1.354236	1188.00	1234.57	1214.20	110
1	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	5%	720	-2.146877	1.367525	1188.00	1234.66	1215.80	110
2	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	3%	720	-2.374921	1.369360	1188.00	1234.84	1215.10	110
2	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	5%	720	-2.087036	1.410383	1188.00	1235.28	1215.50	110
2	INDV2	TRI1	1.89	46.80	53.56	3%	720	-2.045956	2.935233	1004.40	1055.16	1022.80	93
1	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	3%	720	-2.161358	1.971056	1101.60	1298.34	1126.50	102
2	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	3%	720	-2.355505	2.117809	1080.00	1137.72	1111.30	100
2	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	5%	720	-2.205282	2.217815	1090.80	1149.48	1122.20	101

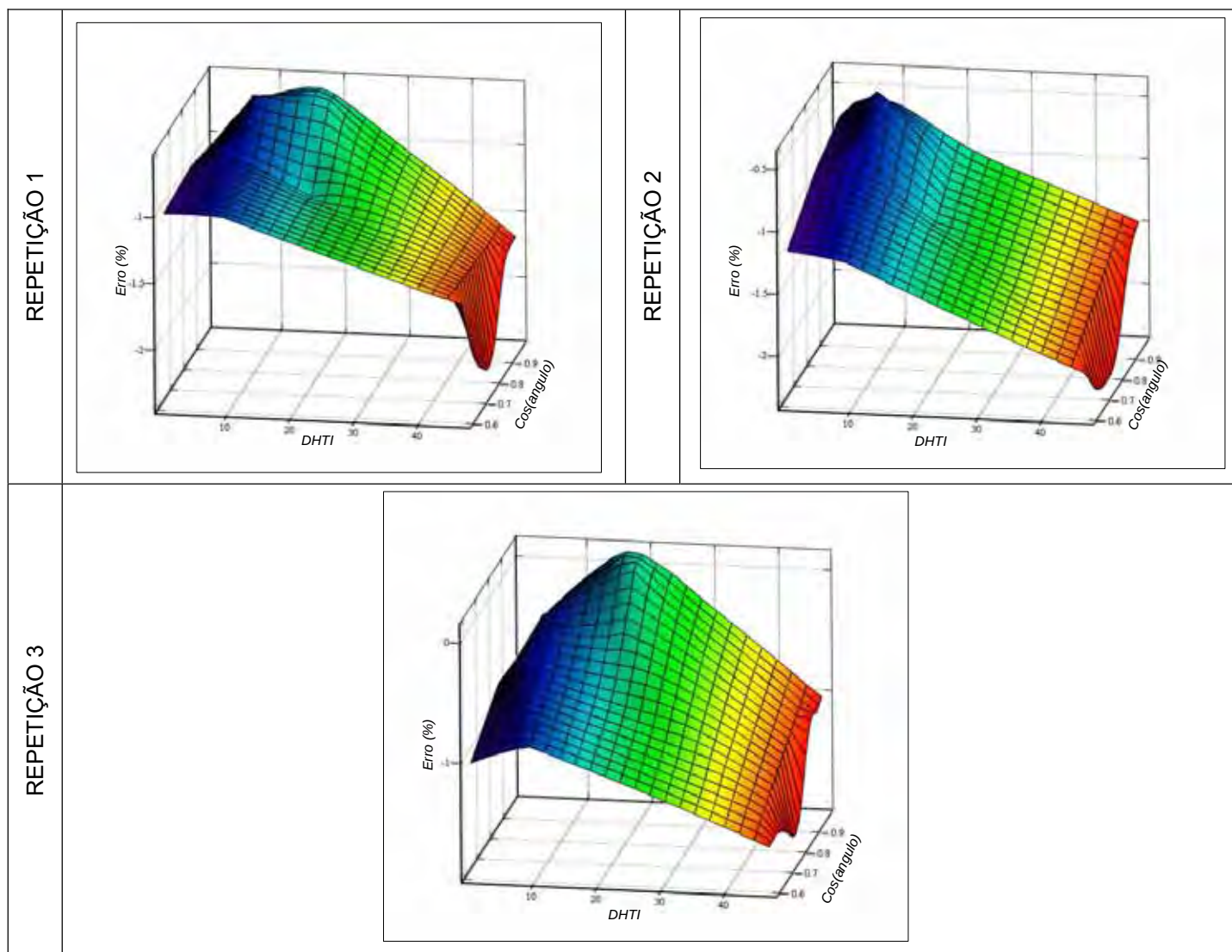


Figura 4.17 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 8, com desequilíbrio de tensão de 3%.

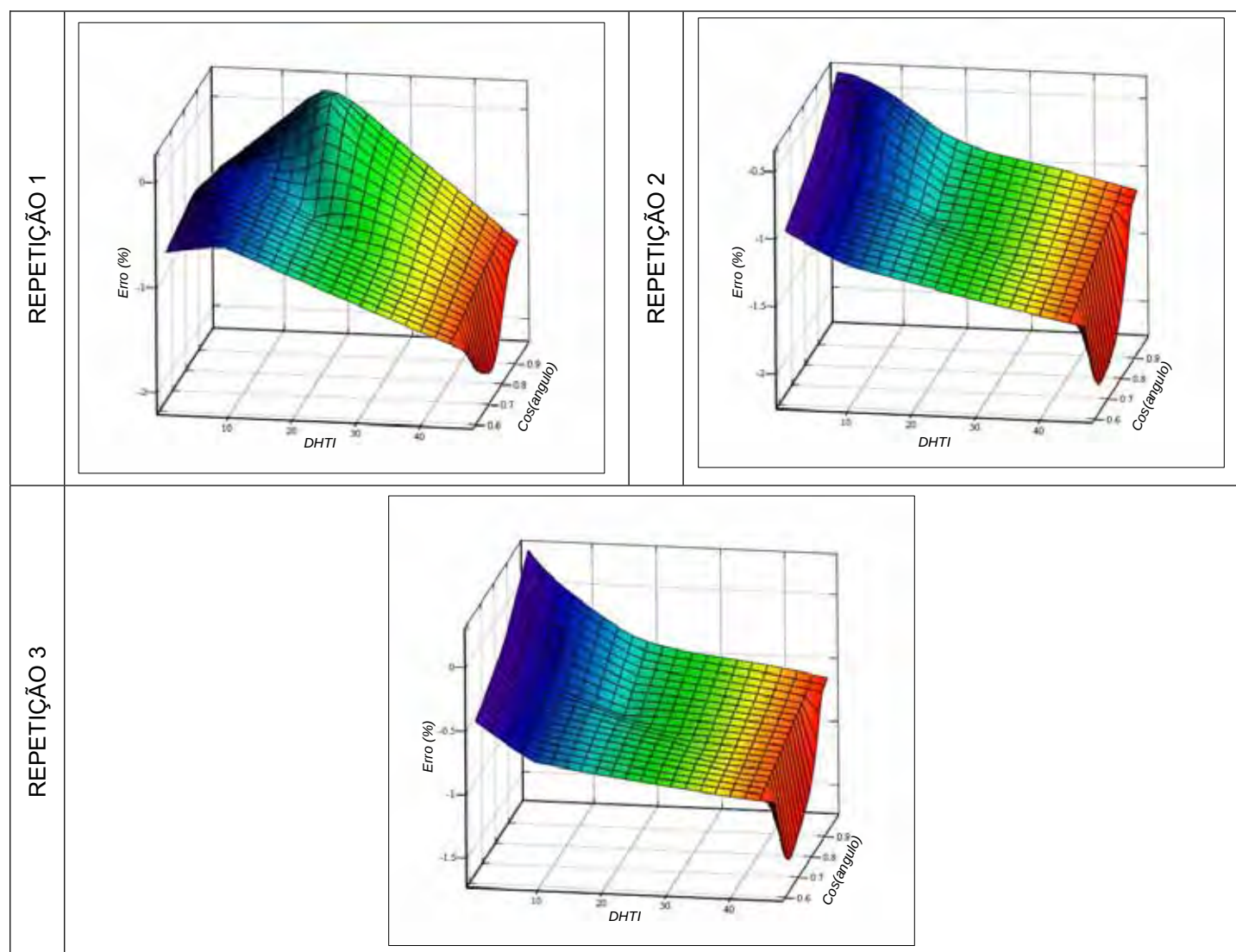


Figura 4.18 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 8 com desequilíbrio de tensão de 5%.

Tabela 4.14 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 9, considerando-se desequilíbrios ($K_d=10,8$).

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	DHTV	DHTI	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas
3	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	3%	720	-2,412191	1,340238	1188,00	1236,95	1216,70	110
3	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	3%	720	-2,104752	3,431949	1026,00	1089,03	1050,50	95
3	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	3%	720	-2,069212	0,626673	1263,60	1303,19	1291,20	117
3	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	3%	720	-2,112925	3,336321	1004,40	1061,33	1022,90	93
3	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	3%	720	-2,259116	2,498799	1090,80	1153,12	1121,80	101
3	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	3%	720	-2,485408	0,734659	1252,80	1301,66	1289,00	116

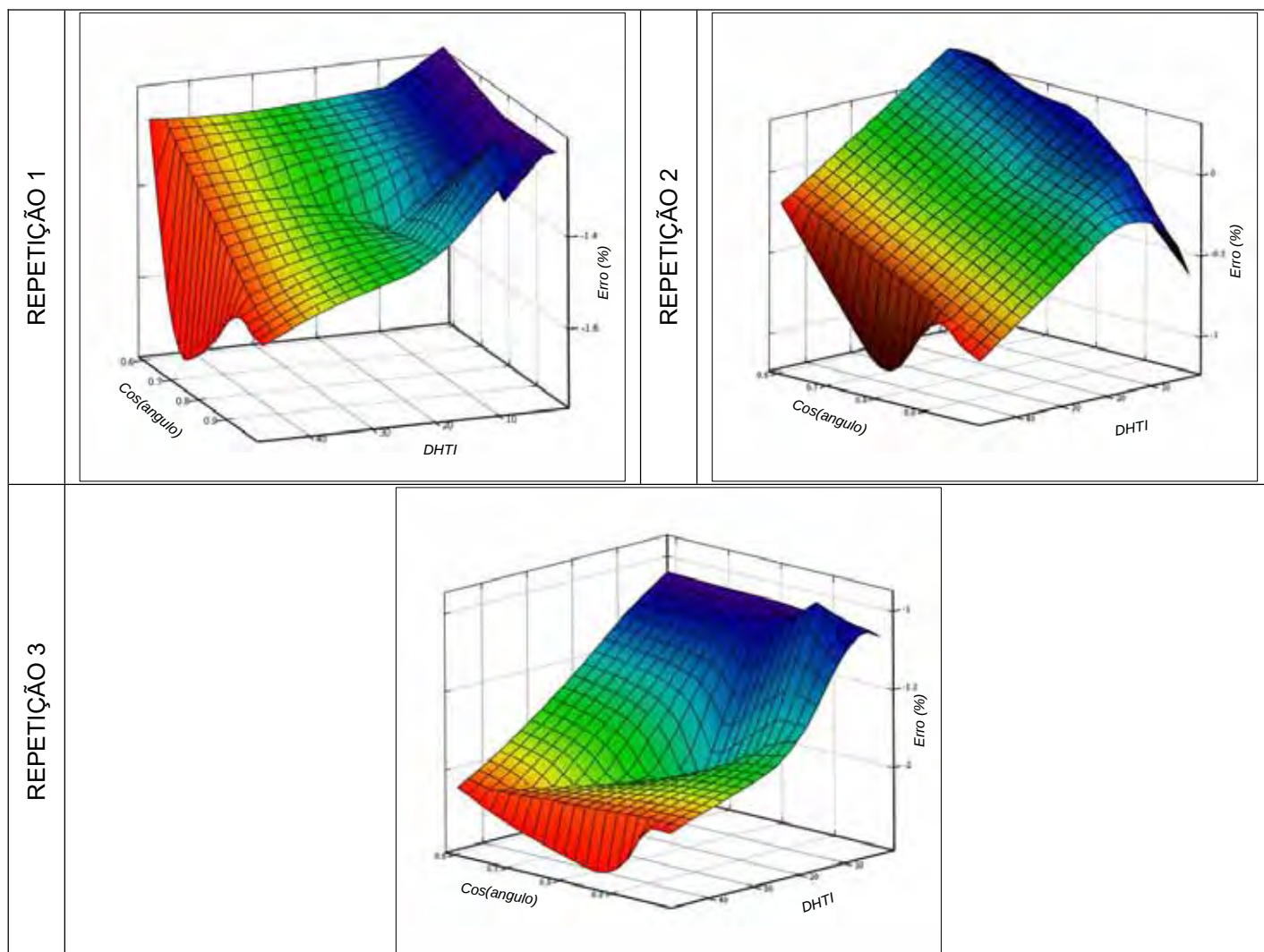


Figura 4.19 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 9, com desequilíbrio de tensão de 3%.

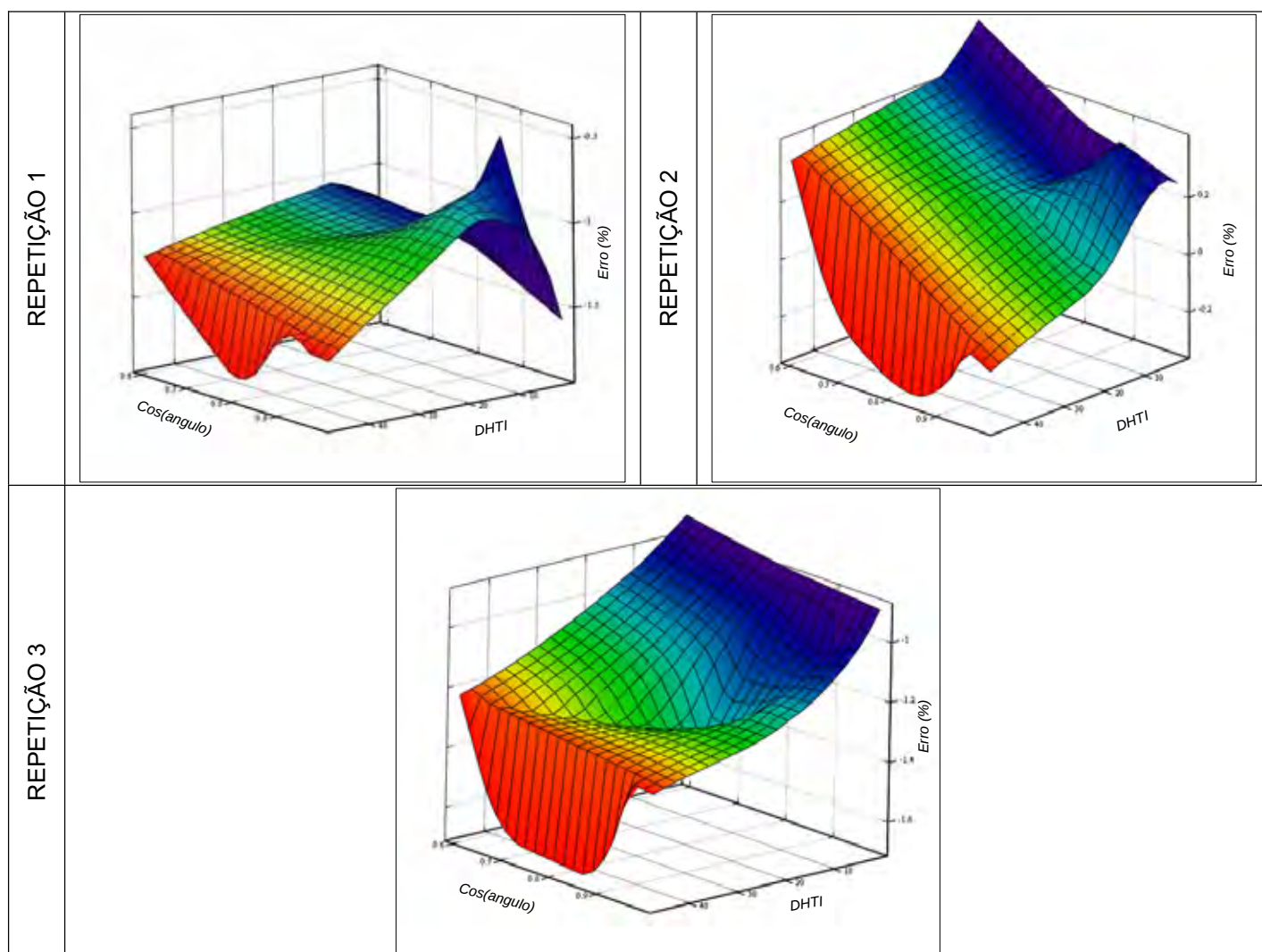


Figura 4.20 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 9, com desequilíbrio de tensão de 5%.

Tabela 4.15 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 10 considerando-se desequilíbrios ($K_d=10,8$).

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	DHTV	DHTI	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas
1	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	3%	720	-2,138938	1,432549	1188,00	1234,61	1215,10	110
1	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	5%	720	-2,064559	1,422138	1188,00	1234,84	1215,30	110
2	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	0%	720	-2,093281	0,465364	1263,60	1299,03	1290,90	117

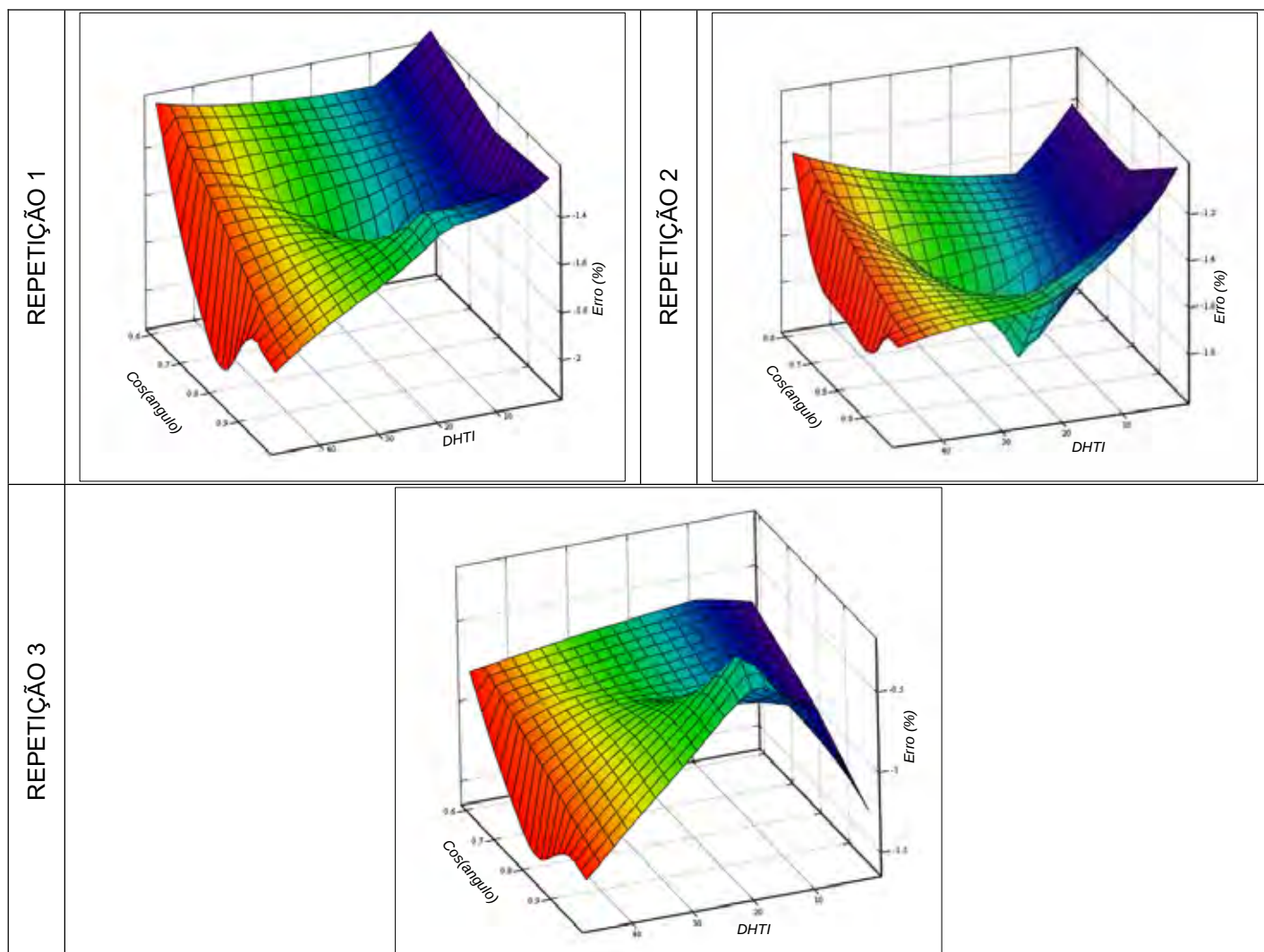


Figura 4.21 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 10, com desequilíbrio de tensão de 3%.

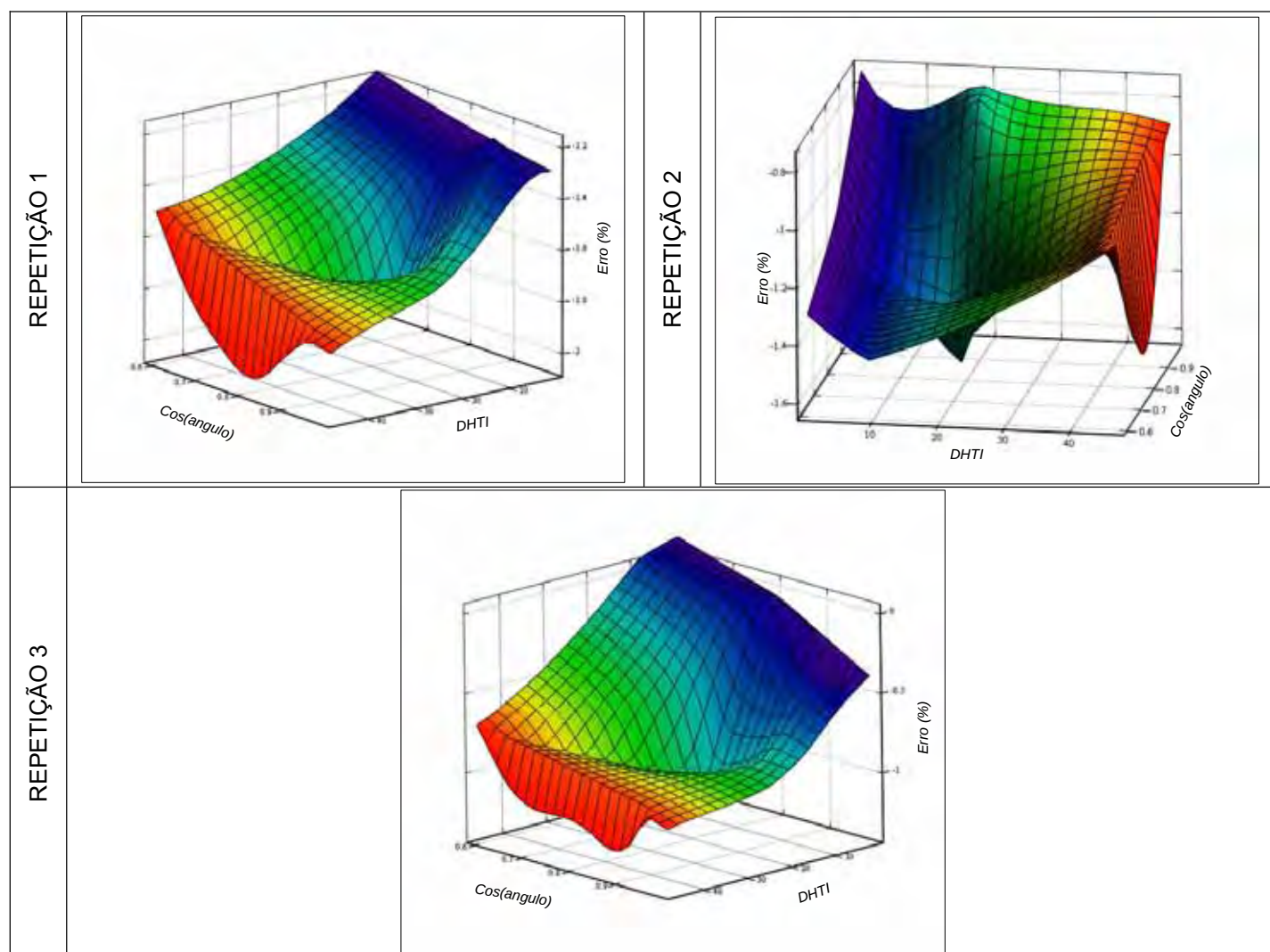


Figura 4.22 - Curvas de erro de medição em função do TDHI e $\cos\Phi$ da Amostra 10, com desequilíbrio de tensão de 5%.

Os resultados que apresentaram erros superiores a $\pm 2\%$, ou seja, erros superiores aos permitidos pela classe de exatidão dos medidores, foram aqueles com perfis com maior nível de distorção harmônica na corrente, ou seja, os ensaios com os perfis de corrente BI2, TRI1 e INDI1, que apresentam nível de distorção harmônica de 46,8% e 18,4%, respectivamente. Com a imposição do desequilíbrio, os erros tornaram-se mais significativos. Mais uma vez, na análise dos gráficos pode-se verificar a tendência do aumento do erro de medição com o aumento do TDHI (distorção harmônica de corrente).

4.3 – Modelação de erros para os medidores bifásicos e trifásicos analisados.

A partir das análises apresentadas e da grande dificuldade de se fazer uma modelação teórica dos medidores de energia elétrica tipo indução, partiu-se para uma abordagem diferenciada. Através dos resultados dos ensaios laboratoriais dos medidores de energia sujeitos as distorções harmônicas nas formas de onda de tensões e correntes, definiram-se os parâmetros mais relevantes referentes aos erros de medição dos medidores, e, com esses dados, pode-se criar um modelo matemático dos erros para cada medidor ensaiado. Desta forma, pode-se analisar o comportamento de cada medidor frente a perfis de tensões e correntes com distintas distorções harmônicas, baseando-se numa modelação comportamental, obtida através dos resultados experimentais apresentados.

Na análise dos resultados, verificou-se que a distorção harmônica dos perfis de tensão pouco influenciou nos erros de medição dos medidores de energia elétrica ativa tipo indução, considerando-se, os limites nas distorções harmônicas das tensões utilizadas nos perfis ensaiados não excederam a 5%. Portanto, este parâmetro não foi levado em consideração na modelação dos erros dos medidores tipo indução analisados. Os parâmetros que realmente influenciaram os erros de medição, considerando-se os limites nas taxas de distorção harmônica das tensões, foram: a distorção harmônica nos perfis de correntes e o ângulo de deslocamento referente à passagem por zero das formas de onda de corrente e tensão, o qual implica diretamente no valor da potência ativa.

A princípio foi feita uma análise estatística dos resultados das medições laboratoriais, para cada medidor, essa análise consistiu na realização de regressões lineares nos conjuntos de dados, considerando cada combinação de perfis de corrente e tensão como um ponto discreto.

O modelo matemático pode ser descrito através das considerações a seguir: Primeiramente, foi montada uma matriz contendo os valores do operador cossenoidal dos ângulos de cada combinação dos perfis de tensão e correntes ensaiados, e também a distorção harmônica de cada perfil de corrente. A matriz para o modelo trifásico pode ser verificada na equação (4.1), em que n é referente ao número de perfis;

$$X = \begin{bmatrix} \theta_1 & \text{ângulo}_1 & (\theta_1 \cdot \text{ângulo}_1)^2 & (\theta_1 \cdot \text{ângulo}_1)^3 & (THDi_1)^2 & THDi_1 \times \theta_1 & \text{ângulo}_1 & 1 \\ \theta_2 & \text{ângulo}_2 & (\theta_2 \cdot \text{ângulo}_2)^2 & (\theta_2 \cdot \text{ângulo}_2)^3 & (THDi_2)^2 & THDi_2 \times \theta_2 & \text{ângulo}_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \theta_n & \text{ângulo}_n & (\theta_n \cdot \text{ângulo}_n)^2 & (\theta_n \cdot \text{ângulo}_n)^3 & (THDi_n)^2 & THDi_n \times \theta_n & \text{ângulo}_n & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

A seguir, foram definidas duas outras matrizes, uma referente aos valores aferidos do medidor submetido aos ensaios e outra referente aos valores aferidos pelo medidor padrão Yokogawa, conforme (4.2) e (4.3);

$$Y_{\text{medidor}} = \begin{bmatrix} Wh_{\text{medidor}_1} \\ Wh_{\text{medidor}_2} \\ \vdots \\ Wh_{\text{medidor}_n} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

$$Y_{\text{yokogawa}} = \begin{bmatrix} Wh_{\text{yokogawa}_1} \\ Wh_{\text{yokogawa}_2} \\ \vdots \\ Wh_{\text{yokogawa}_n} \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Dessas n observações, foi necessário separar em torno de 75% para treino da função e 25% para testes aleatórios. Com os dados de treino, encontra-se a ponderação (peso) através da equação (4.4);

$$w = (X^T \cdot X + \alpha^2 \cdot I)^{-1} \cdot X^T \cdot Y \quad (4.4)$$

Sendo que:

α é um parâmetro a ser otimizado (ele proporciona uma resposta mais confiável e repetível para a análise dos dados).

Observa-se que o treino foi utilizado na equação para encontrar o w , e o teste é utilizado para avaliar um erro para valores diferentes de α . O melhor valor será aquele que apresentar o menor erro de teste.

Definindo a variável w através da equação (4.5), é possível montar a matriz dessa variável;

$$y = a \cdot \theta + b \cdot \text{ângulo} + c \cdot \text{ângulo}^2 + d \cdot THDI^2 + e \cdot THDI \cdot \text{ângulo} + f \quad (4.5)$$

Então, define-se a matriz w :

$$w = [a \ b \ c \ d \ e \ f]^T \quad (4.6)$$

Em seguida, encontram-se as ponderações (pesos) referentes aos dados do medidor de energia elétrica tipo indução e também do medidor padrão Yokogawa.

Os erros estimados dos medidores são dados pela equação (4.7):

$$\hat{E} = \frac{W_{\text{medidor}} - W_{\text{Wyokogawa}}}{W_{\text{Wyokogawa}}} \cdot X + \text{bias} \pm \text{desvio} \quad (4.7)$$

Onde:

$$\text{bias} = \text{média} \left(\text{Erro} - \frac{W_{\text{medidor}} - W_{\text{Wyokogawa}}}{W_{\text{Wyokogawa}}} \cdot X \right) \quad (4.8)$$

$$\text{desvio} = 1,96 \times \text{std} \left(\text{Erro} - \frac{W_{\text{medidor}} - W_{\text{Wyokogawa}}}{W_{\text{Wyokogawa}}} \cdot X \right) \quad (4.9)$$

A análise dos erros dos medidores bifásicos foi feita da mesma maneira, diferenciando-se apenas pela matriz X, onde foi excluída uma coluna, apresentada na equação (4.10).

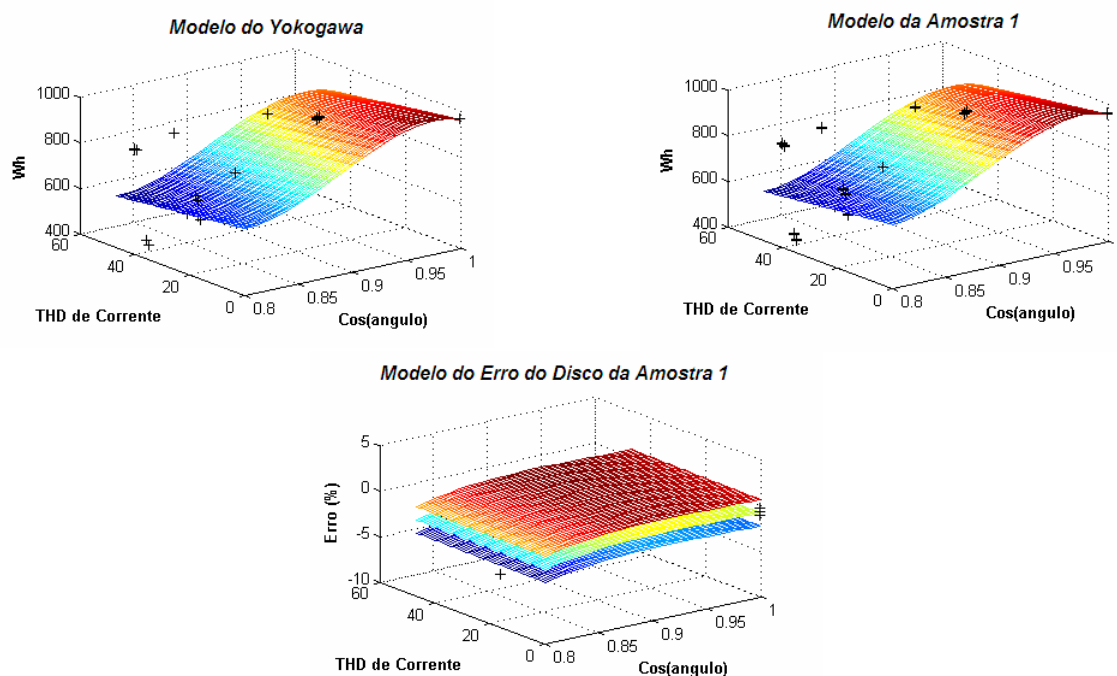
$$X = \begin{bmatrix} \phi \hat{\text{ângulo}}_1 & (\phi \hat{\text{ângulo}}_1)^2 & (\phi \hat{\text{ângulo}}_1)^3 & THDi_1 \times \phi \hat{\text{ângulo}}_1 & 1 \\ \phi \hat{\text{ângulo}}_2 & (\phi \hat{\text{ângulo}}_2)^2 & (\phi \hat{\text{ângulo}}_2)^3 & THDi_2 \times \phi \hat{\text{ângulo}}_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \phi \hat{\text{ângulo}}_n & (\phi \hat{\text{ângulo}}_n)^2 & (\phi \hat{\text{ângulo}}_n)^3 & THDi_n \times \phi \hat{\text{ângulo}}_n & 1 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Consequentemente, a equação não terá o coeficiente “d” que também não aparecerá o vetor coluna “w”.

4.3.1 – Apresentação dos Modelos dos Erros dos Medidores Analisados

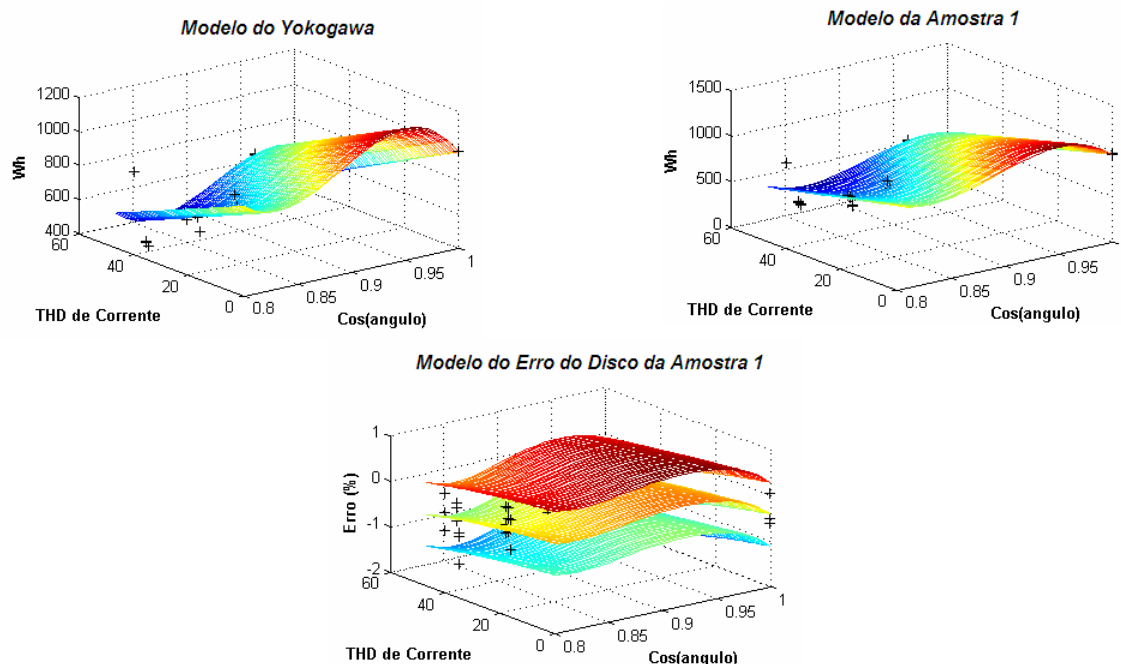
Apresentado o algoritmo para a elaboração da modelação dos erros dos medidores de energia elétrica ativa tipo indução, apresentam-se os resultados para os modelos do medidor padrão e dos medidores ensaiados. Os resultados são apresentados na forma de gráficos de superfície tridimensional, relacionando-se com as variáveis consideradas, ou sejam, a distorção harmônica total de corrente e o operador cossenoidal do ângulo de defasagem entre tensão e corrente. Nestas figuras apresentam-se os pontos obtidos através dos ensaios experimentais e o comportamento do plano determinado pela modelação. Adicionalmente, na apresentação da superfície relacionada com o erro percentual são apresentados três planos, que representam a região do índice de confiança (IC) adotado para os modelos (IC(95%)). Desta maneira, a região compreendida entre os planos limites inferior e superior, foi capaz de representar 95% do conjunto dos pontos testados.

As figuras 4.23 até 4.55 correspondem aos modelos do erro do disco para cada amostra de medidor bifásico e trifásico, considerando sistema equilibrado e desequilibrado.



$$\begin{aligned}
 \text{Erro} = & 0,068314 + \frac{7166 \cdot \cos(\text{angulo}) + 25920 \cdot \cos^2(\text{angulo}) + 2282 \cdot \cos^3(\text{angulo}) -}{-249096 \cdot \cos(\text{angulo}) + 283587 \cdot \cos^2(\text{angulo}) + 106561 \cdot \cos^3(\text{angulo}) - 73087 \cdot \text{TDHI} +} \\
 & IC_{95\%} = \pm 1,458
 \end{aligned}$$

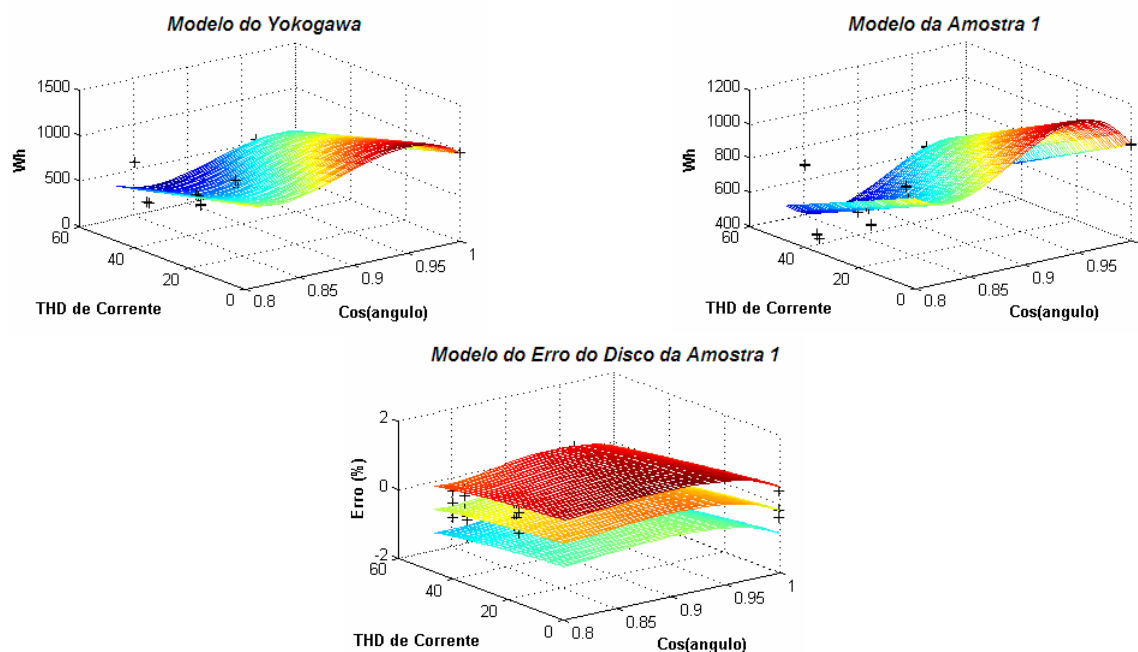
Figura 4.23 – Modelo do erro do disco da Amostra 1 com sistema equilibrado.



$$\text{Erro} = -0,053495 + \frac{-10979 \cdot (\text{angulo}) + 12621 \cdot (\text{angulo})^2 - 4819 \cdot (\text{angulo})^3 +}{-864526 \cdot (\text{angulo}) + 975263 \cdot (\text{angulo})^2 - 365055 \cdot (\text{angulo})^3 - 255288 \cdot \text{TDHI} +}$$

$$IC_{95\%} = \pm 0,70063$$

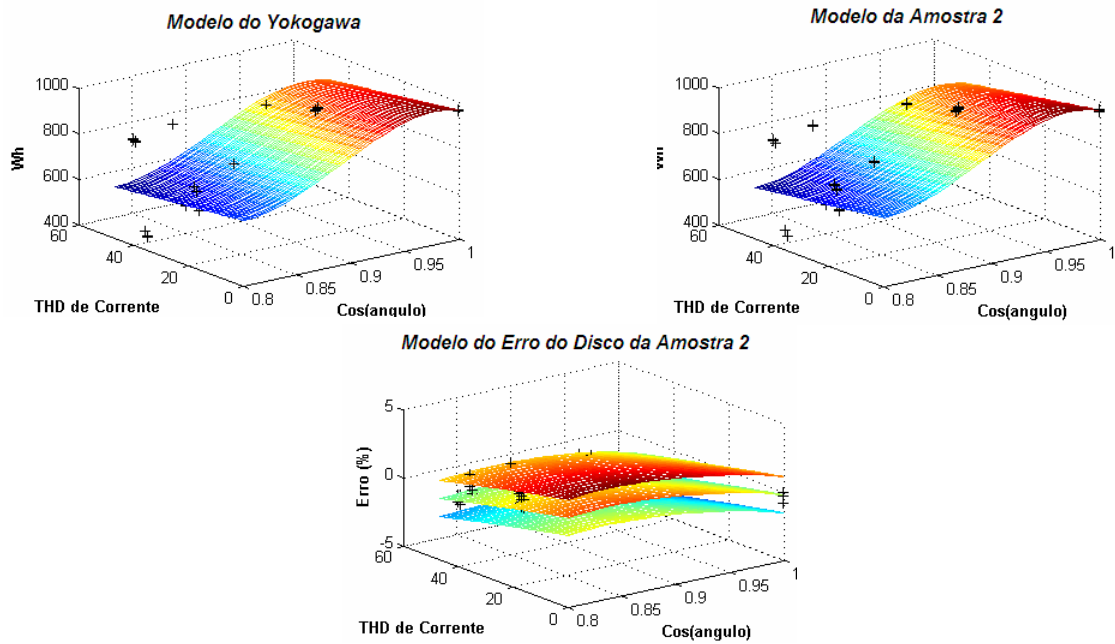
Figura 4.24 – Modelo do erro do disco da Amostra 1 com 3% de desequilíbrio de Tensão.



$$\text{Erro} = -0,095069 + \frac{-9072 \cdot (\text{angulo}) + 10541 \cdot (\text{angulo})^2 - 4066 \cdot (\text{angulo})^3 +}{-867447 \cdot (\text{angulo}) + 978362 \cdot (\text{angulo})^2 - 366144 \cdot (\text{angulo})^3 - 256187 \cdot \text{TDHI} +}$$

$$IC_{95\%} = \pm 0,68516$$

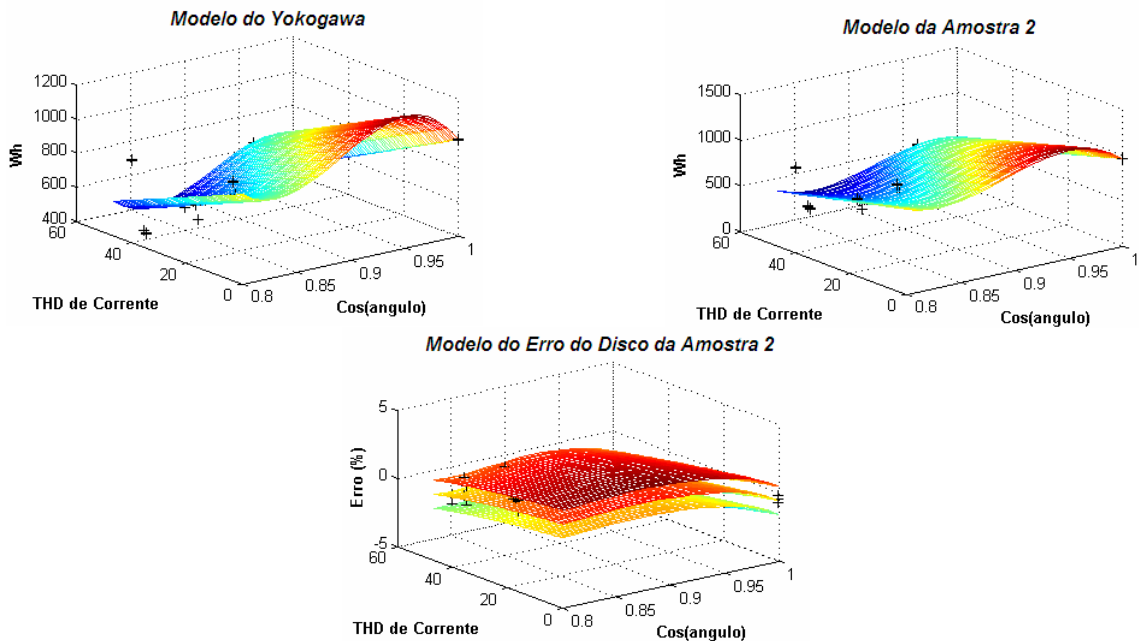
Figura 4.25 – Modelo do erro do disco da Amostra 1 com 5% de desequilíbrio de Tensão.



$$\text{Erro} = -0,011113 + \frac{-3155 \cdot \left(\frac{\text{THD de Corrente}}{100} \right) + 1238 \cdot \left(\frac{\text{THD de Corrente}}{100} \right)^2 - 0,776 \cdot \text{angulo}^3 +}{-248358 \cdot \left(\frac{\text{THD de Corrente}}{100} \right) + 122439 \cdot \left(\frac{\text{THD de Corrente}}{100} \right)^2 - 0,2 \cdot \text{angulo}^3 - 72897 \cdot \text{angulo} \cdot \text{TDHI} +}$$

$$IC_{95\%} = \pm 1,33$$

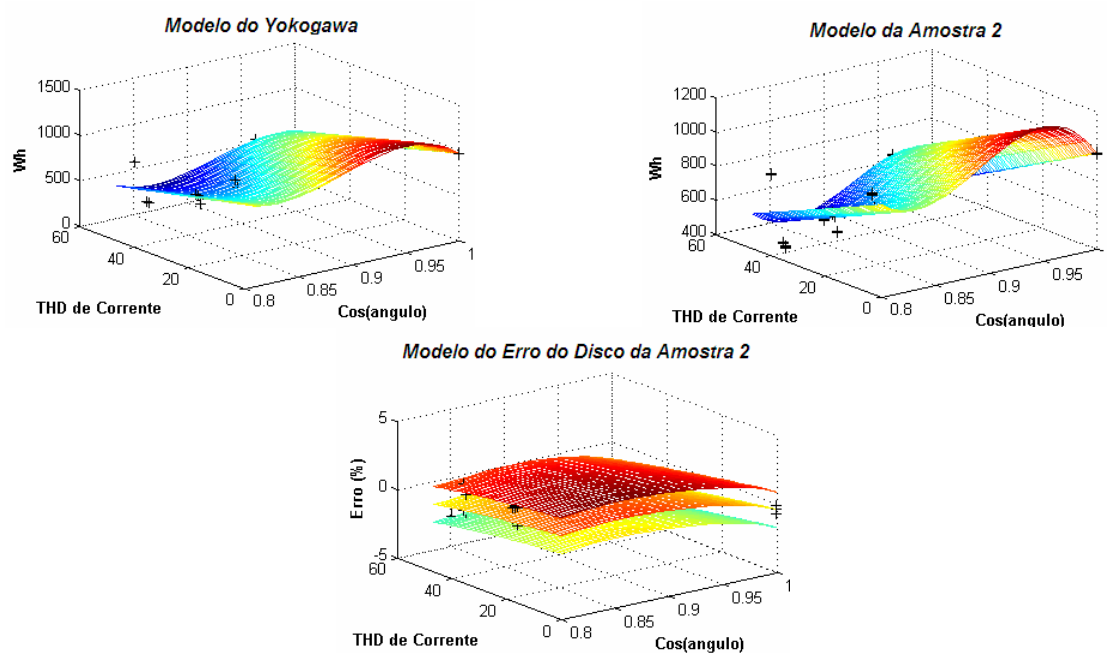
Figura 4.26 – Modelo do erro do disco da Amostra 2 com sistema equilibrado.



$$\text{Erro} = -0,070132 + \frac{-19286 \cdot \left(\frac{\text{THD de Corrente}}{100} \right) + 22603 \cdot \left(\frac{\text{THD de Corrente}}{100} \right)^2 - 0,5482 \cdot \text{angulo}^3 +}{-863542 \cdot \left(\frac{\text{THD de Corrente}}{100} \right) + 174800 \cdot \left(\frac{\text{THD de Corrente}}{100} \right)^2 - 0,9 \cdot \text{angulo}^3 - 254058 \cdot \text{angulo} \cdot \text{TDHI} +}$$

$$IC_{95\%} = \pm 1,0332$$

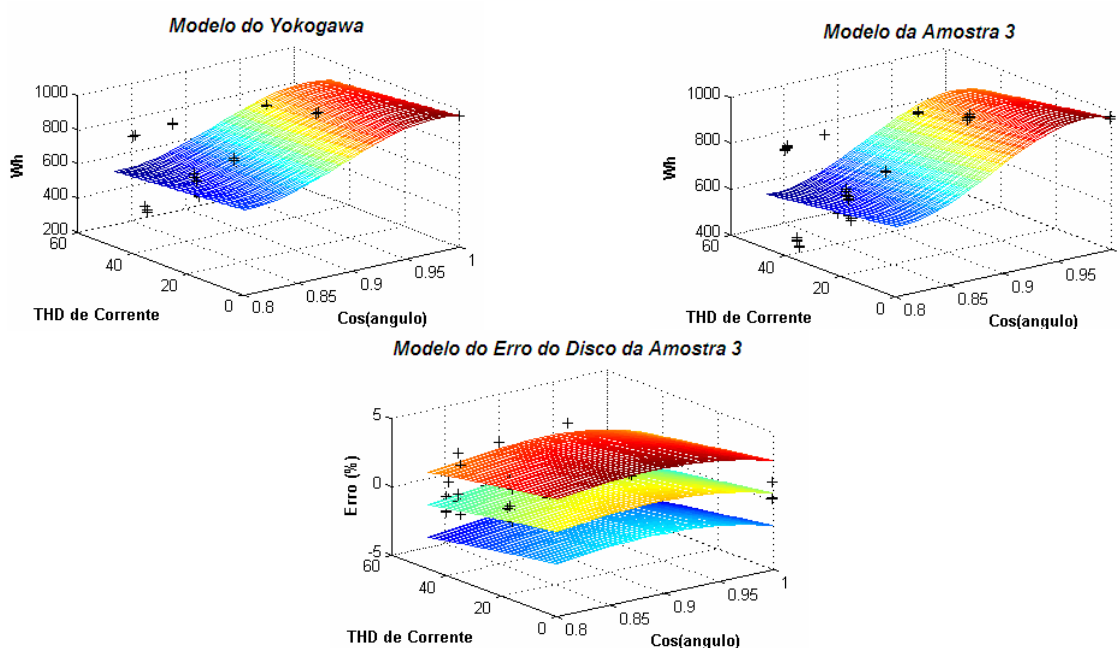
Figura 4.27 – Modelo do erro do disco da Amostra 2 com 3% de desequilíbrio de Tensão.



$$\text{Erro} = 0,01699 + \frac{-9507 \cdot \cos(\text{angulo}) + 1537 \cdot (\cos(\text{angulo})^2 - 1) \cdot 2611 \cdot \text{angulo}^3 +}{-880463 \cdot \cos(\text{angulo}) + 93480 \cdot (\cos(\text{angulo})^2 - 1) \cdot 37148 \cdot \text{angulo}^3 - 259998 \cdot \text{angulo} \cdot \text{TDHI} +}$$

$$IC_{95\%} = \pm 1,3106$$

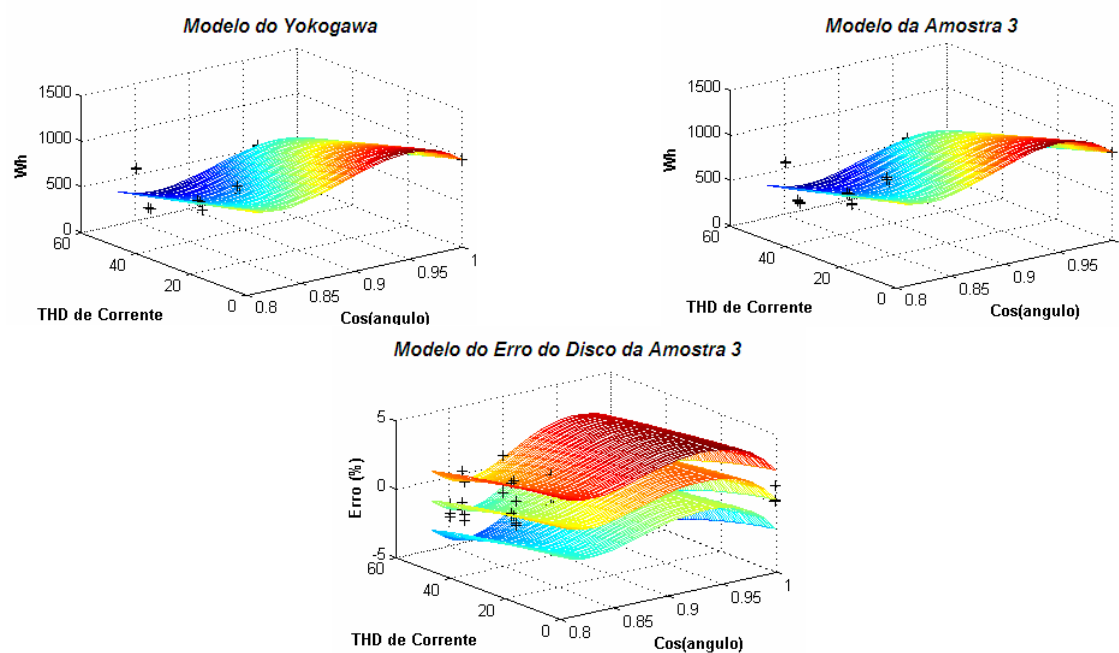
Figura 4.28 – Modelo do erro do disco da Amostra 2 com 5% de desequilíbrio de Tensão.



$$\text{Erro} = -0,23542 + \frac{-9377 \cdot \cos(\text{angulo}) + 1272 \cdot (\cos(\text{angulo})^2 - 1) \cdot 2591 \cdot \text{angulo}^3 +}{-268485 \cdot \cos(\text{angulo}) + 3945 \cdot (\cos(\text{angulo})^2 - 1) \cdot 11366 \cdot \text{angulo}^3 - 79144 \cdot \text{angulo} \cdot \text{TDHI} +}$$

$$IC_{95\%} = \pm 2,388$$

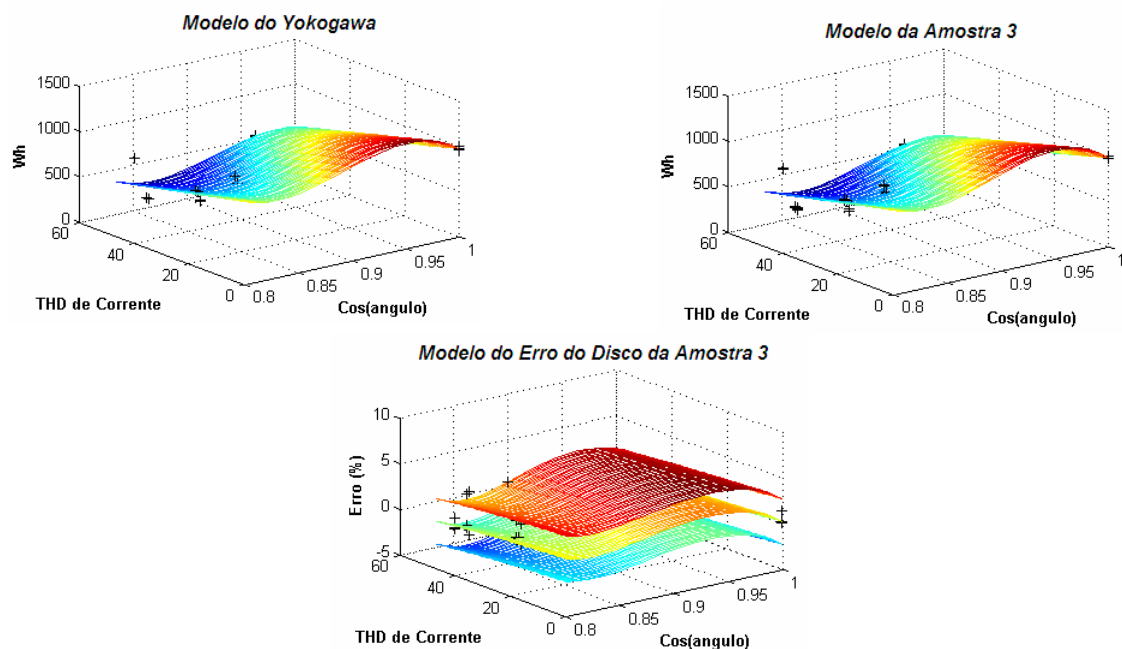
Figura 4.29 – Modelo do erro do disco da Amostra 3 com sistema equilibrado.



$$\text{Erro} = -0,28874 + \frac{-82527 \cdot \text{angulo} + 93740 \cdot (\text{angulo})^2 - 24149 \cdot (\text{angulo})^3 +}{-863176 \cdot \text{angulo} + 73820 \cdot (\text{angulo})^2 - 36454 \cdot (\text{angulo})^3 - 254866 \cdot \text{TDHI} +}$$

$$IC_{95\%} = \pm 2,151$$

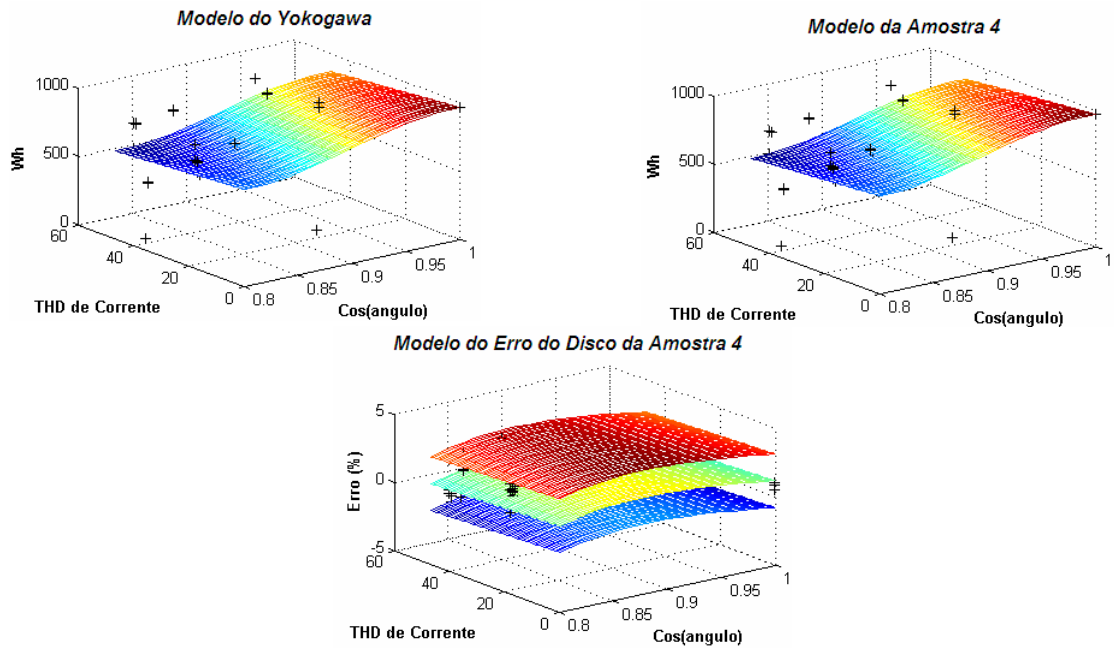
Figura 4.30 – Modelo do erro do disco da Amostra 3 com 3% de desequilíbrio de Tensão.



$$\text{Erro} = -0,31749 + \frac{-72924 \cdot \text{angulo} + 82972 \cdot (\text{angulo})^2 - 21301 \cdot (\text{angulo})^3 +}{-838334 \cdot \text{angulo} + 45203 \cdot (\text{angulo})^2 - 35358 \cdot (\text{angulo})^3 - 247689 \cdot \text{TDHI} +}$$

$$IC_{95\%} = \pm 2,499$$

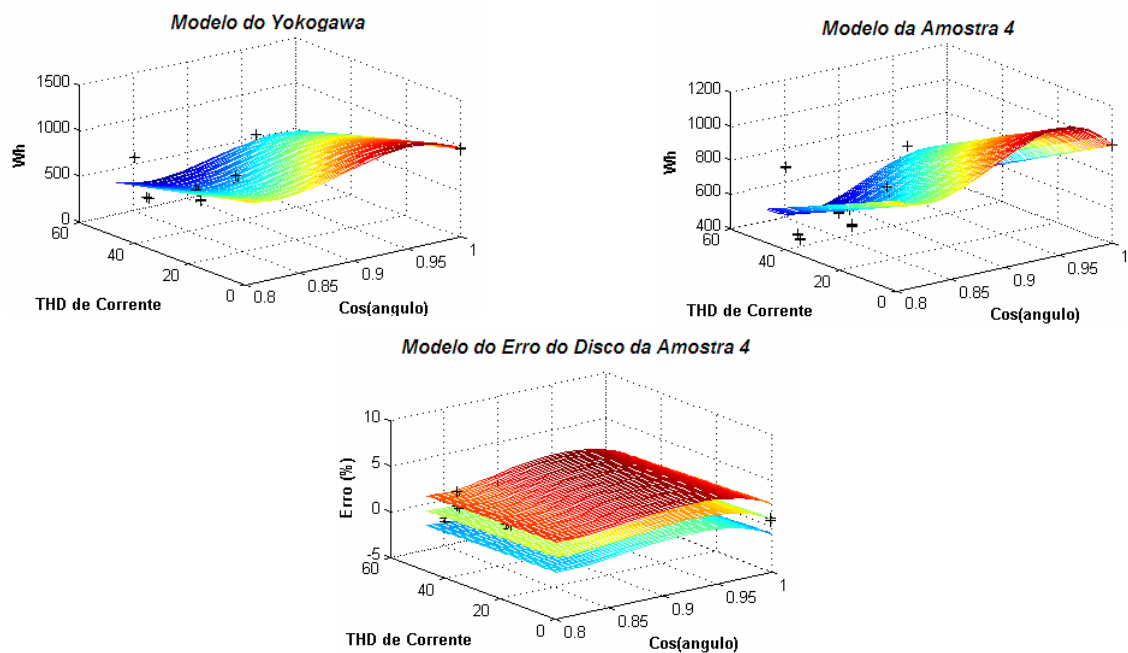
Figura 4.31 – Modelo do erro do disco da Amostra 3 com 5% de desequilíbrio de Tensão.



$$\text{Erro} = 0,23552 + \frac{1154 \cdot \cos(\text{angulo}) - 1582 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 520 \cdot \cos^3(\text{angulo})}{-193317 \cdot \cos(\text{angulo}) + 217795 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 80928 \cdot \cos^3(\text{angulo}) - 57446 \cdot \text{TDHI} + 116000 \cdot \text{TDHI}^2}$$

$$IC_{95\%} = \pm 1,9739$$

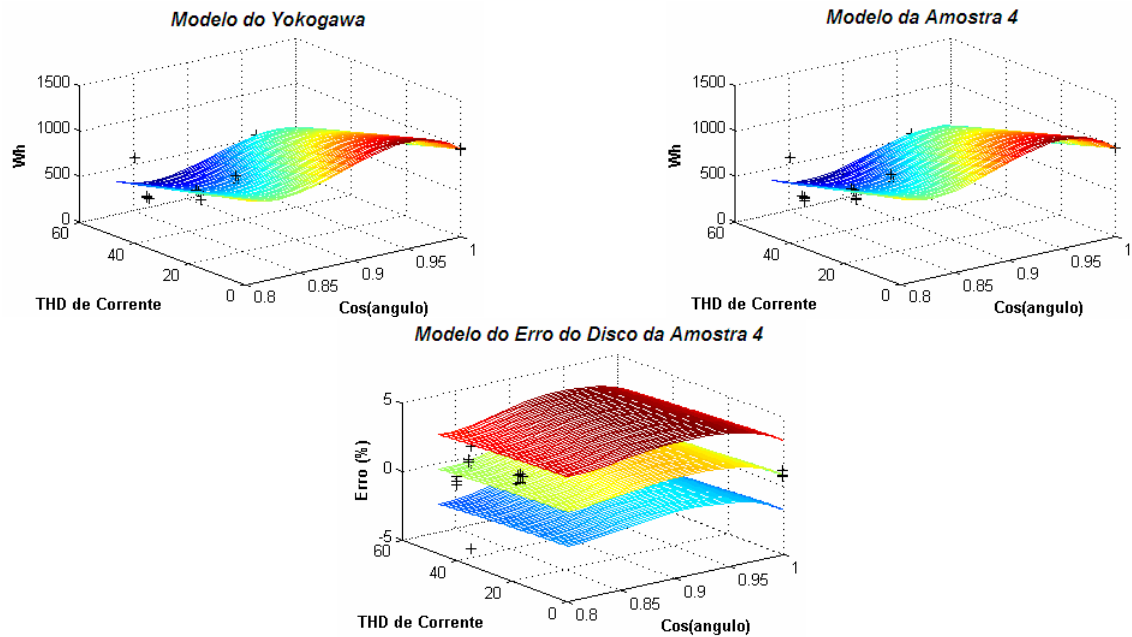
Figura 4.32 – Modelo do erro do disco da Amostra 4 com sistema equilibrado.



$$\text{Erro} = 0,025646 + \frac{-47018 \cdot \cos(\text{angulo}) + 53942 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 20520 \cdot \cos^3(\text{angulo})}{-653800 \cdot \cos(\text{angulo}) + 7370 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 275890 \cdot \cos^3(\text{angulo}) - 193269 \cdot \text{TDHI} + 20520 \cdot \text{TDHI}^2}$$

$$IC_{95\%} = \pm 1,6527$$

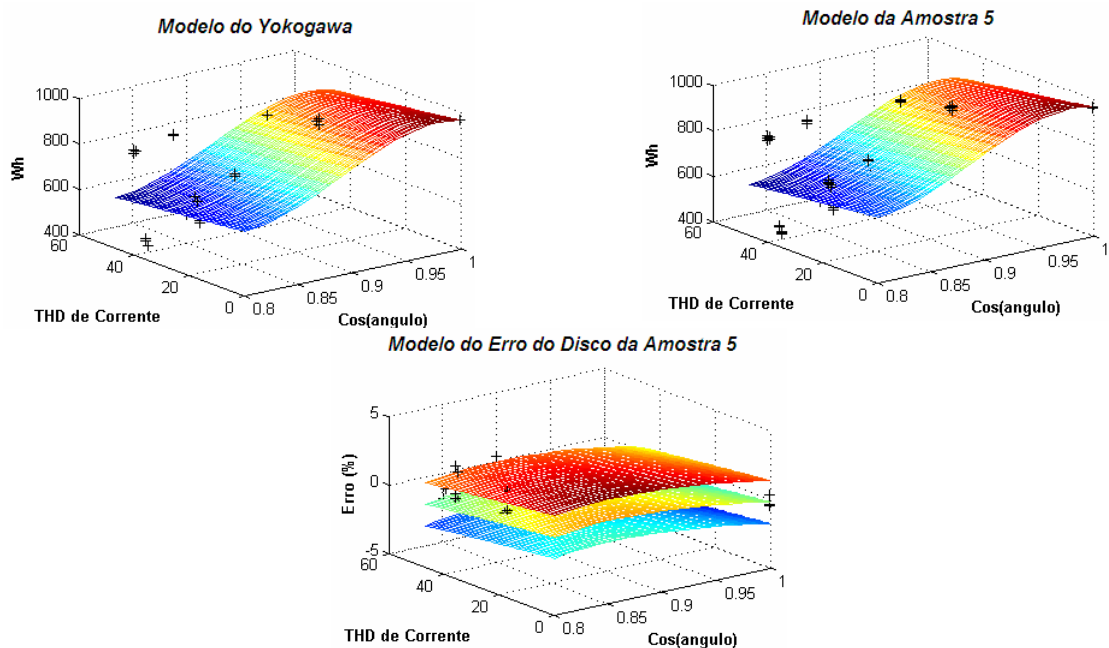
Figura 4.33 – Modelo do erro do disco da Amostra 4 com 3% de desequilíbrio de Tensão.



$$\text{Erro} = -0,047052 + \frac{-36350 \cdot \cos(\text{angulo}) + 11878 \cdot (\cos(\text{angulo}) - 0,9) + 16011 \cdot (\cos(\text{angulo}) - 0,9)^2 - 10491 \cdot \text{angulo}^3 +}{-868674 \cdot \cos(\text{angulo}) + 979870 \cdot (\cos(\text{angulo}) - 0,9) + 366758 \cdot (\cos(\text{angulo}) - 0,9)^2 - 9 \cdot \text{angulo}^3 - 256530 \cdot \text{angulo} \cdot \text{TDHI} +}$$

$$IC_{95\%} = \pm 2,5379$$

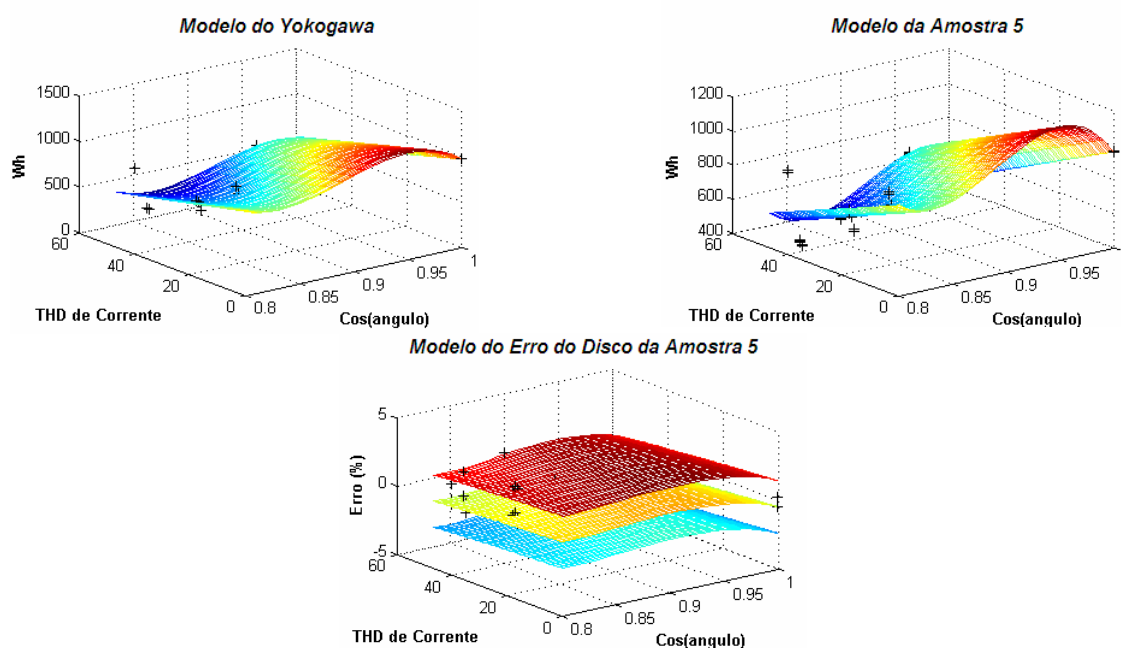
Figura 4.34 – Modelo do erro do disco da Amostra 4 com 5% de desequilíbrio de Tensão.



$$\text{Erro} = -0,19854 + \frac{288 \cdot \cos(\text{angulo}) + 266 \cdot (\cos(\text{angulo}) - 0,9) + 228 \cdot (\cos(\text{angulo}) - 0,9)^2 - 226 \cdot \text{angulo}^3 -}{-229144 \cdot \cos(\text{angulo}) + 260711 \cdot (\cos(\text{angulo}) - 0,9) + 97843 \cdot (\cos(\text{angulo}) - 0,9)^2 - 2 \cdot \text{angulo}^3 - 67244 \cdot \text{angulo} \cdot \text{TDHI} +}$$

$$IC_{95\%} = \pm 1,5738$$

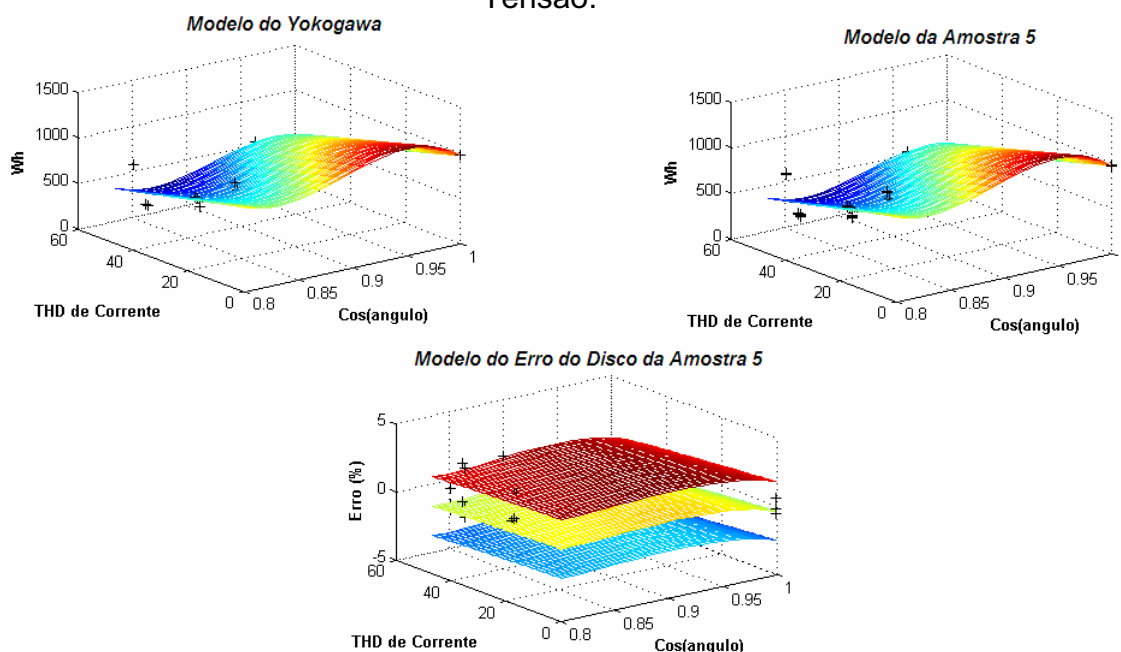
Figura 4.35 – Modelo do erro do disco da Amostra 5 com sistema equilibrado.



$$\text{Erro} = -0,24193 + \frac{-20729 \cdot \cos(\text{angulo}) + 24090 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 5954 \cdot \cos^3(\text{angulo})}{-857130 \cdot \cos(\text{angulo}) + 167432 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 362083 \cdot \cos^3(\text{angulo}) - 253049 \cdot \text{TDHI} + 10149}$$

$$IC_{95\%} = \pm 1,9222$$

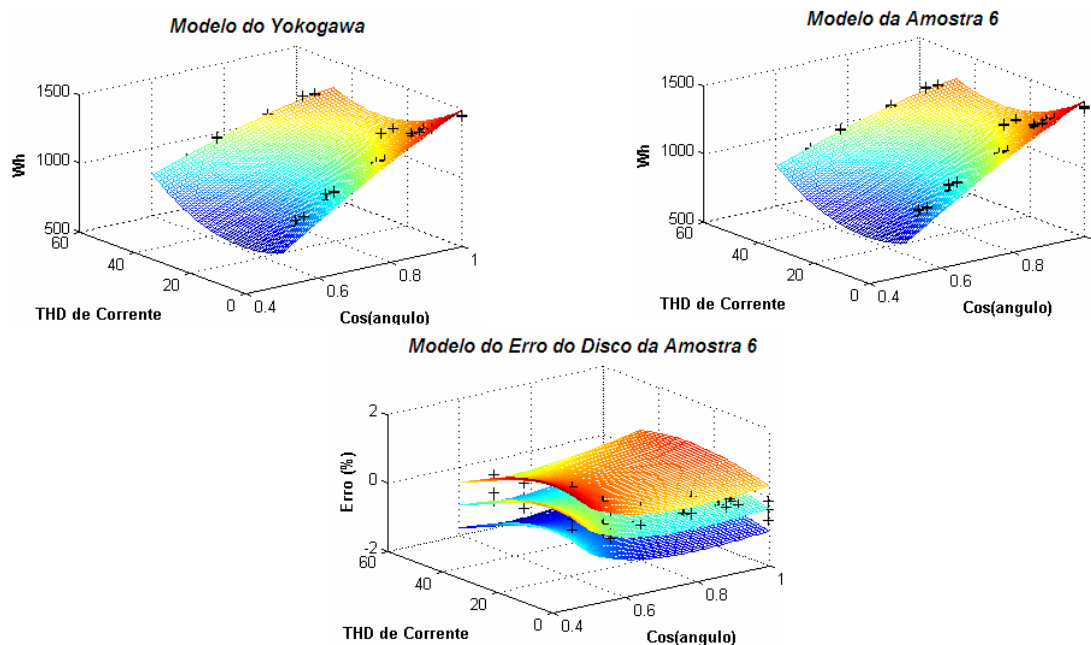
Figura 4.36 – Modelo do erro do disco da Amostra 5 com 3% de desequilíbrio de Tensão.



$$\text{Erro} = -0,31472 + \frac{-16572 \cdot \cos(\text{angulo}) + 19176 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 4764 \cdot \cos^3(\text{angulo})}{-871248 \cdot \cos(\text{angulo}) + 162975 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 367005 \cdot \cos^3(\text{angulo}) - 257236 \cdot \text{TDHI} + 10149}$$

$$IC_{95\%} = \pm 2,1616$$

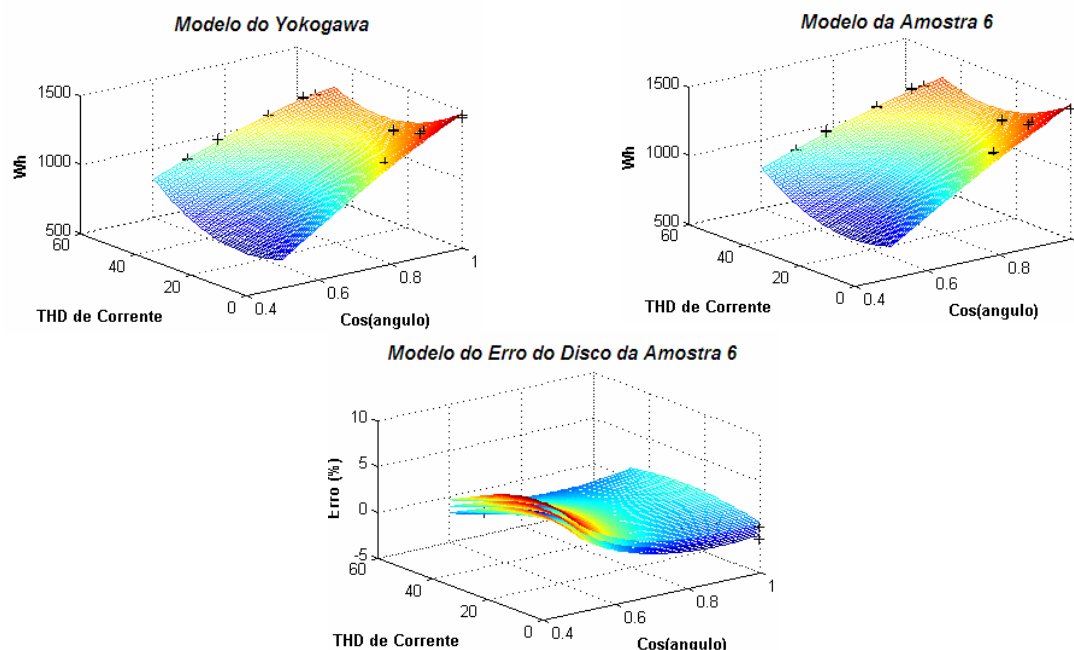
Figura 4.37 – Modelo do erro do disco da Amostra 5 com 5% de desequilíbrio de Tensão.



$$Erro = -0,091828 + \frac{-157 \cdot \cos(\text{angulo}) + 146 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 49 \cdot \cos^3(\text{angulo}) + 1288 \cdot \cos(\text{angulo}) + 954 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 17 \cdot \cos^3(\text{angulo}) - 51 \cdot \cos(\text{angulo}) \cdot TDHI - 149 \cdot \cos^2(\text{angulo}) + 102 \cdot \cos(\text{angulo}) \cdot TDHI}{1321 \cdot \cos(\text{angulo}) + 975 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 17 \cdot \cos^3(\text{angulo}) - 101 \cdot \cos(\text{angulo}) \cdot TDHI - 149 \cdot \cos^2(\text{angulo}) + 102 \cdot \cos(\text{angulo}) \cdot TDHI}$$

$$IC_{95\%} = \pm 0,66821$$

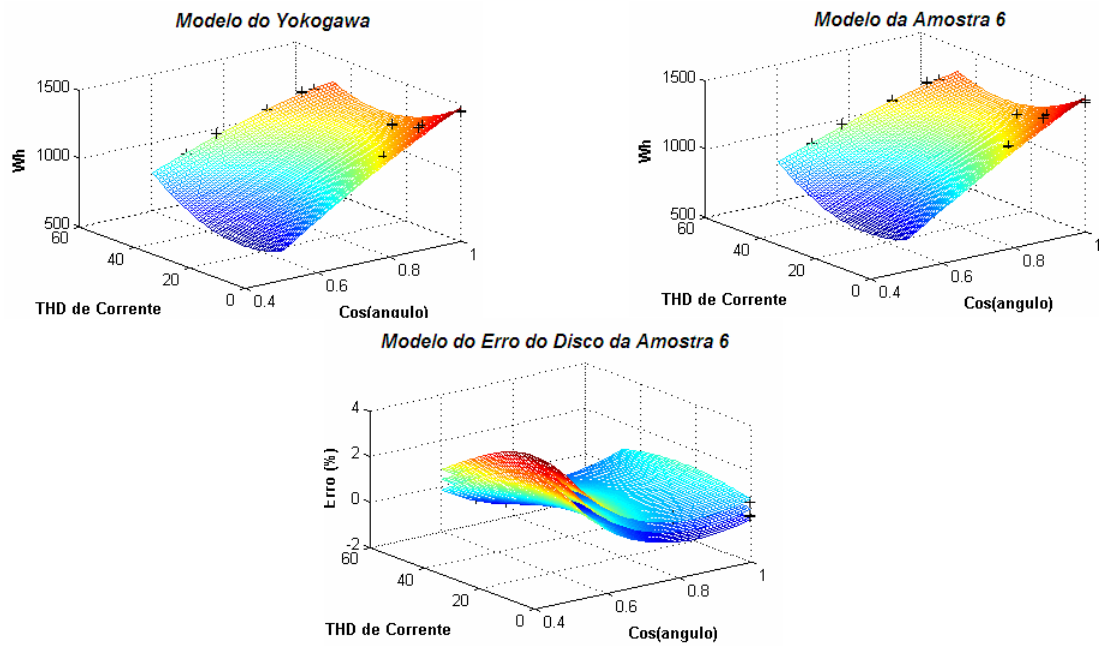
Figura 4.38 – Modelo do erro do disco da Amostra 6 com sistema equilibrado.



$$Erro = 0,10616 + \frac{-117 \cdot \cos(\text{angulo}) + 139 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 149 \cdot \cos^3(\text{angulo}) + 102 \cdot \cos(\text{angulo}) \cdot TDHI + 1321 \cdot \cos(\text{angulo}) + 975 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 17 \cdot \cos^3(\text{angulo}) - 101 \cdot \cos(\text{angulo}) \cdot TDHI - 149 \cdot \cos^2(\text{angulo}) + 102 \cdot \cos(\text{angulo}) \cdot TDHI}{1321 \cdot \cos(\text{angulo}) + 975 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 17 \cdot \cos^3(\text{angulo}) - 101 \cdot \cos(\text{angulo}) \cdot TDHI - 149 \cdot \cos^2(\text{angulo}) + 102 \cdot \cos(\text{angulo}) \cdot TDHI}$$

$$IC_{95\%} = \pm 0,71036$$

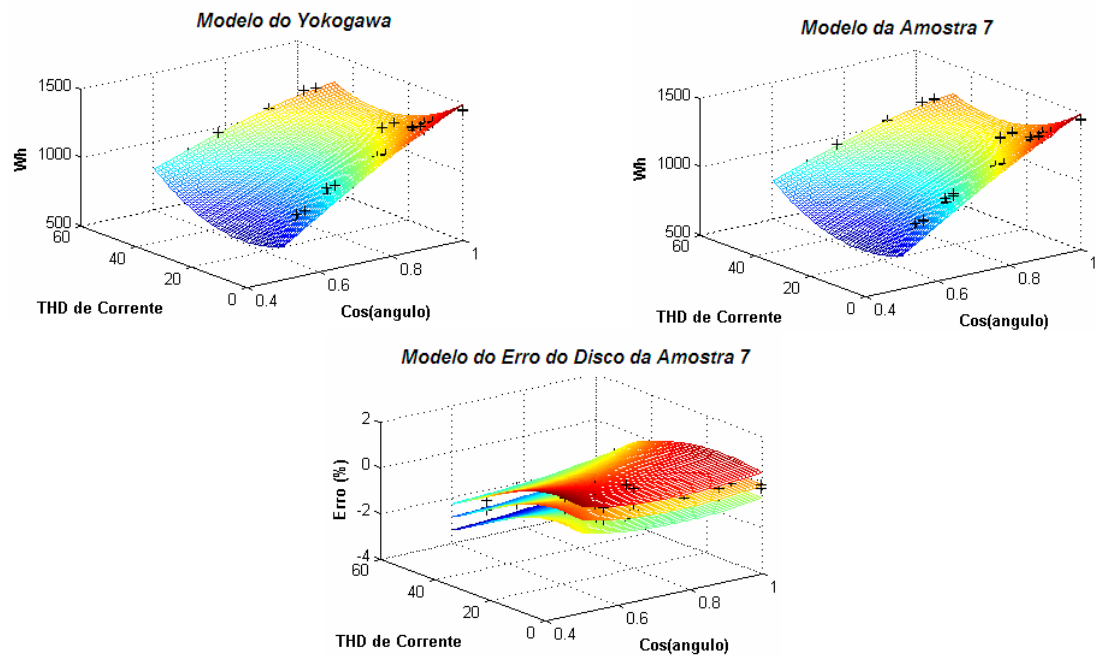
Figura 4.39 – Modelo do erro do disco da Amostra 6 com 3% de desequilíbrio de Tensão.



$$\text{Erro} = 0,044852 + \frac{-110 \cdot \text{angulo} + 16 \cdot \text{angulo}^2 + 81 \cdot \text{angulo}^3 + 1348 \cdot \text{angulo} + 107 \cdot \text{angulo}^2 + 675 \cdot \text{angulo}^3 - 16 \cdot \text{angulo}^3 - 100 \cdot \text{angulo} \cdot \text{TDHI} - 100 \cdot \text{angulo} \cdot \text{TDHI}}{1000000}$$

$$IC_{95\%} = \pm 0,45538$$

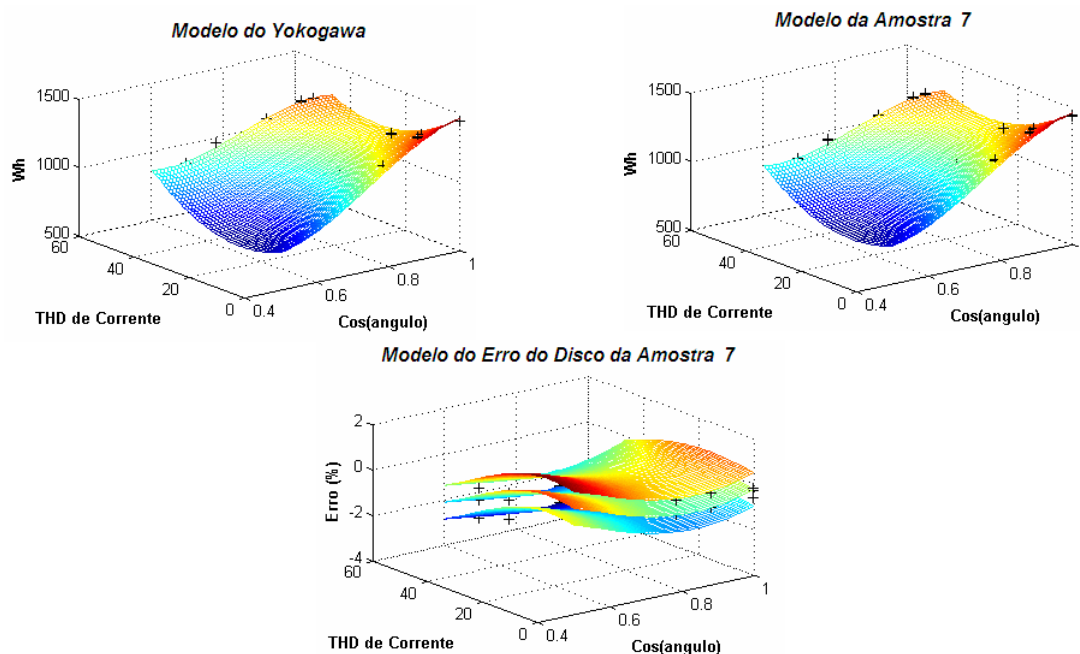
Figura 4.40 – Modelo do erro do disco da Amostra 6 com 5% de desequilíbrio de Tensão.



$$\text{Erro} = -0,006474 + \frac{-19 \cdot \text{angulo} + 43 \cdot \text{angulo}^2 + 15 \cdot \text{angulo}^3 + 1304 \cdot \text{angulo} + 158 \cdot \text{angulo}^2 + 708 \cdot \text{angulo}^3 - 17 \cdot \text{angulo}^3 - 57 \cdot \text{angulo} \cdot \text{TDHI} - 100 \cdot \text{angulo} \cdot \text{TDHI}}{1000000}$$

$$IC_{95\%} = \pm 0,57824$$

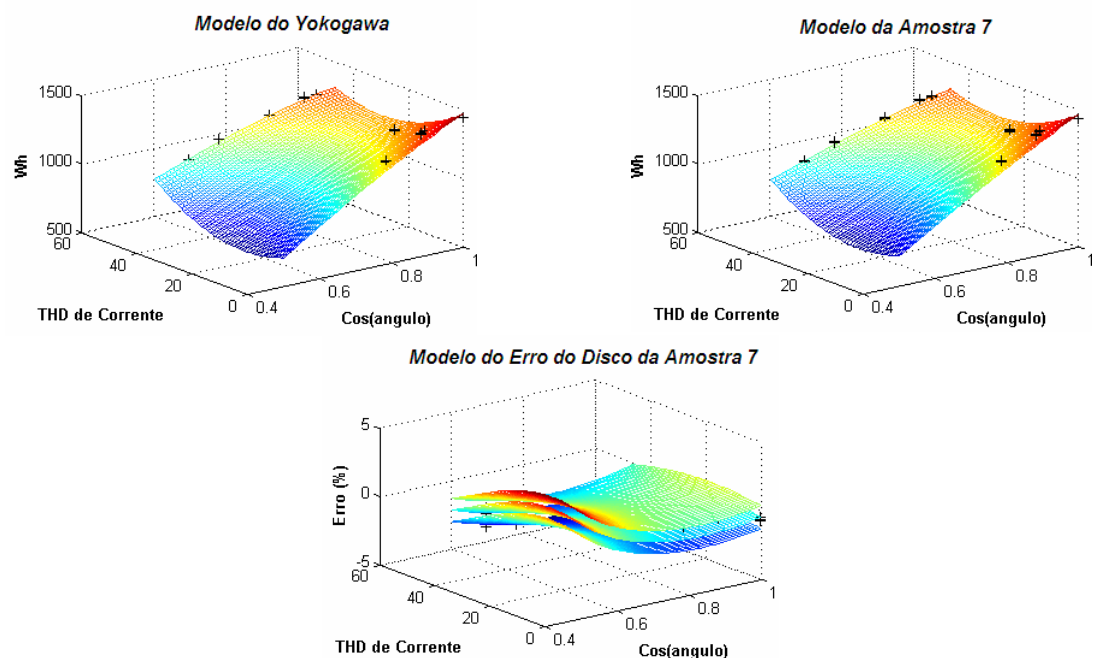
Figura 4.41 – Modelo do erro do disco da Amostra 7 com sistema equilibrado.



$$\text{Erro} = 0,083224 + \frac{363 \cdot \cos(\text{angulo}) - 10596 \cdot \cos^2(\text{angulo}) + 16611 \cdot \cos^3(\text{angulo}) - 7394 \cdot \cos^4(\text{angulo}) + 18 \cdot \cos^5(\text{angulo})}{2850} \cdot \text{TDHI} +$$

$$IC_{95\%} = \pm 0,74033$$

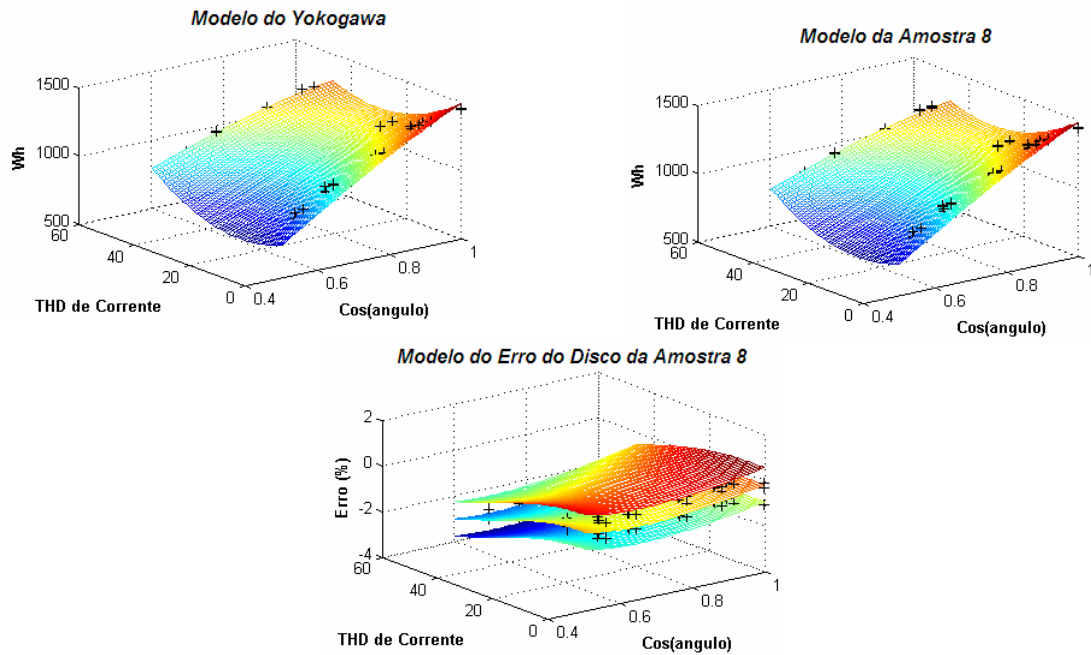
Figura 4.42 – Modelo do erro do disco da Amostra 7 com 3% de desequilíbrio de Tensão.



$$\text{Erro} = 0,079125 + \frac{-128 \cdot \cos(\text{angulo}) + 1358 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 882 \cdot \cos^3(\text{angulo}) + 661 \cdot \cos^4(\text{angulo}) - 16 \cdot \cos^5(\text{angulo})}{661} \cdot \text{TDHI} +$$

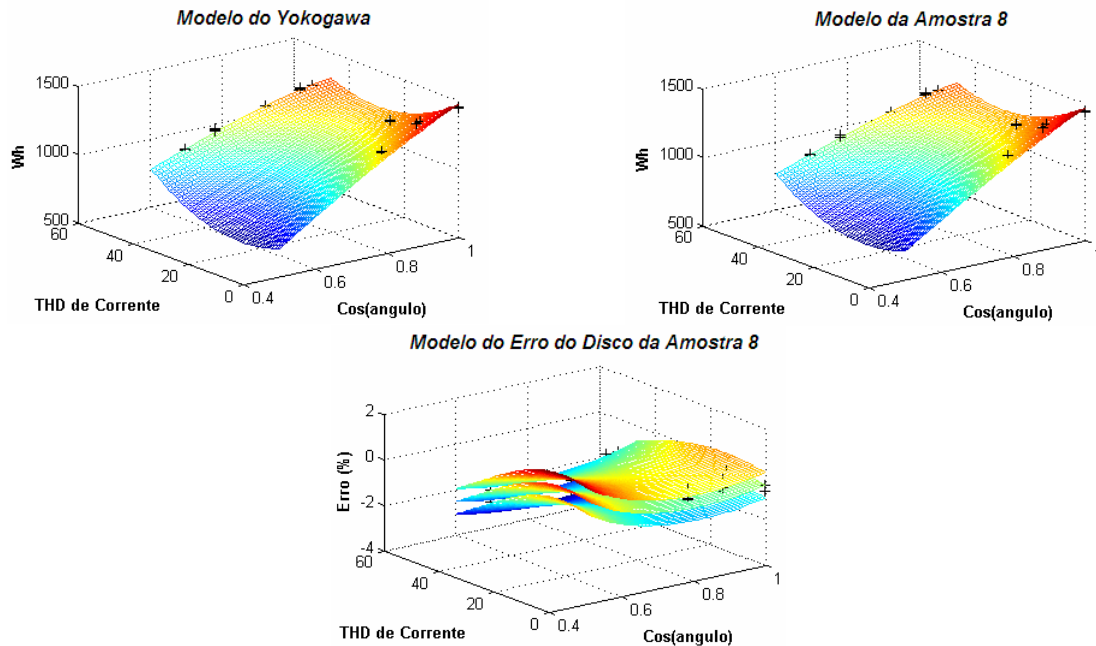
$$IC_{95\%} = \pm 0,84801$$

Figura 4.43 – Modelo do erro do disco da Amostra 7 com 5% de desequilíbrio de Tensão.



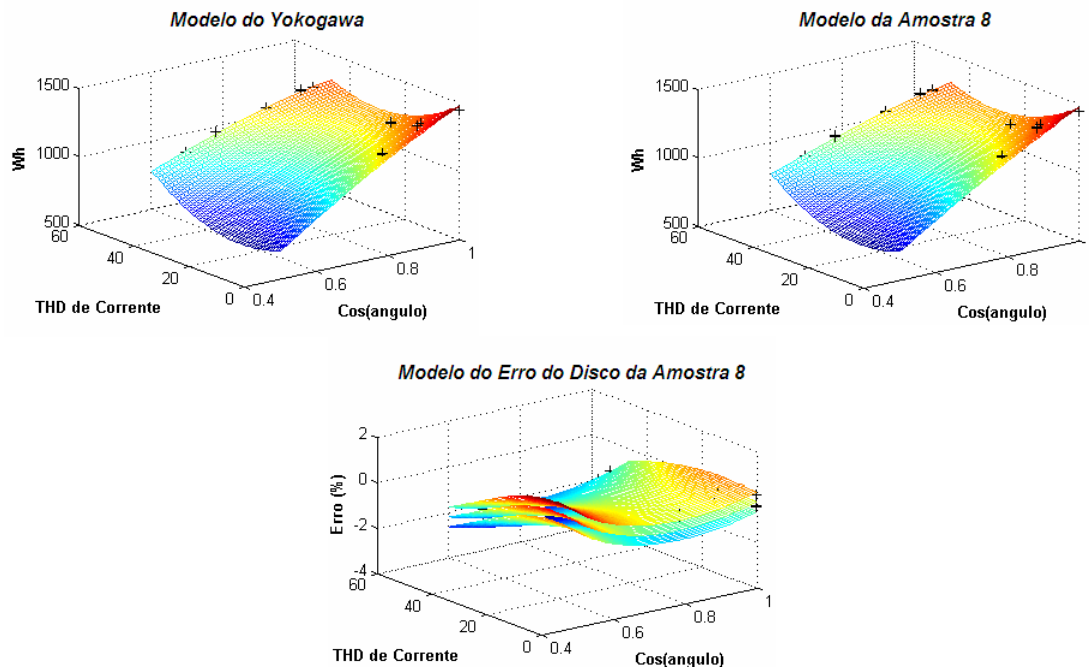
$$\text{Erro} = 0,092277 + \frac{-162 \cdot \cos(\text{angulo}) + 139 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 45 \cdot \cos^3(\text{angulo})}{1288 \cdot \cos(\text{angulo}) + 97 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 17 \cdot \cos^3(\text{angulo}) - 55 \cdot \text{angulo} \cdot \text{TDHI} - \text{IC}_{95\%} = \pm 0,75875$$

Figura 4.44 – Modelo do erro do disco da Amostra 8 com sistema equilibrado.



$$\text{Erro} = -0,033347 + \frac{-86 \cdot \cos(\text{angulo}) + 20 \cdot \cos^2(\text{angulo}) + 47 \cdot \cos^3(\text{angulo})}{1329 \cdot \cos(\text{angulo}) + 45 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 17 \cdot \cos^3(\text{angulo}) - 101 \cdot \text{angulo} \cdot \text{TDHI} - \text{IC}_{95\%} = \pm 0,56476$$

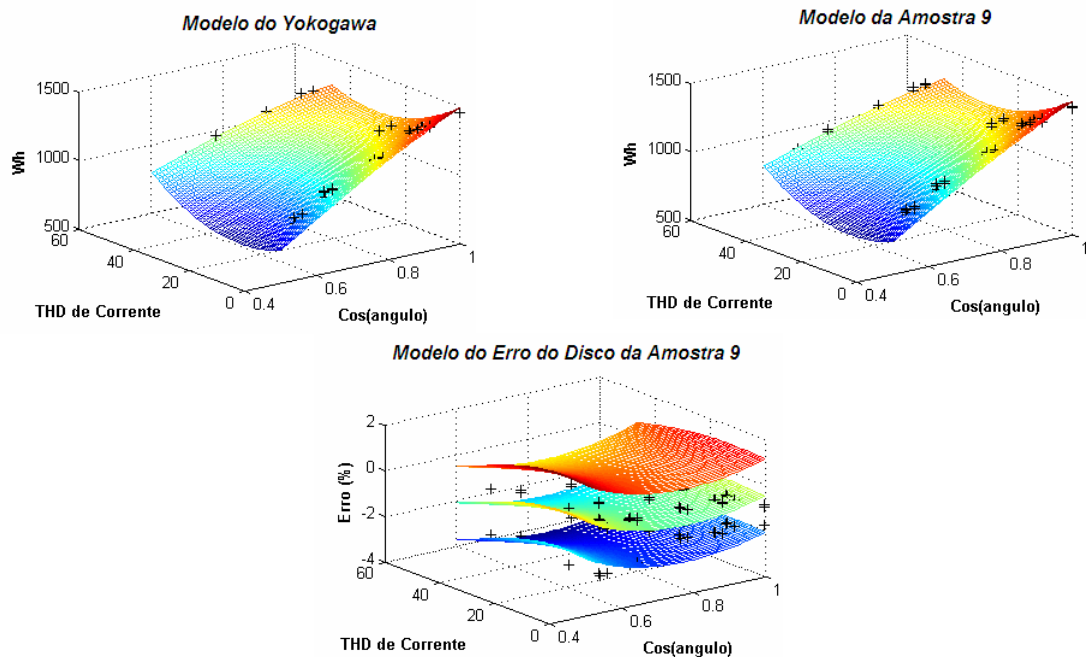
Figura 4.45 – Modelo do erro do disco da Amostra 8 com 3% de desequilíbrio de Tensão.



$$\text{Erro} = -0,04482 + \frac{-91,6 \cdot \text{angulo} + 1352,6 \cdot \text{angulo}^2 + 17,6 \cdot \text{angulo}^3 + 110 \cdot \text{angulo} \cdot \text{TDHI} - 1352,6 \cdot \text{angulo} + 601,6 \cdot \text{angulo}^2 - 17,6 \cdot \text{angulo}^3}{1352,6 \cdot \text{angulo} + 601,6 \cdot \text{angulo}^2 - 17,6 \cdot \text{angulo}^3}$$

$$IC_{95\%} = \pm 0,43599$$

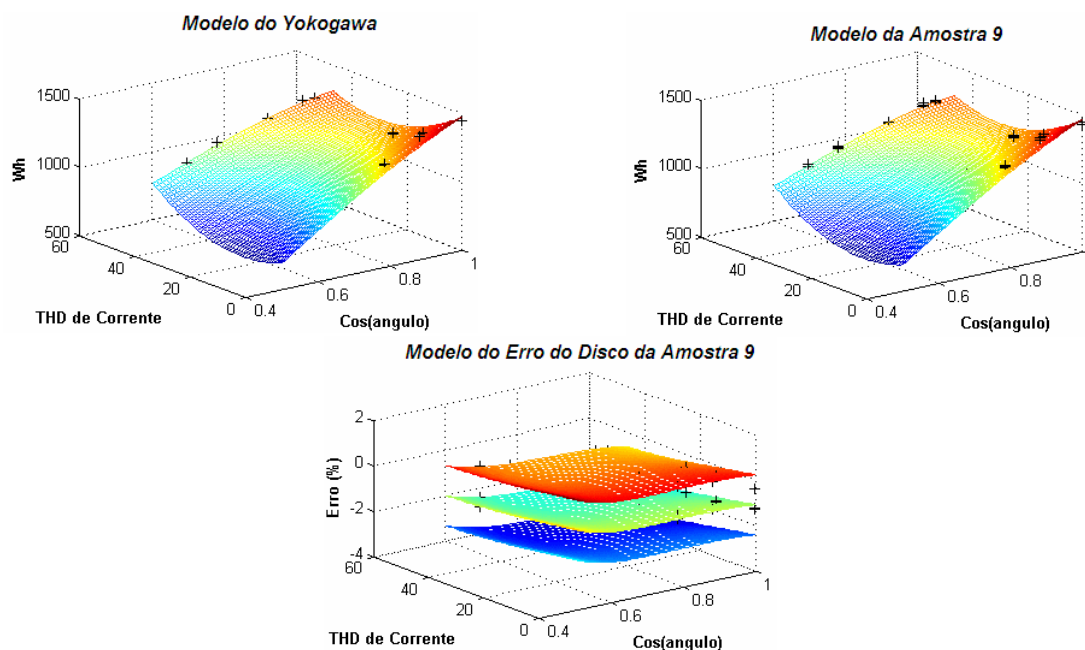
Figura 4.46 – Modelo do erro do disco da Amostra 8 com 5% de desequilíbrio de Tensão.



$$\text{Erro} = 0,45624 + \frac{-46,6 \cdot \text{angulo} + 1309,6 \cdot \text{angulo}^2 + 17,6 \cdot \text{angulo}^3 + 54 \cdot \text{angulo} \cdot \text{TDHI} - 1309,6 \cdot \text{angulo} + 673,6 \cdot \text{angulo}^2 - 17,6 \cdot \text{angulo}^3}{1309,6 \cdot \text{angulo} + 673,6 \cdot \text{angulo}^2 - 17,6 \cdot \text{angulo}^3}$$

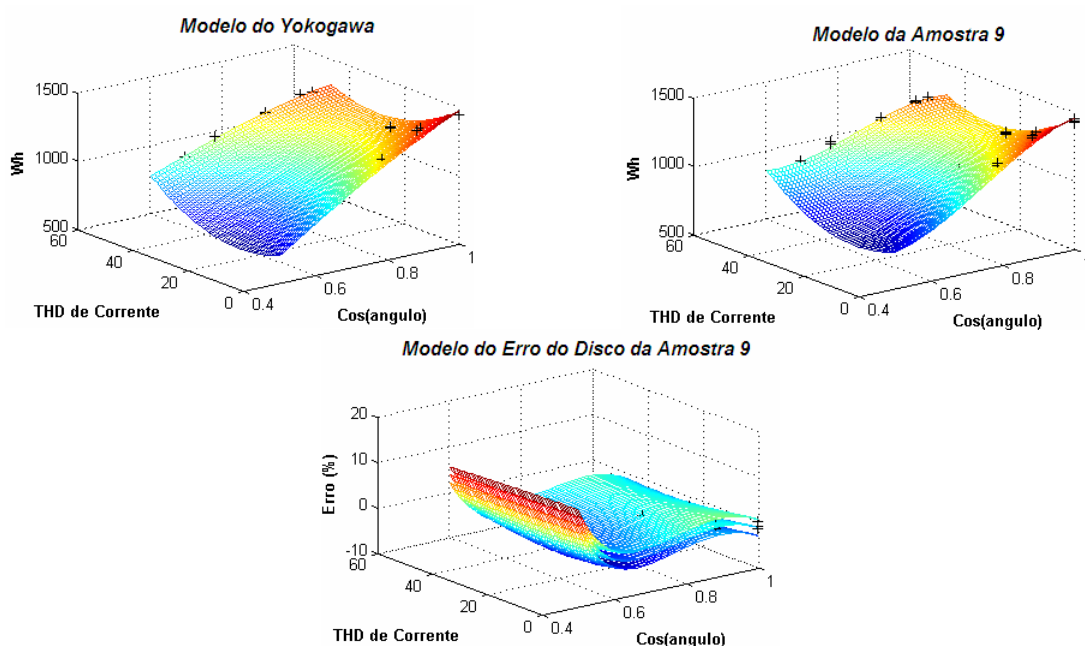
$$IC_{95\%} = \pm 1,6108$$

Figura 4.47 – Modelo do erro do disco da Amostra 9 com sistema equilibrado.



$$IC_{95\%} = \pm 1,3283$$

Figura 4.48 – Modelo do erro do disco da Amostra 9 com 3% de desequilíbrio de Tensão.



$$IC_{95\%} = \pm 1,7904$$

Figura 4.49 – Modelo do erro do disco da Amostra 9 com 5% de desequilíbrio de Tensão.

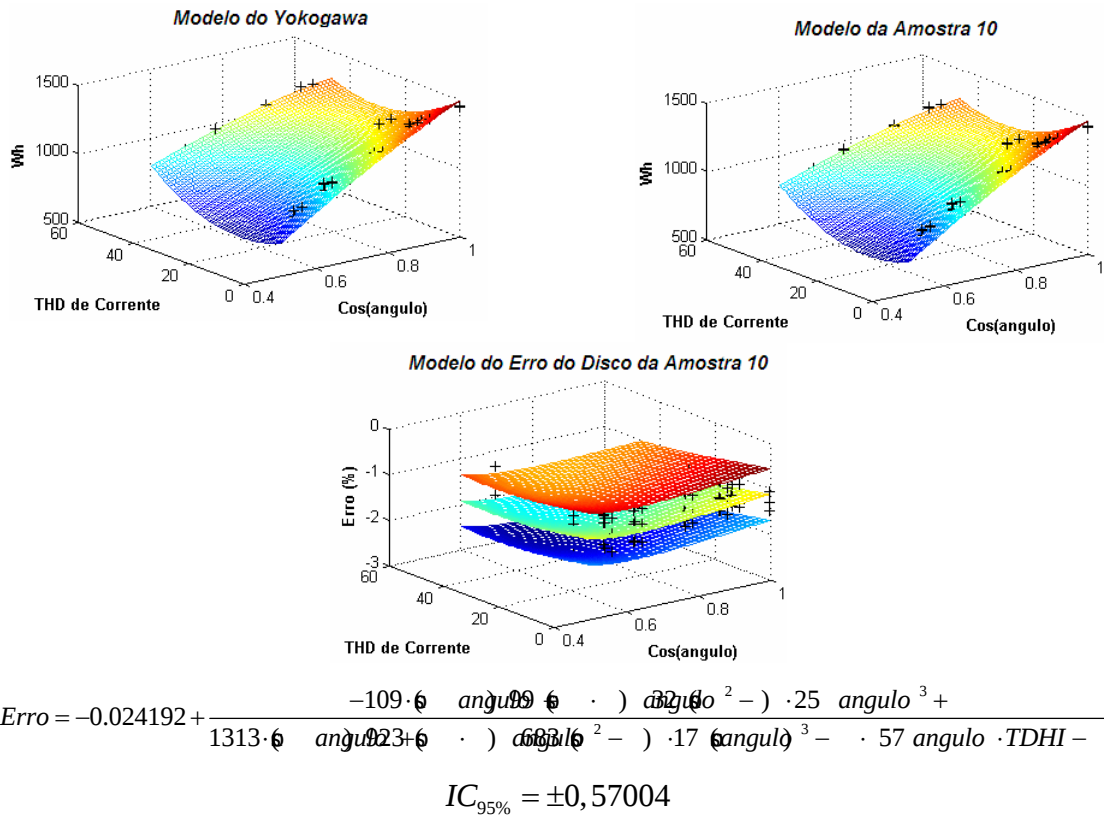


Figura 4.50 – Modelo do erro do disco da Amostra 10 com sistema equilibrado.

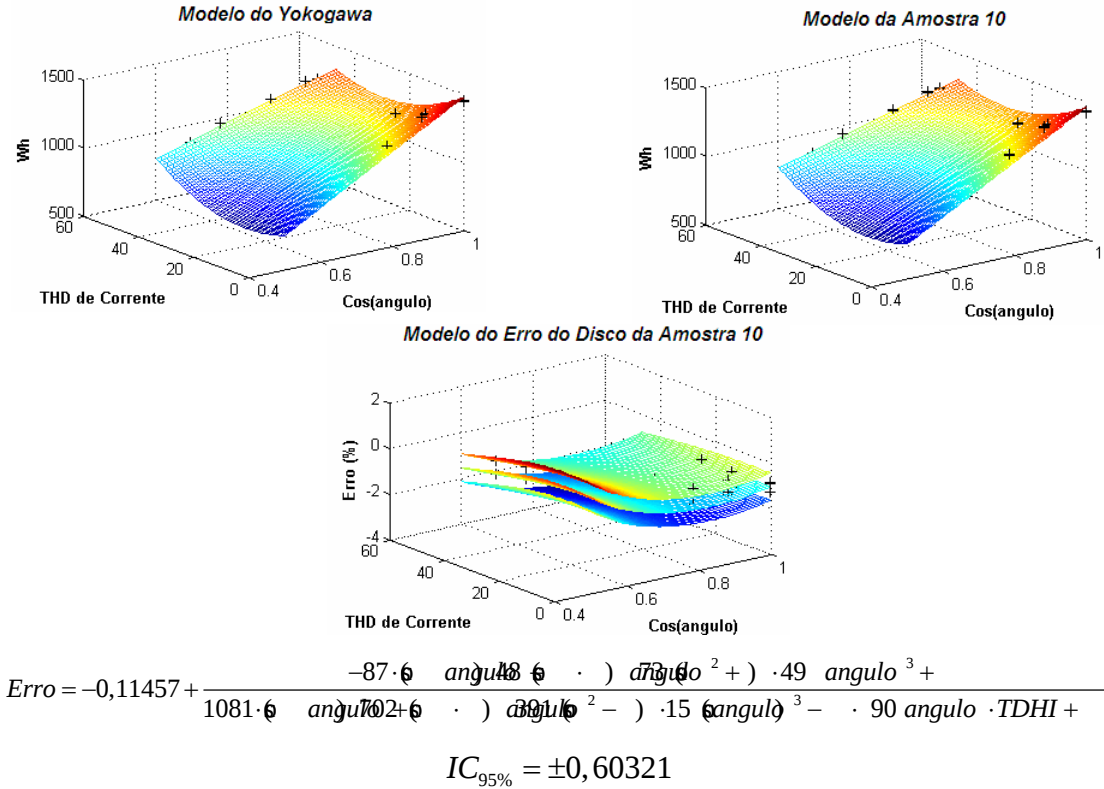
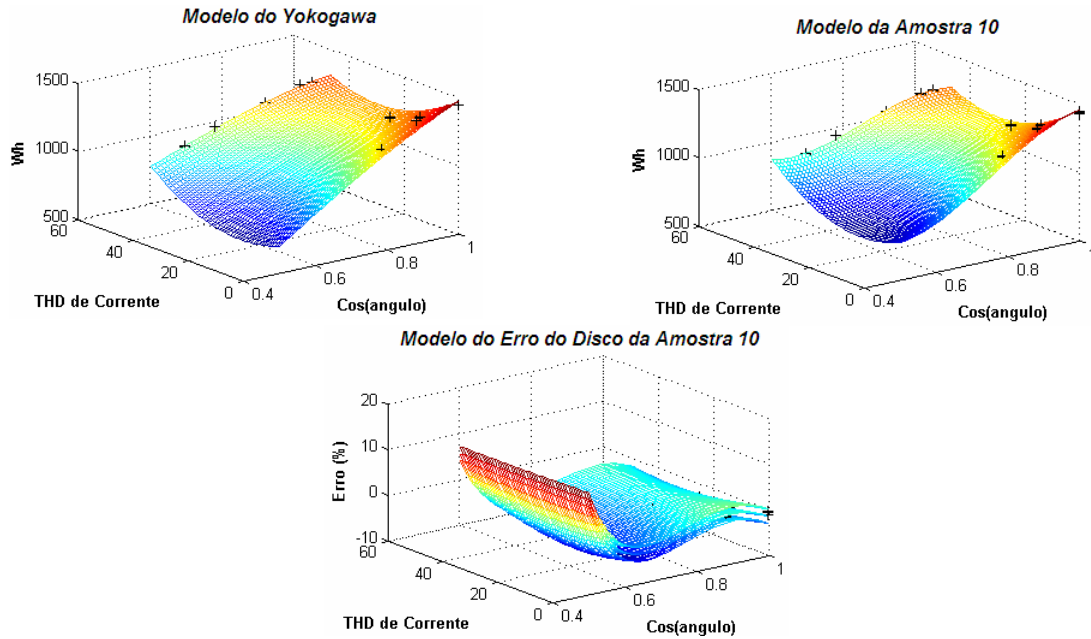


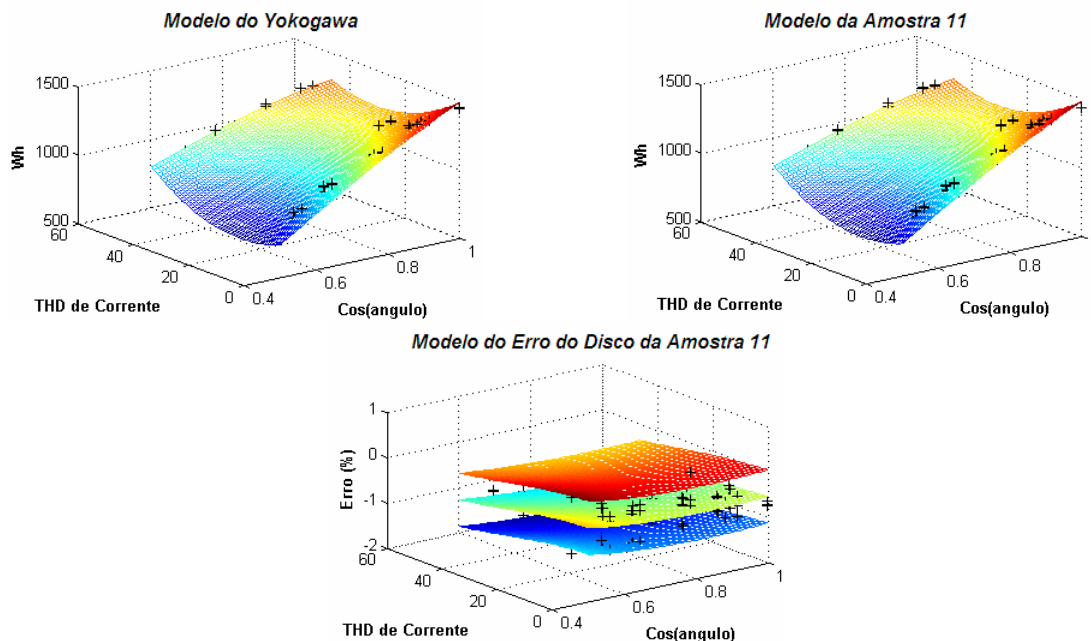
Figura 4.51 – Modelo do erro do disco da Amostra 10 com 3% de desequilíbrio de Tensão.



$$Erro = -0,084135 + \frac{-13571 \cdot \cos(\text{angulo}) + 17663 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 7495 \cdot \cos^3(\text{angulo}) + 3382 \cdot \text{angulo} \cdot \text{THDI} + 1366 \cdot \cos(\text{angulo}) + 1024 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 771 \cdot \cos^3(\text{angulo}) - 138 \cdot \text{angulo} \cdot \text{THDI} - 121}{1}$$

$$IC_{95\%} = \pm 1,5638$$

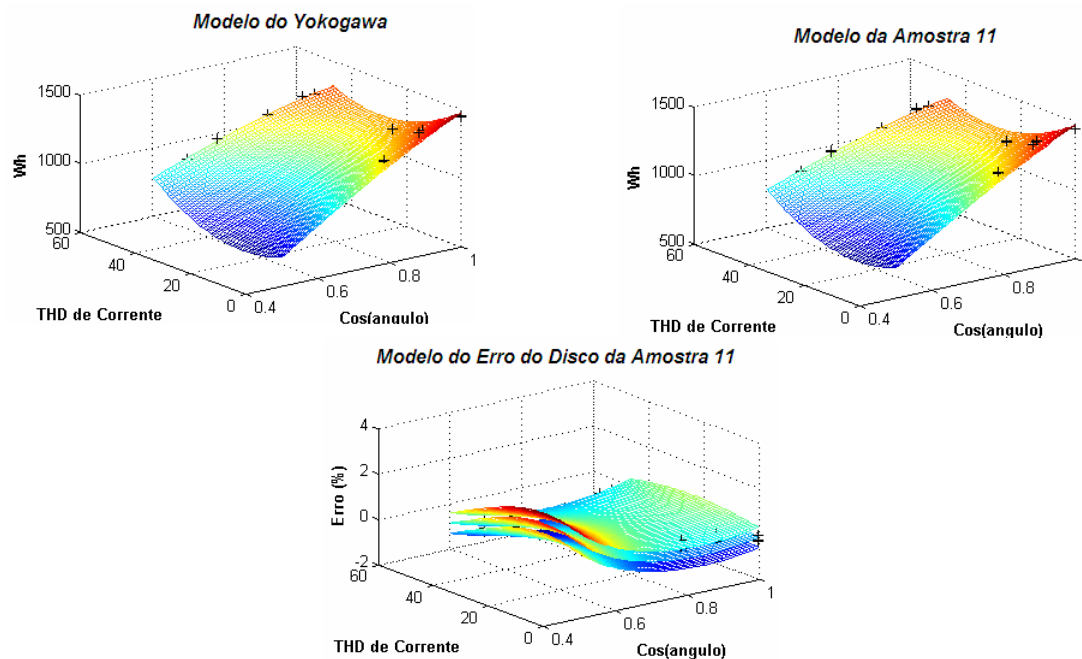
Figura 4.52 – Modelo do erro do disco da Amostra 10 com 5% de desequilíbrio de Tensão.



$$Erro = 0,068837 + \frac{-16 \cdot \cos(\text{angulo}) + 12 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 12 \cdot \cos^3(\text{angulo}) + 12 \cdot \cos^4(\text{angulo}) + 1319 \cdot \cos(\text{angulo}) + 893 \cdot \cos^2(\text{angulo}) - 66 \cdot \cos^3(\text{angulo}) - 17 \cdot \cos^4(\text{angulo}) - 55 \cdot \text{angulo} \cdot \text{THDI} - 121}{1}$$

$$IC_{95\%} = \pm 0,58829$$

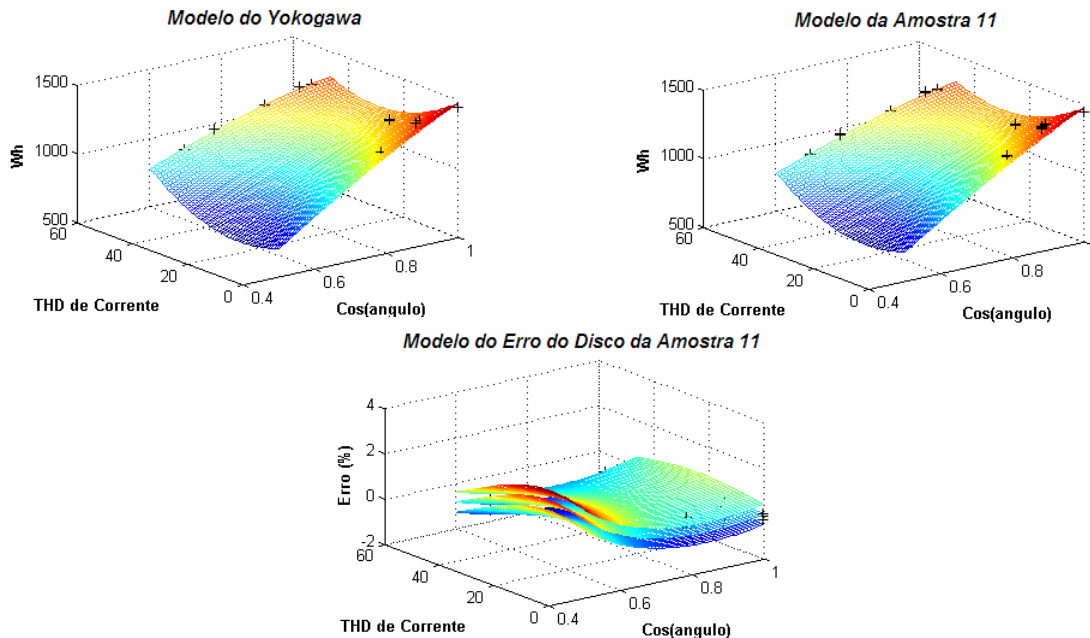
Figura 4.53 – Modelo do erro do disco da Amostra 11 com sistema equilibrado.



$$\text{Erro} = -0,031793 + \frac{-73 \cdot 10^{-6} \cdot \text{angulo} \cdot \text{angulo}^2 + 50 \cdot \text{angulo}^3 + 1348 \cdot 10^{-6} \cdot \text{angulo} \cdot \text{angulo}^2 - 660 \cdot 10^{-6} \cdot \text{angulo}^3 - 97 \cdot \text{angulo} \cdot \text{TDHI} -$$

$$IC_{95\%} = \pm 0,45159$$

Figura 4.54 – Modelo do erro do disco da Amostra 11 com 3% de desequilíbrio de Tensão.



$$\text{Erro} = -0,000060446 + \frac{-65 \cdot 10^{-6} \cdot \text{angulo} \cdot \text{angulo}^2 + 48 \cdot \text{angulo}^3 + 1353 \cdot 10^{-6} \cdot \text{angulo} \cdot \text{angulo}^2 - 680 \cdot 10^{-6} \cdot \text{angulo}^3 - 110 \cdot \text{angulo} \cdot \text{TDHI} -$$

$$IC_{95\%} = \pm 0,45028$$

Figura 4.55 – Modelo do erro do disco da Amostra 11 com 5% de desequilíbrio de Tensão.

4.4 - Considerações Finais

Neste capítulo, foram apresentados e analisados os resultados dos ensaios, e também, a modelação dos erros dos medidores de energia elétrica ativa. Os resultados foram colocados em forma de tabelas, facilitando a análise, e em seguida, foram apresentados gráficos tridimensionais, relacionando os erros de medição de energia com o nível de distorção harmônica da corrente e o operador cossenoidal do ângulo de defasagem entre tensões e correntes das diversas combinações de perfis de tensões e correntes ensaiadas.

Ao analisar os resultados, percebeu-se que ocorreram erros de medição em todos os ensaios, porém, foram apresentados nas tabelas somente os resultados em que os erros foram superiores ao limite permitido pela classe de exatidão dos medidores, ou seja, classe 2. Desta forma, considerando-se que os medidores ensaiados são todos de classe de exatidão 2 (dois), não podem exceder a $\pm 2\%$ de erros na medição.

Nos ensaios dos medidores tanto bifásicos como trifásicos no sistema equilibrado, os erros de medição foram mais significativos quando os medidores foram submetidos aos perfis de corrente com maior nível de distorção harmônica. No caso dos medidores bifásicos, estes perfis foram BI2, TI1 e TI3, enquanto nos ensaios dos medidores trifásicos, os perfis foram TRI1 e INDI1, perfis estes que apresentam nível de distorção harmônica de 42,3%, 46,8% , 24,7% , 46,8% e 18,4%, respectivamente.

Verificou-se também que outro parâmetro que deve ser considerado é o operador cossenoidal do ângulo de defasagem entre tensões e correntes, para cada combinação dos perfis de corrente e tensão ensaiados, uma vez que o mesmo está diretamente relacionado com a energia elétrica ativa consumida pela carga associada ao sistema. Quanto mais próximo da unidade, maior a tendência de erro na medição.

Observou-se que os erros de medição tendem a serem negativos com o aumento do nível de distorção harmônica da corrente, resultando perda de receita das empresas concessionárias de energia elétrica.

Com os dados das análises experimentais, foi possível desenvolver um modelo matemático para os erros de cada medidor de energia analisado, considerando-se os limites de distorções harmônicas ensaiados. Foram levados em

consideração os parâmetros que mais influenciaram nos erros de medição dos medidores analisados, ou seja, a distorção harmônica total de corrente e o operador cossenoidal do ângulo de defasagem entre tensões e correntes.

Observa-se finalmente que, considerando-se os limites (5%) nas taxas de distorção harmônica das tensões ensaiadas, os modelos obtidos necessitam ainda de validação, no que se refere à sua precisão para representar os erros de medição dos medidores investigados, para condições de grandes amplitudes tanto das distorções harmônicas das correntes, quanto das tensões.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES GERAIS

5.1 – Conclusões Gerais

Os medidores Watt-Hora tipo Indução são diretamente responsáveis pela medição de uma grande parcela dos consumidores de energia elétrica. Equipamentos estes que são fabricados, calibrados e previamente testados para operarem sob condições ideais, ou seja, frequência constante, formas de onda de tensão e corrente senoidais e sistema equilibrado. Entretanto, tais condições não são mais a realidade do sistema de distribuição de energia elétrica atual. Devido a isso, a proposta deste trabalho foi a de avaliar os 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, através de uma análise laboratorial/experimental.

Para um bom entendimento do trabalho realizado, os primeiros capítulos foram dedicados aos motivos que levaram ao início da pesquisa, envolvendo, levantamento bibliográfico do que já tem sido feito nessa área, e, apresentando-se o diferencial proposto neste trabalho. Adicionalmente, uma revisão bibliográfica resumida dos itens relacionados à qualidade de energia elétrica foi apresentada, enfatizando-se aqueles índices que foram analisados na pesquisa: Harmônicos e Desequilíbrios de Tensão. Também, de forma resumida, foi apresentado o princípio de funcionamento do medidor de energia elétrica, tipo indução, equipamento responsável pelo registro de kWh consumido na grande maioria das instalações atuais no país. Foi considerado o exemplo de um medidor de energia elétrica, tipo indução, monofásico, facilitando assim a compreensão do mesmo. Assim como foi realizado uma revisão bibliográfica referente aos medidores tipo indução sujeitos à distorções harmônicas de correntes e tensões, e, desequilíbrios de tensões.

O capítulo 3 foi destinado à apresentação dos procedimentos, protocolos para os ensaios e arranjo laboratorial proposto para o desenvolvimento da pesquisa. No início do capítulo apresentaram-se as condições estabelecidas para a seleção dos medidores para análise, sendo os mesmos selecionados a partir de um banco de dados de uma concessionária de energia elétrica. Os equipamentos selecionados foram os medidores mais significativos e representativos, em termos percentuais, em relação ao montante de consumo médio (kWh) registrado pela empresa/concessionária, nas seguintes categorias de interesse para a pesquisa: medidores de indução bifásicos e trifásicos. Considerando a pequena participação no kWh médio mensal registrado, na empresa escolhida para análise, pelos medidores monofásicos, os mesmos foram descartados da análise. Observa-se porém que, em termos quantitativos, os medidores monofásicos são parcela significativa na empresa admitida para este estudo.

As formas de onda, admitidas para os ensaios, foram obtidas por medições em diversos consumidores em ramais de distribuição com características industrial, comercial, rural e residencial, proporcionando uma grande variedade de perfis tanto de correntes quanto de tensões para a realização das análises experimentais.

Após a seleção dos equipamentos e das formas de onda, deu-se continuidade à montagem do arranjo laboratorial, incluindo-se os equipamentos responsáveis pela geração das formas de onda de correntes e de tensões.

Na geração do perfil de corrente utilizou-se uma fonte de alimentação trifásica modelo 6000L, acoplada a um dispositivo gerador de formas de onda HGA (ambos da Califórnia Instruments), responsável pela alimentação das bobinas de corrente do medidor de energia. Como a carga utilizada é puramente resistiva, a tensão aplicada à bobina de corrente produz uma corrente com as mesmas ordens harmônicas programadas na fonte.

Na geração dos perfis de tensão utilizaram-se dois equipamentos: uma placa de geração de sinais DaqBoard 2003, responsável pela geração das formas de onda de tensão, que tem sua capacidade de saída limitada em 20V de pico a pico, e, devido a essa limitação da amplitude destes sinais gerados, tornou-se necessário o acoplamento de um amplificador linear de tensão, desenvolvido para suportar as ampliações dos sinais harmônicos selecionados, proporcionando uma saída de

127V(valor eficaz), para a alimentação das bobinas de tensão do medidor sob ensaio.

Como as formas de onda foram implementadas separadamente, foi necessário o uso de um equipamento que fizesse o sincronismo entre elas. Para isso, utilizou-se um dispositivo FPGA que monitora a forma de onda de corrente imposta e determina o exato instante da passagem do semiciclo negativo para o semiciclo positivo, ou seja, o cruzamento por zero, possibilitando assim que no instante de transição o dispositivo FPGA acione a placa de geração de sinais de tensão, com um trem de pulsos de “clock”, controlando a geração das formas de onda de maneira síncrona.

Por fim, definiu-se o sistema de aquisição de dados, que está dividido em dois módulos. No primeiro módulo encontra-se o medidor a ser ensaiado. Para este, utiliza-se uma fotocélula acoplada ao mesmo, a qual registra as revoluções inteiras do disco e repassa essa informação a um sistema que gerencia todos os dados da experimentação (WaveBook e Aplicativo DasyLab). O valor do kWh registrado dependerá da constante K_d (Wh/rotação) de cada medidor sob ensaio. No segundo módulo tem-se o medidor padrão (Yokogawa), com classe de precisão adequada para ser considerado como um padrão para medição de kWh, em relação aos equipamentos sob ensaios, o qual foi utilizado para as análises de erros apresentados pelos medidores ensaiados.

O procedimento de aquisição dos dados foi otimizado para que pudesse ser da forma mais simples e eficaz possível, sendo subdividido em três etapas:

- Entrada em regime permanente térmico/mecânico;
- Calibração;
- Medição.

Cada etapa seguiu uma rotina pré-estabelecida para todos os ensaios.

Após a montagem dos arranjos laboratoriais, e do estabelecimento dos procedimentos de medição, apresentaram-se os resultados das análises experimentais realizadas para cada categoria de medidor ensaiado, bifásicos e trifásicos, para sistema equilibrado e posteriormente com o sistema desequilibrado (tensões).

De forma geral, as principais conclusões que podem ser extraídas dos resultados das medições são:

- Os medidores, quando submetidos às condições para as quais eles foram projetados, ou seja, frequência de 60 HZ, sistema equilibrado, tensão e corrente com formas de onda senoidal, respondem dentro da classe de exatidão correspondente;
 - Na primeira etapa, quando os medidores foram submetidos apenas a formas de onda de tensão e corrente com diferentes níveis de distorção harmônica, ocorreram erros de medição em todos os ensaios, porém, eles se intensificavam com o aumento do nível de distorção harmônica da corrente. Outro parâmetro que também deve ser levado em consideração é o ângulo de defasamento entre a forma de onda de tensão e corrente, pois ele é diretamente responsável pela energia ativa consumida, e, também interfere nos erros de medição dos medidores de energia elétrica ativa tipo indução;
 - Nos medidores bifásicos, ensaios com perfis de corrente com índice de distorção harmônica superior a 20% já resultaram em erros mais significativos na medição, quando comparados com o equipamento padrão, excedendo o limite estabelecido pela classe de exatidão dos medidores em diversos perfis analisados;
 - No caso dos medidores bifásicos, os ensaios que apresentaram maiores erros de medição foram aqueles com os perfis de corrente com maior índice de distorção harmônica, ou seja, BI2, TI1 e TI3, perfis estes que apresentam nível de distorção harmônica de corrente de 42,3%, 46,8% e 24,7%, respectivamente;
 - Nos medidores trifásicos, os erros de medição podem ser percebidos em perfis de corrente com menores índices de distorção harmônica que nos medidores bifásicos. Perfis de corrente com 7% de distorção harmônica total já produziram erros significativos nas medições e, assim como nos medidores bifásicos, os erros tornavam-se mais significativos e frequentes com o acréscimo do nível de distorção harmônica da corrente;
 - No caso dos medidores trifásicos, os ensaios que apresentaram maiores erros de medição foram aqueles com os perfis de corrente de maior índice de distorção harmônica, ou seja, TRI1 e INDI1, perfis
-

estes que apresentam nível de distorção harmônica de corrente de 46,8% e 18,4%, respectivamente.

- Observou-se que, com o aumento do nível de distorção harmônica da corrente, os erros dos medidores, tanto bifásicos quanto trifásicos, tendem a ser negativos, ou seja, os medidores de energia elétrica tipo indução registraram valores menores que aqueles registrados pelo padrão Yokogawa;
- Nos ensaios em que os medidores foram submetidos a distorções harmônicas nos perfis de tensão e corrente, juntamente com desequilíbrios de tensão, verificou-se que os maiores erros de medição também ocorreram em ensaios onde os perfis de corrente apresentavam o maior índice de distorção harmônica, assim como no sistema equilibrado, tanto para medidores bifásicos, quanto trifásicos. Verificou-se ainda uma tendência geral de aumento de erros com o aumento dos desequilíbrios. Entretanto, esta tendência não foi verificada para todos os pares perfis de tensões e correntes.

Após a análise dos resultados dos medidores de energia elétrica sujeitos a distorções harmônicas de tensões e correntes, em sistemas equilibrados e desequilibrados, verificou-se que os parâmetros que mais influenciaram na medição de energia elétrica ativa foram o nível de distorção harmônica da corrente e o ângulo de defasamento entre a forma de onda de tensão e corrente, considerando-se os limites (5%) impostos aos sinais de tensões analisados. Partindo dessas considerações, foi possível desenvolver um modelo matemático para os erros de medição referente a cada medidor ensaiado, proporcionando uma análise do comportamento de cada medidor quando submetido a formas de onda de correntes com diferentes níveis de distorção harmônica.

Portanto, considerando as grandes dificuldades relatadas nas referências bibliográficas, para a obtenção de um modelo matemático para os medidores de energia elétrica tipo indução, devido a grande quantidade de parâmetros (elétricos/magnéticos e mecânicos) a serem analisados, um modelo comportamental/experimental para o erro de medição desses medidores é uma contribuição inédita para esse tipo de análise. Como resultado desta modelação, foi

possível a obtenção de uma função matemática (modelo de erro) para o erro de medição dos medidores tipo indução ensaiados, considerando-se distorções harmônicas de tensões e correntes, e, desequilíbrios de tensões.

Observa-se finalmente que os modelos obtidos necessitam ainda de validação, com relação à precisão dos mesmos, para distorções harmônicas de tensões maiores que 5%, e, ainda, para maiores distorções de correntes que aquelas analisadas neste trabalho.

5.2 – Propostas para trabalhos futuros.

Com a conclusão do trabalho pode-se perceber que ainda existem indagações a serem respondidas e estudadas a respeito deste assunto, podendo ser objetos de novas pesquisas. Segue, portanto, algumas propostas para trabalhos futuros:

- Dar continuidade à pesquisa com um maior número de perfis de tensões e correntes a serem ensaiados com diferentes níveis de distorções harmônicas, de maiores amplitudes;
 - Viabilização de um cenário em que as formas de onda de tensões e correntes variem com o tempo, aproximando-se ainda mais das condições encontradas em campo;
 - Análise experimental de erros de medição de energia elétrica ativa em medidores eletrônicos, sujeitos a distorções harmônicas de correntes e tensões, em sistemas equilibrados e desequilibrados;
 - Análise de erros para medição de energia elétrica reativa.
-

REFERÊNCIAS

- [01]GIRGS, A.A. et al. Testing the performance of three-phase induction watthour meters in the presence of harmonic distortion. **IEEE Transactions on Industry Applications**, New York, v.26, n.4, p. 689-695, 1990.
- [02]SAIED, M.M. On the accuracy of watt-hour meters in non sinusoidal environment. **IEEE Transaction on Industry Applications** , New York, v.31, p. 2219-2225, 1995.
- [03]MAKRAM, E.;WRIGHT, C.; GIRGIS, A. A harmonic analysis of the induction watthour meter's registration error. **IEEE Transactions on Power Delivery**, New York, v.7, n.3, p.1080-1088, 1992.
- [04]SILVA, R.V.R. **Análise do desempenho dos medidores de watt-hora indutivo sob condições não senoidais**. 1998. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1998.
- [05] VASCONCELOS, F. H.; CARDOSO, E. C.; SILVA, B. A. **Calibração de medidores de energia elétrica ativa em condições não senoidais**. Recife: Sociedade Brasileira de Metrologia, 2003.
- [06] WAGNER. V. E. Effects of harmonics on equipment. **IEEE Transactions on Power Delivery**, New York, v.8, n.2, 1993. p.672-680
-

- [07] SIQUEIRA, L.; VALE, P. A. M.; OLIVEIRA, M. Efeito das distorções harmônicas nas medições de energia elétrica. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA, 3, 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: Anel, 1999. p.34-39.
- [08] BORTONI, E.C.; ARAÚJO, W. P.; DONÁDIO, R.G. Influência de componentes harmônicas sobre o desempenho de medidores de watt-hora indutivos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA ELÉTRICA, 2, 1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba: S.n., 1996. p. 132-137.
- [09] CARULLO, A.; PARVIS, M. Power meter for highly distorted three-phase systems. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, New York, v.46, n.3, p. 1262-1267, 1997.
- [10] SASDELLI, R. et al. Revenue metering in the presence of distortion and unbalance: myths and reality. **International Conference on Harmonics and Quality of Power**, p. 42-47, 1998.
- [11] MAKRAN, E.B.; WRIGHT, L. C.; GIRGIS, A. A. A harmonic analysis of the induction watt-hour meter's registration error. **IEEE Transaction on Power Delivery**, New York, v.7, n.3, p.1080-1088, 1992.
- [12] SHEN, J. J.; JONH, V. I. An induction watt-hour meter theoretical model for harmonic loading conditions. **IEEE Transaction on Power Delivery**, New York, v.23, p.441-444, 1993.
-

[13]CHIH-JU, C.; CH"UN-CHANG, L. Analysis of the performance of induction wathour meters in the presence of harmonics (a new model approach). **Electric Power Systems Research**, Lausanne, v.32, p.71-79, 1995.

[14]EMANUEL, A.E. **Tutorial course**: nonsinusoidal situations: effects on the performance of meters and definitions of power. New York: IEEE Publications, 1990.

[15]FILIPSKI, P.S. ; ARSENEAU, R. **Behavior of wattmeters and wathourmeters under distorted waveform condicions**. IEEE Tutorial: nonsinusoidal situations: effects on the performance of meters and definitions of power. New York: IEEE Publications, 1990.

[16] GOLDBERG, S.; FORTON, W.F.; SONTAG, C. **An experimental study of effects of non-sinusoidal currents on the registration of induction wathour meters**. New York: IEEE Publications, 1990.

[17] OGUNDARE, A. A. et al. **Effect of harmonics on wathour iceter8-laboratory investigations**. New York: IEEE Publications, 1990.

[18] MEDEIROS, S. F. **Medição de energia elétrica**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1986.

[19] HENRIQUES, A. L. **Medição de energia elétrica para faturamento: estudo comparativo de medidores eletrônicos e eletromecânicos, com foco no**

desempenho de condições não senoidais. 2002. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

[20] ARAÚJO, J.M. et al. Análise de desequilíbrio de tensão no sistema Eletronorte, subestações de 230kV. In: SIMPÓSIO DE ESPECIALISTAS EM PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO E EXPANSÃO ELÉTRICA, 10, 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2006. p.1-11.

[21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8377:** Medidor de energia ativa, especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 17p.

[22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8378:** medidor de energia ativa, ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 12p.

[23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5313:** aceitação de lotes de medidores de energia ativa, procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 10p.

[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8380:** verificação em serviços de medidores de energia ativa, procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 22p.

APÊNDICE

Tabela 1 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 1 (Kd=7,2)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas	Temper.
1	V0	I0	0.80	0.25	-0.31914	-0.13393	964.8000	971.6100	968.5500	134	24.00
2	V0	I0	0.80	0.25	-0.71435	-0.06394	957.6000	968.9800	966.8800	133	24.00
3	V0	I0	0.80	0.25	-0.96151	-0.07845	957.6000	967.6400	966.8900	133	24.00
1	BV1	BI1	3.07	12.44	-0.24166	0.18177	907.2000	918.0900	914.1300	126	26.00
2	BV1	BI1	3.07	12.44	-0.84545	0.08342	892.8000	909.2000	904.8200	124	23.00
3	BV1	BI1	3.07	12.44	-1.10847	-1.41657	892.8000	893.2800	904.6200	124	24.00
1	BV1	BI2	3.07	42.35	-0.29246	2.24876	871.2000	892.4700	871.9200	121	26.00
2	BV1	BI2	3.07	42.35	-0.67567	2.24564	864.0000	894.4100	871.9400	120	25.00
3	BV1	BI2	3.07	42.35	-1.02405	0.53660	864.0000	879.8100	872.1500	120	24.00
1	BV1	TI1	3.07	46.83	0.65187	-0.60233	763.2000	762.5600	763.8700	106	26.00
2	BV1	TI1	3.07	46.83	-0.50919	-0.59436	756.0000	762.7200	763.9900	105	25.00
3	BV1	TI1	3.07	46.83	-0.72168	-2.27214	756.0000	750.7500	764.0200	105	24.00
1	BV1	TI2	3.07	23.85	-0.47951	1.39578	936.0000	957.2100	942.7900	130	26.00
2	BV1	TI2	3.07	23.85	-0.83624	1.38882	936.0000	960.4100	942.9200	130	25.00
3	BV1	TI2	3.07	23.85	-0.98101	-0.29724	928.8000	942.8300	943.0400	129	23.00
1	BV1	TI3	3.07	24.64	-0.30232	0.95161	921.6000	940.6000	928.6600	128	26.00
2	BV1	TI3	3.07	24.64	-0.59905	0.95414	921.6000	941.0700	928.9500	128	25.00
3	BV1	TI3	3.07	24.64	-0.76568	-0.58951	921.6000	930.5500	934.1200	128	23.00
1	BV2	BI1	3.30	12.44	-0.47349	3.45517	835.2000	874.1400	841.1300	116	24.00
2	BV2	BI1	3.30	12.44	-0.94647	3.45764	835.2000	874.6500	841.2700	116	23.00
3	BV2	BI1	3.30	12.44	-0.99801	1.63177	813.6000	842.0700	823.3500	113	26.00
1	BV2	BI2	3.30	42.35	-0.80711	7.98600	432.0000	471.7000	436.1800	60	24.00
2	BV2	BI2	3.30	42.35	-0.25272	7.99475	432.0000	471.4000	436.2900	60	23.00
3	BV2	BI2	3.30	42.35	-1.18735	6.13877	424.8000	463.2600	436.3100	59	26.00
1	BV2	TI1	3.30	46.83	-0.55891	2.53401	799.2000	827.1000	806.9600	111	25.00
2	BV2	TI1	3.30	46.83	-0.90967	2.83818	806.4000	845.2700	818.1900	112	23.00
3	BV2	TI1	3.30	46.83	-1.33043	1.08472	806.4000	828.9300	818.2800	112	26.00
1	BV2	TI2	3.30	23.85	-0.41918	4.89010	619.2000	656.1200	625.0100	86	25.00
2	BV2	TI2	3.30	23.85	-0.87934	5.47194	626.4000	669.3000	631.0100	87	23.00
3	BV2	TI2	3.30	23.85	-1.07571	1.06705	842.4000	866.0600	854.9500	117	26.00
1	BV2	TI3	3.30	24.64	-0.12031	4.60158	712.8000	748.7300	712.8600	99	25.00
2	BV2	TI3	3.30	24.64	-0.87764	4.59966	705.6000	749.4600	713.0100	98	23.00
3	BV2	TI3	3.30	24.64	-0.74507	3.01475	705.6000	735.8000	713.1000	98	24.00
1	TV1	BI1	3.02	12.44	-0.53745	3.64238	820.8000	858.5800	823.4000	114	25.00
2	TV1	BI1	3.02	12.44	-1.06284	3.60004	813.6000	856.4800	823.4200	113	25.00
3	TV1	BI1	3.02	12.44	0.14200	7.91700	381.6000	420.7400	388.3000	53	24.00
1	TV1	BI2	3.02	42.35	-1.47502	8.51934	403.2000	446.5400	410.1000	56	25.00
2	TV1	BI2	3.02	42.35	-1.66348	8.51705	403.2000	446.7300	410.1400	56	25.00
3	TV1	BI2	3.02	42.35	-1.83732	6.68109	396.0000	440.1600	410.2500	55	24.00
1	TV1	TI1	3.02	46.83	-0.83133	3.01991	799.2000	836.4500	808.0100	111	25.00
2	TV1	TI1	3.02	46.83	-1.53977	2.96780	799.2000	833.7000	809.4500	111	23.00
3	TV1	TI1	3.02	46.83	-1.93015	1.17270	792.0000	821.5700	809.7400	110	24.00
1	TV1	TI2	3.02	23.85	-0.58505	5.80625	597.6000	643.5200	606.1900	83	25.00
2	TV1	TI2	3.02	23.85	-0.50087	5.76527	597.6000	642.7200	606.6200	83	23.00
3	TV1	TI2	3.02	23.85	-5.37796	-0.28402	597.6000	630.4900	631.1200	83	23.20

1	TV1	TI3	3.02	24.64	-0.38332	4.85317	684.0000	726.8200	689.8200	95	25.00
2	TV1	TI3	3.02	24.64	-1.15159	4.84656	684.0000	724.1900	689.8700	95	24.00
3	TV1	TI3	3.02	24.64	-0.77704	3.10245	684.0000	713.3900	689.8500	95	25.00
1	TV2	BI1	2.89	12.44	-0.58253	2.94325	878.4000	914.2100	886.1700	122	25.00
2	TV2	BI1	2.89	12.44	-1.08866	1.42824	878.4000	900.4000	886.5600	122	24.00
3	TV2	BI1	2.89	12.44	-1.13823	1.32570	871.2000	899.9000	886.1400	121	24.00
1	TV2	BI2	2.89	42.35	-0.36914	6.60958	511.2000	548.8600	513.7300	71	25.00
2	TV2	BI2	2.89	42.35	-0.44865	5.03858	504.0000	539.5400	513.3900	70	24.00
3	TV2	BI2	2.89	42.35	-0.74760	4.77537	504.0000	539.0100	513.8700	70	25.00
1	TV2	TI1	2.89	46.83	-0.62901	2.38118	842.4000	869.1000	846.6100	117	25.00
2	TV2	TI1	2.89	46.83	-0.82123	0.84648	835.2000	857.1200	846.6800	116	24.00
3	TV2	TI1	2.89	46.83	-1.22130	0.65691	835.2000	855.2100	846.5800	116	25.00
1	TV2	TI2	2.89	23.85	-0.18877	4.67001	698.4000	741.3700	704.5100	97	25.00
2	TV2	TI2	2.89	23.85	-0.26278	3.14045	691.2000	722.4400	699.7000	96	24.00
3	TV2	TI2	2.89	23.85	-0.91529	2.94491	691.2000	723.0600	699.8400	96	25.00
1	TV2	TI3	2.89	24.64	-2.03194	2.08319	770.4000	807.3500	771.3100	107	25.00
2	TV2	TI3	2.89	24.64	-0.63750	2.41531	763.2000	795.2000	771.8100	106	24.00
3	TV2	TI3	2.89	24.64	-0.74945	2.25119	763.2000	793.4600	771.9300	106	25.00

Tabela 2 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 2 (Kd=7,2)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas	Temper.
1	V0	I0	0.80	0.25	-0.90272	-0.00381	957.6000	969.3800	966.0500	133	26.00
2	V0	I0	0.80	0.25	-0.48725	-0.30523	964.8000	966.2600	966.9800	134	24.20
3	V0	I0	0.80	0.25	-0.04713	-0.00934	964.8000	970.5100	968.8300	134	23.00
1	BV1	BI1	3.07	12.44	-1.17342	-1.76429	892.8000	874.2100	902.5800	124	24.30
2	BV1	BI1	3.07	12.44	-1.17342	-1.76429	892.8000	874.2100	902.5800	124	24.50
3	BV1	BI1	3.07	12.44	-0.18859	-1.35633	900.0000	894.9500	905.3800	125	22.00
1	BV1	BI2	3.07	42.35	-0.15887	0.68474	871.2000	881.9900	872.8100	121	24.50
2	BV1	BI2	3.07	42.35	0.63049	0.44850	878.4000	878.4600	871.6000	122	24.00
3	BV1	BI2	3.07	42.35	0.76905	0.73629	878.4000	879.3500	872.0200	122	22.00
1	BV1	TI1	3.07	46.83	-0.64929	-2.17665	763.2000	756.8700	772.4300	106	23.60
2	BV1	TI1	3.07	46.83	0.26126	-2.28782	763.2000	749.6500	763.4900	106	25.00
3	BV1	TI1	3.07	46.83	0.46520	-2.13150	763.2000	748.7200	764.2300	106	22.00
1	BV1	TI2	3.07	23.85	-0.28745	-0.99345	943.2000	942.4000	942.8700	131	25.40
2	BV1	TI2	3.07	23.85	-0.35349	-0.35428	936.0000	940.5300	942.4900	130	25.00
3	BV1	TI2	3.07	23.85	-0.01404	-0.17283	943.2000	945.3800	943.0900	131	24.00
1	BV1	TI3	3.07	24.64	-1.06265	-0.61588	921.6000	927.0600	929.2200	128	22.10
2	BV1	TI3	3.07	24.64	-0.76245	-0.67866	921.6000	925.8400	928.2000	128	24.90
3	BV1	TI3	3.07	24.64	-0.38694	-0.79997	921.6000	925.1400	928.8800	128	25.00
1	BV2	BI1	3.30	12.44	-0.32728	1.78292	835.2000	859.9000	841.4200	116	21.90
2	BV2	BI1	3.30	12.44	0.09089	1.79984	835.2000	855.7600	840.5300	116	24.90
3	BV2	BI1	3.30	12.44	0.25438	1.95746	842.4000	858.2500	841.1100	117	25.00
1	BV2	BI2	3.30	42.35	0.45087	6.10373	432.0000	464.4700	435.3900	60	25.70
2	BV2	BI2	3.30	42.35	0.82442	6.26179	439.2000	462.8800	436.0300	61	24.90
3	BV2	BI2	3.30	42.35	1.25728	6.09316	439.2000	463.6700	435.7300	61	25.00
1	BV2	TI1	3.30	46.83	-1.05764	1.27327	806.4000	832.1900	818.2400	112	26.60
2	BV2	TI1	3.30	46.83	-0.77797	1.09602	806.4000	829.1500	817.9800	112	23.00
3	BV2	TI1	3.30	46.83	-0.47628	1.05022	813.6000	830.2600	820.8700	113	23.00
1	BV2	TI2	3.30	23.85	0.37208	3.87882	633.6000	657.6200	630.3800	88	26.90
2	BV2	TI2	3.30	23.85	0.78589	3.76361	633.6000	655.4000	630.7100	88	23.00

3	BV2	TI2	3.30	23.85	1.24575	3.76516	633.6000	656.6000	629.9200	88	23.00
1	BV2	TI3	3.30	24.64	0.59222	2.70476	712.8000	733.5100	713.4700	99	23.10
2	BV2	TI3	3.30	24.64	1.20245	2.75831	720.0000	735.4100	712.7700	100	25.70
3	BV2	TI3	3.30	24.64	1.39666	2.87358	720.0000	734.6000	712.8500	100	23.00
1	TV1	BI1	3.02	12.44	-0.35951	1.91623	820.8000	840.2600	822.7800	114	24.50
2	TV1	BI1	3.02	12.44	0.05597	2.10761	820.8000	842.1800	823.0500	114	27.70
3	TV1	BI1	3.02	12.44	0.35044	1.99087	820.8000	841.4200	822.9000	114	24.00
1	TV1	BI2	3.02	42.35	0.02720	6.77213	403.2000	438.6300	409.5600	56	27.50
2	TV1	BI2	3.02	42.35	-0.00640	6.61877	403.2000	439.5000	410.0500	56	23.00
3	TV1	BI2	3.02	42.35	1.58009	6.29213	439.2000	465.3700	435.7800	61	24.00
1	TV1	TI1	3.02	46.83	-1.29190	1.30086	799.2000	822.5900	809.5100	111	27.60
2	TV1	TI1	3.02	46.83	-1.14670	1.17879	799.2000	821.2500	808.6600	111	24.30
3	TV1	TI1	3.02	46.83	-0.51139	1.11199	799.2000	816.0200	802.9200	111	24.00
1	TV1	TI2	3.02	23.85	0.13144	4.19881	604.8000	633.8600	606.6600	84	27.80
2	TV1	TI2	3.02	23.85	0.73005	3.97783	604.8000	633.0200	606.1800	84	24.60
3	TV1	TI2	3.02	23.85	0.90218	4.03689	612.0000	632.2300	606.1700	85	24.00
1	TV1	TI3	3.02	24.64	0.77303	3.23181	691.2000	716.4200	690.3500	96	23.80
2	TV1	TI3	3.02	24.64	1.58362	3.33579	698.4000	715.6200	689.9900	97	23.00
3	TV1	TI3	3.02	24.64	1.53820	3.15207	698.4000	711.6600	689.4100	97	24.00
1	TV2	BI1	2.89	12.44	-0.64334	1.37200	878.4000	901.7600	886.3700	122	24.40
2	TV2	BI1	2.89	12.44	0.39368	1.39029	885.6000	900.8000	885.9000	123	23.00
3	TV2	BI1	2.89	12.44	0.13211	1.32327	885.6000	900.8200	886.4700	123	23.00
1	TV2	BI2	2.89	42.35	0.49784	4.73655	518.4000	547.2000	518.9300	72	26.90
2	TV2	BI2	2.89	42.35	0.81065	4.99392	518.4000	541.9400	513.3400	72	23.00
3	TV2	BI2	2.89	42.35	1.52619	3.72208	511.2000	524.8300	503.4200	71	23.00
1	TV2	TI1	2.89	46.83	-1.28194	0.67536	835.2000	854.9500	846.6500	116	26.40
2	TV2	TI1	2.89	46.83	-1.07929	0.83156	835.2000	856.6900	846.4200	116	23.00
3	TV2	TI1	2.89	46.83	-0.36952	0.85157	842.4000	858.6100	846.4300	117	24.00
1	TV2	TI2	2.89	23.85	0.35020	3.09037	698.4000	723.2900	699.8800	97	25.10
2	TV2	TI2	2.89	23.85	0.92458	3.16294	705.6000	723.6900	699.5300	98	27.00
3	TV2	TI2	2.89	23.85	1.06732	3.11547	705.6000	723.5900	699.4000	98	26.00
1	TV2	TI3	2.89	24.64	0.41139	2.22922	770.4000	794.6400	772.1200	107	24.70
2	TV2	TI3	2.89	24.64	1.08244	2.46520	777.6000	795.8300	771.7700	108	26.50
3	TV2	TI3	2.89	24.64	1.49688	2.17511	777.6000	790.5900	771.6000	108	25.00

Tabela 3 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos Amostra 3 (Kd=3,6)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas	Temper.
1	V0	I0	0.80	0.25	-0.03686	0.02558	968.4000	969.5900	966.8100	269	25.30
2	V0	I0	0.80	0.25	1.36976	-0.06975	982.8000	970.0900	967.4500	273	22.00
3	V0	I0	0.80	0.25	0.01919	-0.27188	968.4000	965.1700	966.4200	269	23.00
1	BV1	BI1	3.07	12.44	0.32427	-1.40087	907.2000	894.5200	904.6300	252	25.30
2	BV1	BI1	3.07	12.44	1.63073	-1.46301	921.6000	894.1200	903.9400	256	22.00
3	BV1	BI1	3.07	12.44	0.27300	-1.15385	907.2000	895.4000	904.2800	252	23.00
1	BV1	BI2	3.07	42.35	0.46058	0.73686	874.8000	881.1900	871.7200	243	25.00
2	BV1	BI2	3.07	42.35	1.72474	0.57457	882.0000	872.7800	866.1700	245	22.00
3	BV1	BI2	3.07	42.35	0.39728	0.66486	874.8000	878.1100	870.7400	243	23.00
1	BV1	TI1	3.07	46.83	1.52877	-2.12337	774.0000	750.1700	763.9600	215	25.00
2	BV1	TI1	3.07	46.83	3.31215	-2.32903	788.4000	746.8000	763.1600	219	23.20
3	BV1	TI1	3.07	46.83	1.59100	-2.13252	774.0000	748.7700	762.7600	215	24.00
1	BV1	TI2	3.07	23.85	-0.00603	-0.25676	943.2000	943.5700	943.0900	262	24.10

2	BV1	TI2	3.07	23.85	1.13842	0.03912	954.0000	946.9900	941.5700	265	24.20
3	BV1	TI2	3.07	23.85	-0.11524	-0.24739	943.2000	943.7600	941.1600	262	25.00
1	BV1	TI3	3.07	24.64	-0.34540	-0.51719	928.8000	925.3100	928.6200	258	24.80
2	BV1	TI3	3.07	24.64	0.67363	-0.69414	936.0000	924.6600	927.6000	260	24.20
3	BV1	TI3	3.07	24.64	-0.45446	-0.59136	925.2000	926.2300	927.8700	257	25.00
1	BV2	BI1	3.30	12.44	-0.11392	1.92207	838.8000	859.5900	841.1300	233	25.00
2	BV2	BI1	3.30	12.44	1.26227	1.99817	849.6000	861.6300	840.2900	236	24.50
3	BV2	BI1	3.30	12.44	-0.20154	1.92572	838.8000	859.7100	840.6100	233	25.00
1	BV2	BI2	3.30	42.35	0.51727	6.15748	435.6000	464.0800	435.9100	121	25.00
2	BV2	BI2	3.30	42.35	3.55270	6.48286	450.0000	466.0400	435.5400	125	23.00
3	BV2	BI2	3.30	42.35	-0.06133	6.43007	435.6000	466.2200	435.2800	121	23.00
1	BV2	TI1	3.30	46.83	-1.06014	1.09412	810.0000	827.7400	817.9600	225	25.00
2	BV2	TI1	3.30	46.83	0.08214	1.19117	817.2000	830.7400	817.6800	227	23.00
3	BV2	TI1	3.30	46.83	-1.14419	1.00147	806.4000	828.1100	817.8900	224	23.00
1	BV2	TI2	3.30	23.85	0.41686	3.68489	633.6000	655.1500	630.4600	176	25.00
2	BV2	TI2	3.30	23.85	2.71584	3.81931	648.0000	656.7200	629.6100	180	23.00
3	BV2	TI2	3.30	23.85	0.27876	3.93168	630.0000	657.1100	630.0500	175	23.00
1	BV2	TI3	3.30	24.64	0.94685	2.87983	741.6000	760.9600	736.2400	206	25.00
2	BV2	TI3	3.30	24.64	2.58021	2.83818	730.8000	733.6400	712.3800	203	22.00
3	BV2	TI3	3.30	24.64	0.74586	3.11387	720.0000	736.9100	712.8400	200	23.00
1	TV1	BI1	3.02	12.44	-0.26654	1.97950	820.8000	840.9100	823.8100	228	24.80
2	TV1	BI1	3.02	12.44	0.86976	1.89111	831.6000	841.8800	822.7800	231	22.80
3	TV1	BI1	3.02	12.44	-0.64106	2.12153	820.8000	842.5000	823.0600	228	24.00
1	TV1	BI2	3.02	42.35	-0.22064	6.73411	406.8000	440.0200	409.8400	113	24.80
2	TV1	BI2	3.02	42.35	2.71437	6.67099	406.8000	424.8700	397.6300	113	22.80
3	TV1	BI2	3.02	42.35	-1.04317	6.70303	403.2000	438.0500	409.5600	112	24.00
1	TV1	TI1	3.02	46.83	-1.49765	1.23524	799.2000	823.2500	809.2800	222	24.80
2	TV1	TI1	3.02	46.83	-0.37549	1.11403	792.0000	804.4300	795.1600	220	23.00
3	TV1	TI1	3.02	46.83	-1.26495	1.40166	795.6000	821.9200	808.7800	221	24.00
1	TV1	TI2	3.02	23.85	0.25213	4.31738	608.4000	634.6900	606.3700	169	24.80
2	TV1	TI2	3.02	23.85	2.24532	3.82655	615.6000	621.0300	603.4400	171	24.00
3	TV1	TI2	3.02	23.85	-0.01006	4.14942	604.8000	631.9800	605.9600	168	24.00
1	TV1	TI3	3.02	24.64	0.80911	3.14036	694.8000	712.8000	689.6400	193	24.80
2	TV1	TI3	3.02	24.64	2.84974	3.10412	709.2000	712.8300	689.5100	197	24.00
3	TV1	TI3	3.02	24.64	0.53454	3.12474	694.8000	715.7800	689.4700	193	24.00
1	TV2	BI1	2.89	12.44	-0.31177	1.32460	885.6000	899.5300	886.1100	246	25.00
2	TV2	BI1	2.89	12.44	0.86031	1.52464	896.4000	903.2000	885.4600	249	24.00
3	TV2	BI1	2.89	12.44	-0.33740	1.43644	882.0000	900.5400	885.6100	245	25.00
1	TV2	BI2	2.89	42.35	1.01306	4.81542	518.4000	540.6800	513.5000	144	25.00
2	TV2	BI2	2.89	42.35	3.47523	4.92402	532.8000	540.3400	513.1300	148	24.00
3	TV2	BI2	2.89	42.35	0.57753	4.98847	514.8000	541.9300	513.0100	143	25.00
1	TV2	TI1	2.89	46.83	-0.91900	0.62758	838.8000	854.6900	846.6200	233	25.00
2	TV2	TI1	2.89	46.83	0.11654	0.99535	842.4000	851.9400	839.5700	234	24.00
3	TV2	TI1	2.89	46.83	-0.76635	0.59020	838.8000	852.4100	846.5100	233	23.00
1	TV2	TI2	2.89	23.85	0.73215	3.29496	705.6000	724.7200	699.5200	196	25.00
2	TV2	TI2	2.89	23.85	2.53285	3.32200	698.4000	706.0900	681.8700	194	24.00
3	TV2	TI2	2.89	23.85	0.84032	3.02086	702.0000	723.3600	699.0800	195	23.00
1	TV2	TI3	2.89	24.64	1.01996	2.20080	777.6000	791.1400	771.8400	216	24.00
2	TV2	TI3	2.89	24.64	2.59957	2.49223	784.8000	784.1500	763.1700	218	24.00
3	TV2	TI3	2.89	24.64	0.79089	2.28231	777.6000	792.1800	771.5000	216	23.00

Tabela 4 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos do tipo da Amostra 4 (Kd=7,2)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas	Temper.
1	V0	I0	0.80	0.25	0.48957	-0.08915	972.0000	969.4700	968.7100	135	23
2	V0	I0	0.80	0.25	1.00515	-0.17834	972.0000	967.7400	966.3000	135	23
3	V0	I0	0.80	0.25	0.77868	-0.16035	972.0000	964.8400	965.5300	135	22
1	BV1	BI1	3.07	12.44	-0.67172	-2.66860	914.4000	893.3600	904.8980	127	25
2	BV1	BI1	3.07	12.44	1.30860	-1.47426	914.4000	893.1800	903.5700	127	23
3	BV1	BI1	3.07	12.44	1.14485	-1.50622	914.4000	892.0600	903.3200	127	22
1	BV1	BI2	3.07	42.35	-0.89462	-0.58566	871.2000	873.7800	867.1600	121	26
2	BV1	BI2	3.07	42.35	1.07072	0.62977	878.4000	878.1500	871.0800	122	23
3	BV1	BI2	3.07	42.35	0.93844	0.57962	878.4000	878.8700	870.9900	122	22
1	BV1	TI1	3.07	46.83	0.61179	-3.33004	777.6000	749.5200	761.9650	108	26
2	BV1	TI1	3.07	46.83	2.69342	-2.14370	784.8000	747.0000	763.1100	109	24
3	BV1	TI1	3.07	46.83	2.51981	-2.03289	784.8000	753.8900	768.5200	109	24
1	BV1	TI2	3.07	23.85	-1.20228	-1.78998	943.2000	944.9100	942.9700	131	26
2	BV1	TI2	3.07	23.85	0.81921	-0.19642	921.6000	914.2700	911.8600	128	25
3	BV1	TI2	3.07	23.85	0.86815	-0.25931	950.4000	943.1300	941.6200	132	24
1	BV1	TI3	3.07	24.64	-1.69609	-2.24379	928.8000	927.2300	929.0400	129	26
2	BV1	TI3	3.07	24.64	0.45255	-1.31704	921.6000	925.4000	921.7700	128	24
3	BV1	TI3	3.07	24.64	0.46146	-0.69113	928.8000	922.8400	927.4500	129	24
1	BV2	BI1	3.30	12.44	-1.42188	0.17851	842.4000	860.0700	840.1740	117	24
2	BV2	BI1	3.30	12.44	0.59170	1.80409	842.4000	860.0900	840.5400	117	23
3	BV2	BI1	3.30	12.44	0.79694	1.71787	842.4000	855.8900	840.2100	117	24
1	BV2	BI2	3.30	42.35	1.02715	4.53889	446.4000	466.9700	435.1820	62	23
2	BV2	BI2	3.30	42.35	2.55816	6.21016	446.4000	465.4200	435.4700	62	23
3	BV2	BI2	3.30	42.35	3.80947	6.38812	439.2000	452.3900	423.8100	61	24
1	BV2	TI1	3.30	46.83	-2.09905	-0.44428	813.6000	832.4300	818.4400	113	23
2	BV2	TI1	3.30	46.83	-0.17796	1.18545	813.6000	828.1800	817.7900	113	22
3	BV2	TI1	3.30	46.83	0.14050	1.13661	813.6000	827.6600	817.1200	113	24
1	BV2	TI2	3.30	23.85	-0.15852	2.09486	640.8000	658.6200	630.0560	89	23
2	BV2	TI2	3.30	23.85	1.88347	3.77017	640.8000	656.9100	630.4800	89	21
3	BV2	TI2	3.30	23.85	2.39091	3.74189	640.8000	654.3800	629.6300	89	24
1	BV2	TI3	3.30	24.64	-0.21814	1.25083	720.0000	736.5800	712.1780	100	23
2	BV2	TI3	3.30	24.64	1.77483	2.92479	727.2000	734.9800	712.6800	101	21
3	BV2	TI3	3.30	24.64	2.25463	2.88592	727.2000	734.8400	711.8200	101	25
1	TV1	BI1	3.02	12.44	-1.53749	0.30860	820.8000	840.7300	823.2900	114	23
2	TV1	BI1	3.02	12.44	0.68149	1.95934	828.0000	845.0200	825.6000	115	21
3	TV1	BI1	3.02	12.44	0.96456	1.91797	828.0000	838.1600	822.4900	115	25
1	TV1	BI2	3.02	42.35	-1.20999	6.71320	417.6000	439.6200	409.8300	122	23
2	TV1	BI2	3.02	42.35	2.09471	6.73432	417.6000	439.6100	409.9200	58	21
3	TV1	BI2	3.02	42.35	3.22221	6.71018	417.6000	439.6700	409.6900	58	26
1	TV1	TI1	3.02	46.83	-0.70329	1.37130	799.2000	824.4300	809.3500	111	26
2	TV1	TI1	3.02	46.83	-0.27452	1.33187	806.4000	823.8500	808.6700	112	23
3	TV1	TI1	3.02	46.83	-0.15484	1.27505	806.4000	818.8000	808.4000	112	25
1	TV1	TI2	3.02	23.85	1.28755	4.09369	612.0000	633.2000	606.6300	85	26
2	TV1	TI2	3.02	23.85	1.57629	4.03794	612.0000	633.6300	606.2700	85	24
3	TV1	TI2	3.02	23.85	2.25856	4.01802	619.2000	632.4300	605.8300	86	27
1	TV1	TI3	3.02	24.64	1.63455	3.19685	698.4000	713.2100	689.5600	97	26
2	TV1	TI3	3.02	24.64	1.86729	3.15219	698.4000	715.5500	689.2500	97	24

3	TV1	TI3	3.02	24.64	2.47605	3.14980	705.6000	710.9000	688.5800	98	27
1	TV2	BI1	2.89	12.44	0.34115	1.33062	885.6000	900.0600	885.8300	123	27
2	TV2	BI1	2.89	12.44	0.76032	1.29076	892.8000	901.2000	885.5300	124	24
3	TV2	BI1	2.89	12.44	0.86472	1.23616	892.8000	897.2800	884.8100	124	27
1	TV2	BI2	2.89	42.35	3.60883	4.90775	525.6000	539.5800	513.7800	73	28
2	TV2	BI2	2.89	42.35	3.26298	4.93316	525.6000	539.2800	513.3000	73	22
3	TV2	BI2	2.89	42.35	3.61568	4.83458	532.8000	540.5800	513.1000	74	27
1	TV2	TI1	2.89	46.83	-0.30883	0.78092	842.4000	855.8900	847.0100	117	22
2	TV2	TI1	2.89	46.83	0.13716	0.78610	842.4000	852.3900	842.8700	117	22
3	TV2	TI1	2.89	46.83	0.34471	0.54308	842.4000	851.7500	842.5400	117	27
1	TV2	TI2	2.89	23.85	1.56449	3.05224	705.6000	724.2300	699.9400	98	22
2	TV2	TI2	2.89	23.85	1.89431	3.00654	712.8000	721.5600	699.2200	99	22
3	TV2	TI2	2.89	23.85	2.51274	2.96053	712.8000	721.7300	698.7700	99	27
1	TV2	TI3	2.89	24.64	1.33802	2.36406	777.6000	792.0000	772.2000	108	22
2	TV2	TI3	2.89	24.64	1.74751	2.27107	784.8000	792.7200	771.7600	109	23
3	TV2	TI3	2.89	24.64	2.40873	2.25871	784.8000	789.7800	771.1700	109	27

Tabela 5 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 5 (Kd=7,2)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL IT	T.H.D.V	T.H.D.I	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas	Temper.
1	V0	I0	0.80	0.25	-0.47577	-0.11712	964.8000	972.4200	968.6800	134	26.00
2	V0	I0	0.80	0.25	0.37690	-0.12062	972.0000	968.5100	966.9800	135	25.00
3	V0	I0	0.80	0.25	-0.38698	-0.15384	964.8000	969.4900	968.1800	134	23.10
1	BV1	BI1	3.07	12.44	-0.20522	-1.48195	900.0000	896.3500	907.3900	125	26.00
2	BV1	BI1	3.07	12.44	0.26433	-1.47684	907.2000	893.6500	904.7100	126	25.00
3	BV1	BI1	3.07	12.44	-0.43134	-1.38611	900.0000	897.2600	906.8800	125	24.50
1	BV1	BI2	3.07	42.35	-0.00502	0.65990	871.2000	880.3500	872.1200	121	24.00
2	BV1	BI2	3.07	42.35	0.89636	0.61237	878.4000	879.4000	871.9900	122	23.90
3	BV1	BI2	3.07	42.35	0.06379	0.67207	871.2000	883.0400	873.2000	121	24.50
1	BV1	TI1	3.07	46.83	0.40374	-2.07603	763.2000	749.5100	764.1100	106	24.00
2	BV1	TI1	3.07	46.83	0.78872	-2.12557	770.4000	749.0200	763.9000	107	24.20
3	BV1	TI1	3.07	46.83	0.47327	-2.12573	763.2000	748.8400	763.6600	106	23.70
1	BV1	TI2	3.07	23.85	0.10055	3.71850	626.4000	658.0100	630.8500	87	22.00
2	BV1	TI2	3.07	23.85	0.34422	-0.29523	914.4000	910.1400	912.8100	127	24.30
3	BV1	TI2	3.07	23.85	-0.39000	-0.23287	936.0000	944.4300	942.5300	130	24.70
1	BV1	TI3	3.07	24.64	-0.37429	-0.74235	921.6000	924.1400	928.7700	128	23.60
2	BV1	TI3	3.07	24.64	0.54620	-0.49504	928.8000	927.1000	928.6500	129	24.20
3	BV1	TI3	3.07	24.64	-0.35244	-0.72443	921.6000	925.6600	928.1500	128	25.70
1	BV2	BI1	3.30	12.44	0.01188	1.76334	835.2000	858.7800	841.3800	116	22.00
2	BV2	BI1	3.30	12.44	1.08333	1.92631	849.6000	859.3100	841.0400	118	25.40
3	BV2	BI1	3.30	12.44	-0.01908	1.94412	842.4000	859.1500	840.7100	117	23.30
1	BV2	BI2	3.30	42.35	0.30393	6.22461	439.2000	470.1900	442.3100	61	22.00
2	BV2	BI2	3.30	42.35	2.50553	6.36094	446.4000	465.2600	436.2900	62	26.00
3	BV2	BI2	3.30	42.35	0.43432	6.15146	432.0000	464.9800	435.5700	60	23.70
1	BV2	TI1	3.30	46.83	-0.42214	1.05138	806.4000	826.5400	813.7900	112	25.00
2	BV2	TI1	3.30	46.83	0.54087	1.21267	820.8000	831.4000	818.2100	114	26.10
3	BV2	TI1	3.30	46.83	-0.19981	1.37338	799.2000	813.7300	801.0600	111	24.00
1	BV2	TI2	3.30	23.85	0.04255	3.58421	626.4000	654.0000	631.0500	87	25.00
2	BV2	TI2	3.30	23.85	1.84287	3.83890	640.8000	657.2500	630.7300	89	26.10
3	BV2	TI2	3.30	23.85	0.45383	3.76413	633.6000	655.6500	630.2800	88	24.00
1	BV2	TI3	3.30	24.64	0.17622	2.89452	712.8000	735.1500	713.0600	99	26.00

2	BV2	TI3	3.30	24.64	1.80910	2.96899	720.0000	736.8900	712.9000	100	26.10
3	BV2	TI3	3.30	24.64	0.26876	2.81038	712.8000	734.5000	712.5300	99	25.30
1	TV1	BI1	3.02	12.44	-0.19839	1.96282	820.8000	841.5400	823.1200	114	25.00
2	TV1	BI1	3.02	12.44	1.23621	2.13119	828.0000	844.0700	823.0800	115	25.00
3	TV1	BI1	3.02	12.44	-0.02446	2.04944	820.8000	842.7400	822.6200	114	25.70
1	TV1	BI2	3.02	42.35	-0.32123	6.89717	403.2000	439.0400	410.0000	56	25.00
2	TV1	BI2	3.02	42.35	2.12090	6.85856	417.6000	440.1300	409.5300	58	23.60
3	TV1	BI2	3.02	42.35	0.04280	6.90111	403.2000	439.9800	409.6200	56	25.00
1	TV1	TI1	3.02	46.83	-0.64414	1.44335	799.2000	821.5400	809.0400	111	25.00
2	TV1	TI1	3.02	46.83	0.20625	1.28196	813.6000	823.0900	809.1600	113	23.60
3	TV1	TI1	3.02	46.83	-0.52600	1.16500	799.2000	822.4200	809.5400	111	25.30
1	TV1	TI2	3.02	23.85	-0.02805	4.12371	604.8000	633.7200	606.6400	84	24.00
2	TV1	TI2	3.02	23.85	1.84240	4.15042	612.0000	635.8400	606.4400	85	23.80
3	TV1	TI2	3.02	23.85	0.45600	3.77404	597.6000	621.1800	595.9700	83	25.70
1	TV1	TI3	3.02	24.64	0.24105	3.04446	691.2000	713.9400	690.0200	96	24.00
2	TV1	TI3	3.02	24.64	2.01847	3.24689	698.4000	712.3800	689.6600	97	23.80
3	TV1	TI3	3.02	24.64	0.62210	3.19153	691.2000	715.5800	689.7000	96	24.50
1	TV2	BI1	2.89	12.44	-0.37623	1.29237	885.6000	899.5300	886.1800	123	24.00
2	TV2	BI1	2.89	12.44	1.04483	1.36961	892.8000	902.2400	885.9800	124	23.80
3	TV2	BI1	2.89	12.44	0.00265	1.30060	885.6000	900.1000	885.8100	123	24.50
1	TV2	BI2	2.89	42.35	0.17800	4.67800	511.2000	539.1200	513.1100	71	24.00
2	TV2	BI2	2.89	42.35	2.42507	4.81929	525.6000	540.1900	513.7900	73	25.40
3	TV2	BI2	2.89	42.35	1.09397	4.86032	511.2000	541.6200	513.2800	71	25.70
1	TV2	TI1	2.89	46.83	-0.51700	0.59000	835.2000	851.6000	842.9400	116	24.00
2	TV2	TI1	2.89	46.83	0.52116	-1.48112	835.2000	797.0300	829.6400	116	25.90
3	TV2	TI1	2.89	46.83	-0.43520	0.79777	842.4000	855.0800	846.4700	117	23.70
1	TV2	TI2	2.89	23.85	0.25502	3.05537	698.4000	724.8200	699.7600	97	22.00
2	TV2	TI2	2.89	23.85	1.90027	3.08978	712.8000	723.4900	699.5100	99	25.40
3	TV2	TI2	2.89	23.85	0.40438	3.16503	698.4000	724.0200	699.3700	97	24.70
1	TV2	TI3	2.89	24.64	0.09562	2.34921	770.4000	792.6700	772.1500	107	23.60
2	TV2	TI3	2.89	24.64	1.87841	2.47717	777.6000	785.6500	763.7500	108	25.40
3	TV2	TI3	2.89	24.64	0.26774	2.45036	770.4000	793.6400	771.6100	107	25.30

Tabela 6 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 6 (Kd=10,8)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N.Voltas	Temper.
1	V0	I0	0.80	0.25	-0.54697	-0.23223	1447.20	1451.03	1452.30	134	25.00
2	V0	I0	0.80	0.25	-0.62614	-0.15228	1436.40	1452.88	1452.50	133	23.00
3	V0	I0	0.80	0.25	-0.36988	-0.13546	1458.00	1457.32	1456.70	135	25.90
1	TV1	TRI1	3.02	46.80	-0.61586	1.41377	1198.80	1231.31	1212.30	111	26.00
2	TV1	TRI1	3.02	46.80	-0.86718	1.55973	1198.80	1234.93	1213.20	111	23.00
3	TV1	TRI1	3.02	46.80	-0.44615	1.40677	1209.60	1236.21	1217.20	112	26.50
1	TV1	INDI1	3.02	18.40	-0.12211	3.45022	1036.80	1087.08	1048.40	96	26.00
2	TV1	INDI1	3.02	18.40	-0.34520	3.30909	1036.80	1087.87	1048.70	96	24.00
3	TV1	INDI1	3.02	18.40	0.26444	3.38594	1047.60	1089.69	1051.90	97	26.50
1	TV1	INDI2	3.02	4.46	0.02235	2.39198	1188.00	1227.25	1195.30	110	22.90
2	TV1	INDI2	3.02	4.46	-0.21568	2.49822	1188.00	1228.02	1196.20	110	25.00
3	TV1	INDI2	3.02	4.46	0.39014	2.43026	1198.80	1231.93	1200.60	111	26.50
1	TV1	RUI2	3.02	7.18	-0.37603	2.88907	1134.00	1170.36	1135.60	105	22.90
2	TV1	RUI2	3.02	7.18	-0.46861	2.92624	1123.20	1165.29	1131.80	104	25.00
3	TV1	RUI2	3.02	7.18	0.19855	2.88417	1134.00	1171.02	1136.20	105	25.00

1	TV1	RUI3	3.02	7.54	-0.30404	2.69600	1155.60	1196.03	1162.50	107	24.20
2	TV1	RUI3	3.02	7.54	-0.19663	2.65514	1144.80	1189.80	1156.30	106	27.00
3	TV1	RUI3	3.02	7.54	0.18813	2.69929	1166.40	1196.64	1162.80	108	25.00
1	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-0.18084	0.40849	1285.20	1297.93	1290.90	119	26.00
2	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-0.46594	0.41523	1274.40	1296.10	1286.50	118	26.00
3	INDV1	TRI1	4.76	46.80	0.15300	0.41260	1296.00	1299.32	1291.70	120	25.00
1	INDV1	INDI1	4.76	18.40	0.11800	2.02651	1242.00	1275.73	1248.30	115	26.00
2	INDV1	INDI1	4.76	18.40	-0.10893	1.97856	1242.00	1274.25	1247.60	115	27.00
3	INDV1	INDI1	4.76	18.40	0.43684	1.95716	1252.80	1276.00	1249.50	116	28.50
1	INDV1	INDI2	4.76	4.46	-0.33238	1.32984	1350.00	1381.03	1360.30	125	27.60
2	INDV1	INDI2	4.76	4.46	-0.17130	1.32094	1350.00	1379.50	1359.30	125	27.00
3	INDV1	INDI2	4.76	4.46	0.02154	1.28834	1360.80	1381.41	1361.30	126	28.00
1	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-0.31167	1.63671	1306.80	1336.60	1312.80	121	25.90
2	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-0.28366	1.51124	1306.80	1335.03	1311.70	121	25.00
3	INDV1	RUI2	4.76	7.18	0.12983	1.64454	1317.60	1336.46	1312.40	122	28.30
1	INDV1	RUI3	4.76	7.54	-0.00761	1.49509	1328.40	1350.77	1328.20	123	25.40
2	INDV1	RUI3	4.76	7.54	-0.40194	1.36964	1317.60	1348.95	1327.50	122	25.00
3	INDV1	RUI3	4.76	7.54	0.02730	1.43898	1328.40	1352.16	1330.70	123	25.90
1	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-0.36028	3.10080	1015.20	1057.63	1023.60	94	24.00
2	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-0.43473	2.86966	1015.20	1049.51	1021.70	94	27.00
3	INDV2	TRI1	1.89	46.80	0.07378	2.99922	1026.00	1058.02	1024.80	95	24.00
1	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-0.05368	6.49470	723.60	779.10	730.80	67	24.00
2	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-0.38092	6.38533	723.60	779.02	730.20	67	27.00
3	INDV2	INDI1	1.89	18.40	0.85943	6.38479	734.40	779.30	731.78	68	24.00
1	INDV2	INDI2	1.89	4.46	-0.09336	4.56207	918.00	965.17	921.14	85	23.00
2	INDV2	INDI2	1.89	4.46	-0.26135	4.63194	907.20	961.75	917.31	84	27.00
3	INDV2	INDI2	1.89	4.46	0.46487	4.60967	918.00	966.02	920.90	85	23.00
1	INDV2	RUI2	1.89	7.18	0.31613	5.42897	831.60	878.02	831.53	77	25.10
2	INDV2	RUI2	1.89	7.18	-0.15729	5.57409	820.80	876.04	829.37	76	27.00
3	INDV2	RUI2	1.89	7.18	0.61220	5.45781	831.60	878.83	832.27	77	23.00
1	INDV2	RUI3	1.89	7.54	-0.16856	4.99430	864.00	915.84	870.93	80	24.60
2	INDV2	RUI3	1.89	7.54	-0.16685	5.08351	864.00	917.11	870.73	80	27.00
3	INDV2	RUI3	1.89	7.54	0.55454	5.02145	874.80	917.62	872.28	81	24.60
1	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-0.77022	2.14706	1112.40	1148.85	1123.20	103	25.80
2	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-0.89097	2.08253	1112.40	1153.72	1128.50	103	26.00
3	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-0.36279	2.23553	1112.40	1149.98	1123.10	103	25.70
1	RUV2	INDI1	2.86	18.40	-0.35265	4.86570	874.80	922.27	877.43	81	25.80
2	RUV2	INDI1	2.86	18.40	-0.34471	4.70331	874.80	921.74	878.41	81	24.00
3	RUV2	INDI1	2.86	18.40	0.35147	4.87290	874.80	924.37	879.13	81	25.80
1	RUV2	INDI2	2.86	4.46	-0.09828	3.62027	1047.60	1092.60	1052.30	97	26.00
2	RUV2	INDI2	2.86	4.46	-0.72200	3.61000	1048.00	1094.00	1054.00	97	24.00
3	RUV2	INDI2	2.86	4.46	0.32643	3.57583	1058.40	1094.44	1054.20	98	26.00
1	RUV2	RUI2	2.86	7.18	-0.34841	4.20220	972.00	1016.74	973.73	90	25.00
2	RUV2	RUI2	2.86	7.18	-0.60752	3.98593	972.00	1016.16	975.90	90	22.00
3	RUV2	RUI2	2.86	7.18	0.22860	4.18464	972.00	1017.94	975.20	90	25.00
1	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-0.03687	4.00164	1004.40	1055.28	1012.90	93	24.00
2	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-0.71900	3.90700	1004.00	1055.00	1014.00	93	22.00
3	RUV2	RUI3	2.86	7.54	0.45913	3.84989	1015.20	1055.06	1013.40	94	24.00
1	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-0.30806	0.38996	1285.20	1298.08	1290.20	119	24.00
2	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-0.60530	0.34725	1274.40	1297.84	1290.60	118	22.00

3	RUV3	TRI1	2.49	46.80	0.01387	0.54168	1285.20	1300.11	1291.30	119	24.00
1	RUV3	INDI1	2.49	18.40	0.03113	2.17068	1231.20	1261.36	1232.20	114	24.00
2	RUV3	INDI1	2.49	18.40	-0.08958	1.90940	1231.20	1258.30	1232.80	114	22.00
3	RUV3	INDI1	2.49	18.40	0.51236	2.09088	1231.20	1245.99	1232.10	114	24.00
1	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-0.35724	1.40912	1339.20	1370.50	1348.70	124	25.90
2	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-0.44602	1.40616	1339.20	1370.48	1349.20	124	22.00
3	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-0.01260	1.38866	1350.00	1371.48	1349.50	125	24.00
1	RUV3	RUI2	2.49	7.18	-0.32501	1.74683	1296.00	1324.35	1299.60	120	26.10
2	RUV3	RUI2	2.49	7.18	0.31729	1.74663	1296.00	1324.82	1299.70	120	22.00
3	RUV3	RUI2	2.49	7.18	0.35946	1.56248	1296.00	1324.37	1301.30	120	25.90
1	RUV3	RUI3	2.49	7.54	-0.37294	1.56606	1317.60	1341.52	1318.40	122	28.00
2	RUV3	RUI3	2.49	7.54	-0.42642	1.55692	1306.80	1341.56	1318.50	121	22.00
3	RUV3	RUI3	2.49	7.54	0.17558	1.57357	1317.60	1342.69	1319.40	122	26.10

Tabela 7 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 7 (Kd=10,8)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N.Voltas	Temper.
1	V0	I0	0.80	0.25	-0.15693	-0.15334	1447.20	1452.69	1452.40	134	25.90
2	V0	I0	0.80	0.25	-0.23011	-0.14047	1447.20	1457.31	1456.80	134	22.70
3	V0	I0	0.80	0.25	-0.09693	-0.15227	1447.20	1454.50	1453.60	134	25.30
1	TV1	TRI1	3.02	46.80	-1.87088	1.43991	1188.00	1235.53	1215.60	110	26.60
2	TV1	TRI1	3.02	46.80	-2.11700	1.44400	1188.00	1236.00	1217.00	110	24.00
3	TV1	TRI1	3.02	46.80	-1.25823	1.43398	1198.80	1236.56	1216.60	111	26.00
1	TV1	INDI1	3.02	18.40	-0.49568	3.48847	1036.80	1089.59	1050.90	96	27.00
2	TV1	INDI1	3.02	18.40	-0.39639	3.14941	1026.00	1068.76	1031.20	95	25.00
3	TV1	INDI1	3.02	18.40	-0.11686	3.42658	1047.60	1089.29	1051.60	97	26.00
1	TV1	INDI2	3.02	4.46	-0.12234	2.51410	1198.80	1232.39	1199.60	111	26.00
2	TV1	INDI2	3.02	4.46	-0.22696	2.48543	1188.00	1232.55	1200.50	110	25.00
3	TV1	INDI2	3.02	4.46	0.07944	2.47429	1198.80	1231.85	1200.30	111	26.00
1	TV1	RUI2	3.02	7.18	-0.37957	2.95770	1123.20	1169.33	1133.90	104	26.00
2	TV1	RUI2	3.02	7.18	-0.49790	2.96350	1123.20	1170.86	1134.60	104	25.00
3	TV1	RUI2	3.02	7.18	-0.05705	2.97925	1134.00	1170.93	1134.50	105	26.00
1	TV1	RUI3	3.02	7.54	0.12325	2.75259	1155.60	1196.05	1161.80	107	26.00
2	TV1	RUI3	3.02	7.54	-0.35963	2.73526	1155.60	1196.04	1162.40	107	24.90
3	TV1	RUI3	3.02	7.54	0.23672	2.62131	1166.40	1196.19	1163.70	108	23.00
1	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-1.06062	0.47176	1274.40	1300.02	1291.40	118	26.00
2	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-1.03143	0.38348	1274.40	1299.94	1292.00	118	25.80
3	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-0.66738	0.38806	1285.20	1299.46	1291.90	119	24.00
1	INDV1	INDI1	4.76	18.40	-0.06860	1.91696	1242.00	1276.59	1249.80	115	25.00
2	INDV1	INDI1	4.76	18.40	-0.20009	1.96685	1242.00	1276.55	1249.30	115	25.90
3	INDV1	INDI1	4.76	18.40	0.00228	1.99176	1242.00	1276.32	1249.00	115	26.70
1	INDV1	INDI2	4.76	4.46	0.20363	1.20617	1360.80	1380.38	1361.50	126	25.00
2	INDV1	INDI2	4.76	4.46	-0.24419	1.25838	1360.80	1381.25	1361.80	126	25.00
3	INDV1	INDI2	4.76	4.46	-0.56000	1.23600	1350.00	1382.00	1363.00	125	26.50
1	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-0.16194	1.68298	1306.80	1337.46	1313.00	121	22.20
2	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-0.21947	1.57439	1306.80	1333.19	1313.40	121	25.00
3	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-0.10136	1.64311	1306.80	1335.85	1311.40	121	26.60
1	INDV1	RUI3	4.76	7.54	0.05426	1.49474	1285.20	1307.41	1285.70	119	22.70
2	INDV1	RUI3	4.76	7.54	0.20593	1.39729	1328.40	1350.86	1330.70	123	25.00
3	INDV1	RUI3	4.76	7.54	-0.02898	1.52483	1328.40	1351.74	1328.60	123	28.60
1	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-1.46834	3.04406	1004.40	1058.37	1023.40	93	23.00

2	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-2.13300	2.97800	1004.00	1056.00	1024.00	93	21.00
3	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-1.96800	3.00200	1004.00	1057.00	1025.00	93	28.40
1	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-0.60028	6.45188	723.60	779.75	730.72	67	24.30
2	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-0.38761	6.46173	723.60	779.88	731.11	67	24.00
3	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-0.16387	6.42649	723.60	778.66	730.37	67	28.30
1	INDV2	INDI2	1.89	4.46	-0.30220	4.65964	918.00	964.78	920.36	85	24.50
2	INDV2	INDI2	1.89	4.46	-0.16710	4.63810	918.00	965.12	920.56	85	24.70
3	INDV2	INDI2	1.89	4.46	0.18499	4.62178	918.00	964.50	920.17	85	28.00
1	INDV2	RUI2	1.89	7.18	-0.21014	5.43310	820.80	878.41	831.83	76	24.90
2	INDV2	RUI2	1.89	7.18	-0.34966	5.45564	820.80	879.69	832.14	76	25.50
3	INDV2	RUI2	1.89	7.18	0.44505	5.39294	831.60	877.89	831.76	77	28.00
1	INDV2	RUI3	1.89	7.54	-0.01626	5.03015	864.00	917.32	872.12	80	24.80
2	INDV2	RUI3	1.89	7.54	-0.31995	5.04294	864.00	918.20	872.45	80	26.10
3	INDV2	RUI3	1.89	7.54	0.39004	4.98065	874.80	917.49	872.28	81	27.00
1	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-1.75222	2.22143	1101.60	1149.95	1122.90	102	24.90
2	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-1.91820	2.24030	1101.60	1149.80	1123.20	102	25.60
3	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-1.24938	2.30190	1101.60	1150.84	1123.10	102	27.00
1	RUV2	INDI1	2.86	18.40	-0.05533	4.80671	874.80	922.75	879.17	81	24.00
2	RUV2	INDI1	2.86	18.40	-0.49455	4.88053	874.80	924.10	879.54	81	25.60
3	RUV2	INDI1	2.86	18.40	0.21594	4.87645	874.80	924.73	879.44	81	27.00
1	RUV2	INDI2	2.86	4.46	0.63747	3.49035	1058.40	1095.02	1055.70	98	24.00
2	RUV2	INDI2	2.86	4.46	-0.20064	3.57920	1047.60	1094.16	1054.30	97	25.20
3	RUV2	INDI2	2.86	4.46	0.24350	3.48979	1058.40	1100.62	1061.70	98	26.00
1	RUV2	RUI2	2.86	7.18	0.68516	4.14806	982.80	1017.99	975.95	91	24.60
2	RUV2	RUI2	2.86	7.18	-0.12552	4.14052	972.00	1018.19	975.75	90	24.00
3	RUV2	RUI2	2.86	7.18	0.03513	4.15544	972.00	1017.20	974.48	90	25.70
1	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-0.55917	3.75760	1004.40	1055.08	1015.00	93	23.50
2	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-0.41539	3.82851	1004.40	1054.91	1014.20	93	24.00
3	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-0.88200	3.84100	1004.00	1055.00	1014.00	93	24.20
1	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-1.49012	0.52629	1263.60	1299.27	1290.20	117	24.00
2	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-0.94612	0.42194	1274.40	1296.54	1289.20	118	24.00
3	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-0.85596	0.50223	1274.40	1298.77	1289.80	118	24.90
1	RUV3	INDI1	2.49	18.40	-0.53962	2.36027	1220.40	1264.68	1233.40	113	24.00
2	RUV3	INDI1	2.49	18.40	-0.11154	2.11696	1231.20	1261.86	1233.50	114	24.00
3	RUV3	INDI1	2.49	18.40	-0.06216	2.11948	1231.20	1261.11	1232.90	114	27.00
1	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-0.46359	1.62100	1339.20	1374.10	1350.10	124	24.00
2	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-0.23058	1.40049	1350.00	1371.43	1350.00	125	25.20
3	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-0.36521	1.41669	1350.00	1370.78	1349.40	125	27.20
1	RUV3	RUI2	2.49	7.18	-0.50286	1.99782	1296.00	1328.67	1300.40	120	25.00
2	RUV3	RUI2	2.49	7.18	-0.14012	1.77058	1296.00	1326.05	1300.40	120	25.90
3	RUV3	RUI2	2.49	7.18	-0.14522	1.74680	1296.00	1325.12	1299.90	120	27.90
1	RUV3	RUI3	2.49	7.54	-0.50502	1.76630	1317.60	1349.31	1323.60	122	25.00
2	RUV3	RUI3	2.49	7.54	-0.10549	1.60865	1317.60	1342.67	1319.30	122	25.70
3	RUV3	RUI3	2.49	7.54	-0.13787	1.57725	1317.60	1342.51	1318.80	122	28.80

Tabela 8 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra8 (Kd=10,8)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N.Voltas	Temper.
1	V0	I0	0.80	0.25	-1.19957	-0.15138	1436.40	1454.13	1453.90	133	24.00
2	V0	I0	0.80	0.25	-0.52839	-0.13027	1447.20	1451.88	1451.40	134	27.60
3	V0	I0	0.80	0.25	-0.07137	-0.09714	1447.20	1455.56	1454.30	134	25.00

1	TV1	TRI1	3.02	46.80	-2.61310	1.48206	1177.20	1237.35	1215.90	109	25.00
2	TV1	TRI1	3.02	46.80	-2.33671	1.43820	1188.00	1235.91	1215.50	110	27.90
3	TV1	TRI1	3.02	46.80	-1.63063	1.52726	1188.00	1237.27	1216.50	110	25.00
1	TV1	INDI1	3.02	18.40	-1.52355	3.48367	1036.80	1090.81	1051.80	96	25.00
2	TV1	INDI1	3.02	18.40	-0.62242	3.40806	1036.80	1089.08	1051.30	96	28.00
3	TV1	INDI1	3.02	18.40	-0.13648	3.49303	1047.60	1090.08	1051.20	97	25.00
1	TV1	INDI2	3.02	4.46	-1.22767	2.53064	1188.00	1233.15	1200.40	110	26.40
2	TV1	INDI2	3.02	4.46	-0.40872	2.44292	1188.00	1230.84	1199.40	110	26.00
3	TV1	INDI2	3.02	4.46	-0.36874	2.45201	1198.80	1237.93	1206.00	111	27.40
1	TV1	RUI2	3.02	7.18	-1.33581	2.98681	1112.40	1170.27	1134.50	103	26.60
2	TV1	RUI2	3.02	7.18	-0.62772	2.90444	1123.20	1168.34	1133.30	104	28.00
3	TV1	RUI2	3.02	7.18	0.19503	3.00436	1123.20	1169.39	1133.40	104	22.00
1	TV1	RUI3	3.02	7.54	-1.05605	2.76027	1144.80	1197.07	1162.40	106	26.60
2	TV1	RUI3	3.02	7.54	-0.11049	2.75811	1155.60	1195.36	1161.20	107	27.00
3	TV1	RUI3	3.02	7.54	-0.17479	2.77058	1155.60	1196.87	1162.10	107	22.00
1	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-1.69451	0.48577	1263.60	1300.55	1292.00	117	26.60
2	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-1.18717	0.16980	1274.40	1295.87	1291.20	118	26.00
3	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-0.84391	0.33739	1274.40	1297.80	1291.40	118	22.00
1	INDV1	INDI1	4.76	18.40	-0.85575	2.05031	1231.20	1276.75	1249.20	114	26.30
2	INDV1	INDI1	4.76	18.40	-0.43451	1.71939	1242.00	1272.05	1247.90	115	26.00
3	INDV1	INDI1	4.76	18.40	-0.17422	1.94693	1242.00	1275.57	1249.10	115	22.00
1	INDV1	INDI2	4.76	4.46	-1.09242	1.30272	1350.00	1381.88	1361.70	125	26.30
2	INDV1	INDI2	4.76	4.46	-0.62291	1.31963	1350.00	1379.94	1359.70	125	28.50
3	INDV1	INDI2	4.76	4.46	-0.30225	1.29751	1360.80	1380.33	1360.50	126	24.00
1	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-0.95686	1.64813	1296.00	1337.77	1313.10	120	24.70
2	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-0.60931	1.63127	1306.80	1335.84	1311.40	121	28.50
3	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-0.38554	1.66196	1306.80	1336.23	1311.40	121	23.80
1	INDV1	RUI3	4.76	7.54	-0.76012	1.45823	1317.60	1351.35	1329.10	122	23.90
2	INDV1	RUI3	4.76	7.54	-0.53506	1.45637	1317.60	1349.13	1326.60	122	30.00
3	INDV1	RUI3	4.76	7.54	0.27293	1.48697	1328.40	1349.82	1327.60	123	25.20
1	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-2.43279	3.01052	993.60	1057.47	1024.10	92	24.40
2	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-2.09288	2.84376	1004.40	1055.08	1023.20	93	28.40
3	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-1.66997	3.11722	1004.40	1057.09	1023.20	93	26.30
1	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-1.97100	6.43000	712.80	779.68	731.57	66	25.00
2	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-1.42596	6.46248	712.80	778.75	730.09	66	28.90
3	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-0.71163	6.47143	723.60	778.39	730.14	67	26.00
1	INDV2	INDI2	1.89	4.46	-1.35638	4.53406	907.20	966.11	921.58	84	25.80
2	INDV2	INDI2	1.89	4.46	-1.06735	4.67342	907.20	964.03	919.30	84	28.80
3	INDV2	INDI2	1.89	4.46	-0.24188	4.64953	907.20	964.26	919.39	84	28.00
1	INDV2	RUI2	1.89	7.18	-1.16556	5.44538	820.80	879.47	832.49	76	26.40
2	INDV2	RUI2	1.89	7.18	-0.67390	5.40312	820.80	878.58	832.00	76	28.90
3	INDV2	RUI2	1.89	7.18	-0.51580	5.42193	820.80	877.94	831.16	76	28.00
1	INDV2	RUI3	1.89	7.54	-1.39325	5.02854	853.20	918.30	872.66	79	27.70
2	INDV2	RUI3	1.89	7.54	-0.91244	5.03475	864.00	917.07	871.31	80	28.50
3	INDV2	RUI3	1.89	7.54	-0.49439	4.96403	864.00	915.28	870.61	80	28.00
1	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-2.63506	1.91095	1080.00	1137.06	1113.20	100	28.70
2	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-2.35069	2.24577	1090.80	1149.67	1121.60	101	29.20
3	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-2.00054	2.22271	1101.60	1150.17	1122.60	102	28.00
1	RUV2	INDI1	2.86	18.40	-1.41542	4.85337	864.00	925.06	879.49	80	28.00
2	RUV2	INDI1	2.86	18.40	-1.13089	4.90671	864.00	923.13	878.30	80	29.10

3	RUV2	INDI1	2.86	18.40	-0.79779	4.84860	864.00	922.80	878.76	80	27.00
1	RUV2	INDI2	2.86	4.46	-0.89776	3.52966	1036.80	1093.86	1054.20	96	25.00
2	RUV2	INDI2	2.86	4.46	-0.09375	3.59103	1047.60	1093.47	1054.00	97	25.00
3	RUV2	INDI2	2.86	4.46	-0.53708	3.58391	1047.60	1092.21	1052.60	97	26.60
1	RUV2	RUI2	2.86	7.18	-1.19537	4.11855	961.20	1017.67	975.71	89	24.00
2	RUV2	RUI2	2.86	7.18	0.14688	4.13359	982.80	1030.16	987.15	91	22.00
3	RUV2	RUI2	2.86	7.18	-0.62821	4.18075	961.20	1016.89	973.81	89	27.70
1	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-0.92494	3.75379	1004.40	1055.52	1015.70	93	24.00
2	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-0.62325	3.83706	1004.40	1054.14	1013.00	93	23.50
3	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-0.73529	3.86051	1004.40	1053.47	1012.40	93	29.90
1	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-1.80571	0.48001	1263.60	1299.00	1290.60	117	24.00
2	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-1.53342	0.49535	1263.60	1296.88	1288.40	117	24.70
3	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-0.92266	0.56221	1274.40	1297.40	1288.60	118	29.30
1	RUV3	INDI1	2.49	18.40	-1.07545	2.05028	1220.40	1261.88	1233.70	113	24.00
2	RUV3	INDI1	2.49	18.40	-0.19152	2.08824	1220.40	1261.38	1232.30	113	25.00
3	RUV3	INDI1	2.49	18.40	-0.02669	2.15550	1231.20	1260.43	1231.90	114	29.50
1	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-1.13472	1.38871	1339.20	1371.55	1350.30	124	24.90
2	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-0.50992	1.39411	1339.20	1369.43	1348.20	124	25.80
3	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-0.12771	1.43174	1339.20	1370.29	1348.10	124	29.00
1	RUV3	RUI2	2.49	7.18	-0.92677	1.70459	1285.20	1325.01	1300.60	119	24.60
2	RUV3	RUI2	2.49	7.18	-0.38807	1.76667	1296.00	1324.37	1298.90	120	25.70
3	RUV3	RUI2	2.49	7.18	-0.22659	1.49361	1296.00	1321.66	1300.10	120	29.00
1	RUV3	RUI3	2.49	7.54	-1.05959	1.57511	1306.80	1342.40	1319.40	121	24.60
2	RUV3	RUI3	2.49	7.54	-0.43889	1.58371	1306.80	1340.94	1317.70	121	25.70
3	RUV3	RUI3	2.49	7.54	0.32581	1.33577	1317.60	1337.98	1318.10	122	29.00

Tabela 9 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 9 (Kd=10,8)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	E % DISCO	E % INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N.Voltas	Temper.
1	V0	I0	0.80	0.25	-1.19384	-0.14804	1436.40	1453.82	1453.20	133	26.00
2	V0	I0	0.80	0.25	-1.12771	-0.12240	1436.40	1453.80	1453.20	133	24.20
3	V0	I0	0.80	0.25	-1.98845	-0.15179	1425.60	1454.68	1454.70	132	22.70
1	TV1	TRI1	3.02	46.80	-1.05961	1.54154	1198.80	1237.64	1215.70	111	26.00
2	TV1	TRI1	3.02	46.80	-1.76987	1.41063	1198.80	1236.18	1216.80	111	24.10
3	TV1	TRI1	3.02	46.80	-3.15376	1.38892	1177.20	1235.27	1215.40	109	24.40
1	TV1	INDI1	3.02	18.40	-0.62172	3.51407	1036.80	1090.49	1051.30	96	26.00
2	TV1	INDI1	3.02	18.40	-0.01274	3.38872	1036.80	1089.37	1051.90	96	24.00
3	TV1	INDI1	3.02	18.40	-2.40491	3.58896	1026.00	1089.42	1049.80	95	24.50
1	TV1	INDI2	3.02	4.46	-0.44404	2.53837	1188.00	1232.62	1200.00	110	27.00
2	TV1	INDI2	3.02	4.46	-0.47245	2.43230	1188.00	1232.16	1200.60	110	24.10
3	TV1	INDI2	3.02	4.46	-2.07590	2.53902	1177.20	1230.61	1197.70	109	24.60
1	TV1	RUI2	3.02	7.18	-0.58427	2.95087	1123.20	1169.96	1133.90	104	27.00
2	TV1	RUI2	3.02	7.18	-0.67686	2.96985	1123.20	1171.41	1134.70	104	24.00
3	TV1	RUI2	3.02	7.18	-2.06548	2.98685	1112.40	1169.47	1133.00	103	24.30
1	TV1	RUI3	3.02	7.54	-0.59934	2.59237	1144.80	1186.34	1157.70	106	27.00
2	TV1	RUI3	3.02	7.54	-0.59543	2.72316	1155.60	1196.63	1162.60	107	24.00
3	TV1	RUI3	3.02	7.54	-1.87919	2.73252	1134.00	1194.82	1161.00	105	24.00
1	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-1.40756	0.34251	1274.40	1298.54	1291.70	118	27.00
2	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-1.01880	0.47060	1274.40	1302.05	1292.80	118	24.00
3	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-2.33323	0.47015	1252.80	1298.47	1290.50	116	24.00
1	INDV1	INDI1	4.76	18.40	-0.94547	1.95846	1242.00	1276.32	1249.70	115	25.40

2	INDV1	INDI1	4.76	18.40	-0.63038	2.03939	1242.00	1277.18	1249.20	115	24.00
3	INDV1	INDI1	4.76	18.40	-1.48764	2.04473	1220.40	1275.72	1247.50	113	24.00
1	INDV1	INDI2	4.76	4.46	-0.88088	1.29342	1350.00	1381.10	1361.70	125	25.50
2	INDV1	INDI2	4.76	4.46	-0.63224	1.24783	1350.00	1381.51	1362.10	125	24.10
3	INDV1	INDI2	4.76	4.46	-1.83010	1.42457	1317.60	1369.54	1347.60	122	24.00
1	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-0.84637	1.64324	1306.80	1336.67	1313.10	121	26.00
2	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-0.68422	1.65096	1306.80	1337.53	1312.90	121	24.00
3	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-1.81147	1.62849	1296.00	1352.00	1327.20	120	24.00
1	INDV1	RUI3	4.76	7.54	-0.89545	1.44124	1317.60	1349.17	1328.90	122	26.00
2	INDV1	RUI3	4.76	7.54	-0.72520	1.46438	1317.60	1349.62	1327.50	122	23.90
3	INDV1	RUI3	4.76	7.54	-1.85796	1.55241	1296.00	1342.19	1318.60	120	24.00
1	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-1.08787	2.93208	1015.20	1058.05	1024.00	94	26.10
2	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-0.93474	2.97558	1015.20	1056.08	1022.90	94	23.10
3	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-2.77510	3.10568	993.60	1057.18	1023.00	92	24.00
1	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-0.50893	6.46639	723.60	779.24	730.74	67	27.00
2	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-0.76810	6.46466	723.60	778.50	729.97	67	23.20
3	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-2.72738	6.40169	702.00	778.67	730.95	65	24.00
1	INDV2	INDI2	1.89	4.46	-0.78726	4.66763	907.20	965.31	920.31	84	27.00
2	INDV2	INDI2	1.89	4.46	-0.79624	4.70857	907.20	965.40	919.47	84	23.40
3	INDV2	INDI2	1.89	4.46	-2.78177	4.68966	896.40	964.31	919.71	83	20.40
1	INDV2	RUI2	1.89	7.18	-0.21516	5.44294	820.80	878.84	831.92	76	27.00
2	INDV2	RUI2	1.89	7.18	-0.79428	5.42532	820.80	878.11	831.27	76	23.50
3	INDV2	RUI2	1.89	7.18	-3.06627	5.41993	799.20	877.68	831.10	74	22.20
1	INDV2	RUI3	1.89	7.54	-0.31454	5.02109	864.00	917.77	872.31	80	27.00
2	INDV2	RUI3	1.89	7.54	-0.71008	5.02346	864.00	917.19	871.45	80	24.60
3	INDV2	RUI3	1.89	7.54	-2.87214	5.08524	842.40	916.65	871.47	78	23.80
1	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-1.25189	2.35319	1101.60	1151.42	1123.10	102	27.00
2	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-1.38771	2.22830	1101.60	1148.67	1121.30	102	24.60
3	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-3.53162	2.29332	1080.00	1149.84	1121.70	100	25.00
1	RUV2	INDI1	2.86	18.40	0.01706	4.90555	874.80	924.18	879.40	81	27.00
2	RUV2	INDI1	2.86	18.40	-0.32616	4.79216	874.80	922.75	878.79	81	24.30
3	RUV2	INDI1	2.86	18.40	-2.95383	4.98315	853.20	924.98	878.58	79	26.70
1	RUV2	INDI2	2.86	4.46	-0.07335	3.59072	1047.60	1093.84	1054.20	97	27.00
2	RUV2	INDI2	2.86	4.46	-0.44626	3.51029	1047.60	1091.48	1052.10	97	24.50
3	RUV2	INDI2	2.86	4.46	-2.60869	3.59930	1026.00	1093.23	1052.80	95	24.80
1	RUV2	RUI2	2.86	7.18	-0.61245	4.18770	961.20	1018.31	975.50	89	27.00
2	RUV2	RUI2	2.86	7.18	-0.53424	4.07555	961.20	1014.75	973.87	89	24.50
3	RUV2	RUI2	2.86	7.18	-2.91514	4.15929	939.60	1016.97	974.44	87	24.00
1	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-0.77238	0.09887	993.60	960.52	1009.20	92	27.00
2	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-0.49028	3.75754	1004.40	1053.08	1012.50	93	24.50
3	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-2.54496	3.84037	982.80	1053.30	1012.60	91	24.40
1	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-1.20504	0.46712	1274.40	1298.01	1290.00	118	24.50
2	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-1.15144	0.50898	1274.40	1297.40	1288.50	118	23.00
3	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-2.67215	0.55919	1252.80	1297.94	1288.40	116	24.30
1	RUV3	INDI1	2.49	18.40	-0.89895	2.11765	1220.40	1261.48	1233.20	113	24.50
2	RUV3	INDI1	2.49	18.40	-0.67745	2.09824	1220.40	1259.96	1231.90	113	23.00
3	RUV3	INDI1	2.49	18.40	-2.18053	2.14622	1198.80	1250.55	1231.60	111	24.30
1	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-0.88999	1.40428	1339.20	1371.85	1349.90	124	24.00
2	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-0.77446	1.35649	1339.20	1371.28	1349.70	124	23.00
3	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-2.05934	1.43169	1317.60	1369.70	1348.50	122	24.20

1	RUV3	RUI2	2.49	7.18	-0.80685	1.75088	1285.20	1325.58	1300.30	119	24.00
2	RUV3	RUI2	2.49	7.18	-0.77773	1.77084	1285.20	1324.53	1299.50	119	22.40
3	RUV3	RUI2	2.49	7.18	-1.97756	1.77330	1274.40	1324.57	1298.80	118	23.50
1	RUV3	RUI3	2.49	7.54	-0.83917	1.54810	1306.80	1341.98	1319.10	121	24.00
2	RUV3	RUI3	2.49	7.54	-0.86253	1.57582	1306.80	1342.61	1318.90	121	24.80
3	RUV3	RUI3	2.49	7.54	-2.08214	1.58684	1285.20	1340.72	1317.60	119	23.00

Tabela 10 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 10 (Kd=10,8)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N.Voltas	Temper.
1	V0	I0	0.80	0.25	-1.74962	-0.11324	1436.40	1454.68	1455.00	133	20.40
2	V0	I0	0.80	0.25	-1.45562	-0.13689	1436.40	1453.23	1452.70	133	24.70
3	V0	I0	0.80	0.25	-1.35511	-0.14586	1436.40	1454.23	1453.50	133	27.00
1	TV1	TRI1	3.02	46.80	-2.13139	1.38422	1188.00	1235.75	1216.40	110	22.00
2	TV1	TRI1	3.02	46.80	-2.18119	1.42763	1188.00	1236.67	1216.50	110	25.70
3	TV1	TRI1	3.02	46.80	-1.91142	1.40548	1188.00	1235.55	1215.90	110	28.20
1	TV1	INDI1	3.02	18.40	-1.70716	3.47075	1026.00	1089.51	1051.10	95	22.70
2	TV1	INDI1	3.02	18.40	-1.99644	3.47474	1026.00	1090.04	1051.40	95	25.90
3	TV1	INDI1	3.02	18.40	-1.46261	3.46835	1036.80	1089.12	1050.80	96	28.50
1	TV1	INDI2	3.02	4.46	-1.53018	2.52280	1177.20	1232.02	1199.30	109	27.00
2	TV1	INDI2	3.02	4.46	-1.68718	2.52772	1177.20	1232.77	1199.90	109	27.30
3	TV1	INDI2	3.02	4.46	-1.10597	2.53527	1188.00	1232.45	1199.20	110	29.00
1	TV1	RUI2	3.02	7.18	-1.50870	2.97125	1112.40	1168.27	1133.40	103	23.00
2	TV1	RUI2	3.02	7.18	-1.79398	2.95643	1112.40	1169.84	1134.00	103	27.70
3	TV1	RUI2	3.02	7.18	-1.13893	2.97937	1123.20	1169.63	1133.50	104	28.90
1	TV1	RUI3	3.02	7.54	-1.54318	2.70595	1144.80	1195.08	1161.60	106	23.00
2	TV1	RUI3	3.02	7.54	-1.73543	2.74184	1144.80	1195.35	1162.10	106	27.10
3	TV1	RUI3	3.02	7.54	-1.00445	2.77450	1144.80	1195.14	1161.00	106	28.70
1	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-1.88329	0.37598	1263.60	1298.75	1291.00	117	23.60
2	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-1.93551	0.34881	1263.60	1299.03	1291.60	117	27.50
3	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-1.30473	0.37076	1274.40	1298.67	1291.10	118	28.30
1	INDV1	INDI1	4.76	18.40	-1.51786	2.02405	1231.20	1275.71	1248.10	114	23.50
2	INDV1	INDI1	4.76	18.40	-1.62890	2.00620	1231.20	1276.65	1249.10	114	26.50
3	INDV1	INDI1	4.76	18.40	-1.20332	2.01872	1231.20	1275.04	1248.00	114	28.30
1	INDV1	INDI2	4.76	4.46	-1.50881	1.35107	1339.20	1380.61	1360.30	124	23.80
2	INDV1	INDI2	4.76	4.46	-1.60937	1.32000	1339.20	1381.53	1361.20	124	26.40
3	INDV1	INDI2	4.76	4.46	-0.97534	1.28327	1350.00	1380.33	1360.40	125	27.80
1	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-1.31942	1.57899	1296.00	1335.47	1311.60	120	23.50
2	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-1.44436	1.66437	1296.00	1337.43	1312.90	120	26.10
3	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-1.10072	1.62056	1296.00	1336.38	1312.70	120	25.70
1	INDV1	RUI3	4.76	7.54	-1.38816	1.50050	1306.80	1351.15	1328.10	121	23.70
2	INDV1	RUI3	4.76	7.54	-1.54359	1.48831	1306.80	1351.15	1329.00	121	26.70
3	INDV1	RUI3	4.76	7.54	-0.97719	1.48911	1317.60	1350.33	1328.10	122	25.70
1	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-1.31939	2.96885	1004.40	1056.13	1023.70	93	23.60
2	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-1.70521	2.99871	1004.40	1057.39	1024.30	93	25.90
3	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-1.05028	2.96105	1015.20	1056.15	1023.00	94	27.60
1	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-1.64469	6.45307	712.80	779.67	730.58	66	23.40
2	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-2.25493	6.44469	712.80	779.49	731.16	66	25.00
3	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-1.44748	6.39563	712.80	778.01	730.40	66	26.50
1	INDV2	INDI2	1.89	4.46	-1.51240	4.68374	907.20	964.35	919.87	84	23.10
2	INDV2	INDI2	1.89	4.46	-1.58151	4.63894	896.40	965.58	920.81	83	24.60

3	INDV2	INDI2	1.89	4.46	-1.18074	4.61689	907.20	964.40	919.84	84	26.60
1	INDV2	RUI2	1.89	7.18	-1.39915	5.42222	820.80	878.39	831.46	76	23.10
2	INDV2	RUI2	1.89	7.18	-1.94360	5.42739	810.00	879.45	832.30	75	24.60
3	INDV2	RUI2	1.89	7.18	-1.30033	5.50614	820.80	879.73	831.47	76	26.80
1	INDV2	RUI3	1.89	7.54	-1.28002	5.01873	853.20	917.06	871.69	79	23.10
2	INDV2	RUI3	1.89	7.54	-1.58186	5.07414	853.20	918.46	872.62	79	24.60
3	INDV2	RUI3	1.89	7.54	-1.01784	5.01994	864.00	916.55	871.66	80	29.00
1	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-1.83081	2.23305	1101.60	1149.35	1122.40	102	24.10
2	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-1.94455	2.21861	1101.60	1150.28	1123.10	102	24.10
3	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-1.43463	2.27138	1101.60	1150.28	1122.40	102	27.20
1	RUV2	INDI1	2.86	18.40	-1.54115	4.84954	864.00	923.82	878.97	80	24.10
2	RUV2	INDI1	2.86	18.40	-1.91107	4.85750	864.00	924.58	879.68	80	24.60
3	RUV2	INDI1	2.86	18.40	-1.32753	4.88465	864.00	923.42	878.82	80	30.00
1	RUV2	INDI2	2.86	4.46	-1.50532	3.61000	1036.80	1093.46	1053.00	96	24.30
2	RUV2	INDI2	2.86	4.46	-1.56466	3.59036	1036.80	1094.21	1054.50	96	24.70
3	RUV2	INDI2	2.86	4.46	-1.06687	3.30847	1036.80	1078.97	1050.00	96	29.50
1	RUV2	RUI2	2.86	7.18	-1.45744	4.13744	961.20	1016.66	974.40	89	24.50
2	RUV2	RUI2	2.86	7.18	-1.78099	4.15314	950.40	1018.79	975.85	88	25.40
3	RUV2	RUI2	2.86	7.18	-1.12232	4.15659	961.20	1018.13	975.04	89	28.00
1	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-1.58455	3.86119	993.60	1053.67	1012.70	92	24.40
2	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-1.69324	3.83755	993.60	1055.07	1014.30	92	25.40
3	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-1.26342	3.82325	1004.40	1062.42	1021.20	93	28.30
1	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-1.85991	0.36016	1263.60	1295.30	1289.10	117	23.80
2	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-2.09328	0.46536	1263.60	1299.03	1290.90	117	26.60
3	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-1.61697	0.47137	1263.60	1298.13	1289.60	117	28.50
1	RUV3	INDI1	2.49	18.40	-1.39725	2.14927	1209.60	1261.16	1232.30	112	23.90
2	RUV3	INDI1	2.49	18.40	-1.47335	2.12345	1209.60	1262.06	1233.60	112	24.70
3	RUV3	INDI1	2.49	18.40	-1.04448	2.16130	1220.40	1262.01	1232.80	113	27.00
1	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-1.47157	1.45160	1328.40	1372.65	1349.80	123	25.10
2	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-1.72847	1.40226	1328.40	1371.55	1350.40	123	24.50
3	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-1.08160	1.36800	1339.20	1371.34	1350.10	124	27.30
1	RUV3	RUI2	2.49	7.18	-1.33495	1.74908	1285.20	1325.48	1300.50	119	24.50
2	RUV3	RUI2	2.49	7.18	-1.52052	1.77464	1274.40	1326.51	1300.90	118	24.30
3	RUV3	RUI2	2.49	7.18	-0.87483	1.75667	1285.20	1325.26	1300.20	119	26.60
1	RUV3	RUI3	2.49	7.54	-1.35031	1.54805	1296.00	1342.30	1319.30	120	23.60
2	RUV3	RUI3	2.49	7.54	-1.61565	1.58496	1296.00	1344.06	1319.90	120	24.10
3	RUV3	RUI3	2.49	7.54	-0.95648	1.56647	1306.80	1342.65	1319.00	121	26.30

Tabela 11 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 11 (Kd=10,8)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N.Voltas	Temper.
1	V0	I0	0.80	0.25	-0.73505	-0.11752	1436.40	1452.76	1451.50	133	28.00
2	V0	I0	0.80	0.25	-0.85190	-0.13716	1436.40	1451.94	1451.50	133	25.70
3	V0	I0	0.80	0.25	-0.90664	-0.11294	1436.40	1454.54	1453.30	133	25.50
1	TV1	TRI1	3.02	46.80	-1.18114	1.52148	1198.80	1234.71	1213.40	111	28.00
2	TV1	TRI1	3.02	46.80	-1.32698	1.44642	1198.80	1235.46	1215.80	111	26.20
3	TV1	TRI1	3.02	46.80	-1.01732	2.16733	1220.40	1265.38	1236.20	113	25.90
1	TV1	INDI1	3.02	18.40	-1.08840	3.55203	1036.80	1088.93	1049.70	96	27.00
2	TV1	INDI1	3.02	18.40	-0.86883	3.51942	1036.80	1090.69	1051.30	96	27.00
3	TV1	INDI1	3.02	18.40	-0.94862	3.47817	1036.80	1090.36	1051.90	96	25.60
1	TV1	INDI2	3.02	4.46	-0.31346	2.50306	1198.80	1228.79	1198.10	111	27.00

2	TV1	INDI2	3.02	4.46	-0.61441	2.53806	1188.00	1232.46	1199.90	110	27.20
3	TV1	INDI2	3.02	4.46	-0.69734	2.51655	1188.00	1233.12	1200.60	110	25.00
1	TV1	RUI2	3.02	7.18	-1.03134	2.82977	1112.40	1159.62	1127.50	103	27.00
2	TV1	RUI2	3.02	7.18	-0.44649	2.92052	1123.20	1167.04	1131.50	104	26.00
3	TV1	RUI2	3.02	7.18	-0.58915	2.94925	1123.20	1170.48	1134.70	104	25.00
1	TV1	RUI3	3.02	7.54	-1.06234	2.75719	1144.80	1193.10	1158.20	106	27.00
2	TV1	RUI3	3.02	7.54	-0.37970	2.47695	1144.80	1188.16	1156.60	106	26.00
3	TV1	RUI3	3.02	7.54	-0.56585	2.72061	1155.60	1196.49	1162.60	107	25.00
1	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-1.06750	0.49226	1274.40	1298.70	1290.20	118	27.00
2	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-0.75143	0.35478	1274.40	1288.70	1286.50	118	26.00
3	INDV1	TRI1	4.76	46.80	-0.71982	0.44453	1285.20	1299.67	1292.10	119	25.00
1	INDV1	INDI1	4.76	18.40	-1.24782	1.95007	1231.20	1273.76	1247.90	114	26.00
2	INDV1	INDI1	4.76	18.40	-0.35467	2.02228	1242.00	1270.22	1244.70	115	26.00
3	INDV1	INDI1	4.76	18.40	-0.37560	2.01332	1242.00	1276.33	1249.10	115	25.20
1	INDV1	INDI2	4.76	4.46	-1.15499	1.30472	1339.20	1380.03	1359.50	124	24.50
2	INDV1	INDI2	4.76	4.46	-0.53963	1.31632	1350.00	1381.94	1361.40	125	26.00
3	INDV1	INDI2	4.76	4.46	-0.94133	1.31703	1350.00	1382.00	1361.80	125	26.30
1	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-0.95890	1.68246	1296.00	1336.17	1311.50	120	23.80
2	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-0.62360	1.61667	1306.80	1337.37	1314.30	121	25.80
3	INDV1	RUI2	4.76	7.18	-0.82430	1.63320	1306.80	1336.92	1313.30	121	26.80
1	INDV1	RUI3	4.76	7.54	-0.93249	1.47505	1317.60	1349.48	1327.50	122	23.70
2	INDV1	RUI3	4.76	7.54	-0.56762	1.50681	1317.60	1351.62	1329.30	122	26.70
3	INDV1	RUI3	4.76	7.54	-0.81333	1.48482	1317.60	1352.02	1329.50	122	27.00
1	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-0.99500	2.96600	1015.00	1057.00	1024.00	94	23.90
2	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-1.03606	2.99796	1015.20	1056.43	1023.30	94	26.50
3	INDV2	TRI1	1.89	46.80	-0.93600	2.96500	1015.00	1056.00	1024.00	94	27.00
1	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-1.28302	5.87483	723.60	760.19	735.26	67	24.50
2	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-0.95597	6.51669	723.60	779.12	730.48	67	27.20
3	INDV2	INDI1	1.89	18.40	-0.46196	6.45419	723.60	779.90	730.96	67	27.00
1	INDV2	INDI2	1.89	4.46	-0.95227	4.66838	907.20	963.79	919.16	84	25.20
2	INDV2	INDI2	1.89	4.46	-0.67387	4.73111	907.20	964.75	919.60	84	28.00
3	INDV2	INDI2	1.89	4.46	-0.56969	4.67651	918.00	965.18	920.52	85	27.00
1	INDV2	RUI2	1.89	7.18	-1.00940	5.44222	820.80	878.17	830.94	76	25.70
2	INDV2	RUI2	1.89	7.18	-0.63030	5.50026	820.80	878.70	831.37	76	27.00
3	INDV2	RUI2	1.89	7.18	-0.46025	5.43848	831.60	877.85	832.01	77	27.00
1	INDV2	RUI3	1.89	7.54	-0.97945	5.02943	864.00	917.15	871.19	80	25.40
2	INDV2	RUI3	1.89	7.54	-0.19122	5.05066	864.00	917.78	872.17	80	26.60
3	INDV2	RUI3	1.89	7.54	-0.09323	5.01119	864.00	918.08	872.46	80	26.00
1	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-1.51408	2.26504	1101.60	1148.95	1121.30	102	25.40
2	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-1.10504	2.36605	1112.40	1151.53	1122.40	103	26.60
3	RUV2	TRI1	2.86	46.80	-0.86895	2.31906	1112.40	1151.41	1123.20	103	26.50
1	RUV2	INDI1	2.86	18.40	-1.41107	4.91190	864.00	922.80	877.32	80	25.00
2	RUV2	INDI1	2.86	18.40	-0.68000	4.86000	874.80	922.81	878.74	81	26.00
3	RUV2	INDI1	2.86	18.40	-0.51200	4.84700	874.80	923.61	879.39	81	25.40
1	RUV2	INDI2	2.86	4.46	-1.24644	3.56432	1036.80	1091.13	1051.70	96	25.00
2	RUV2	INDI2	2.86	4.46	-0.43300	3.56200	1048.00	1093.00	1054.00	97	26.00
3	RUV2	INDI2	2.86	4.46	-0.27785	3.58590	1047.60	1093.21	1054.20	97	25.70
1	RUV2	RUI2	2.86	7.18	-1.27183	4.14853	961.20	1016.62	973.24	89	25.00
2	RUV2	RUI2	2.86	7.18	-0.45800	4.05200	972.00	1016.00	974.84	90	26.00
3	RUV2	RUI2	2.86	7.18	-0.44671	4.15651	972.00	1018.56	975.66	90	24.90

1	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-1.36640	3.90029	993.60	1053.09	1011.90	92	25.00
2	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-0.32688	3.80510	1004.40	1054.32	1013.20	93	25.00
3	RUV2	RUI3	2.86	7.54	-0.29227	3.93670	1004.40	1056.69	1014.10	93	24.70
1	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-1.31692	0.49014	1274.40	1296.18	1288.20	118	25.00
2	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-0.89613	0.37844	1274.40	1296.92	1289.70	118	24.50
3	RUV3	TRI1	2.49	46.80	-0.90676	0.40258	1274.40	1298.34	1291.00	118	23.80
1	RUV3	INDI1	2.49	18.40	-0.81347	2.06548	1220.40	1260.64	1231.90	113	24.00
2	RUV3	INDI1	2.49	18.40	-0.82105	2.13034	1220.40	1261.44	1232.70	113	23.50
3	RUV3	INDI1	2.49	18.40	-0.85708	2.11708	1220.40	1261.72	1233.60	113	23.60
1	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-0.96788	1.45310	1328.40	1370.47	1348.50	123	24.70
2	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-0.81200	1.42952	1339.20	1370.72	1349.10	124	23.50
3	RUV3	INDI2	2.49	4.46	-0.30945	1.42058	1339.20	1371.91	1350.20	124	24.20
1	RUV3	RUI2	2.49	7.18	-0.83660	1.75705	1285.20	1324.10	1299.00	119	24.30
2	RUV3	RUI2	2.49	7.18	-0.71655	1.75280	1285.20	1325.04	1299.60	119	23.90
3	RUV3	RUI2	2.49	7.18	-0.62116	1.74970	1285.20	1325.86	1300.60	119	24.20
1	RUV3	RUI3	2.49	7.54	-0.96616	1.64879	1306.80	1341.85	1317.60	121	24.70
2	RUV3	RUI3	2.49	7.54	-0.73705	1.59477	1306.80	1340.97	1318.30	121	24.50
3	RUV3	RUI3	2.49	7.54	-0.75458	1.54316	1306.80	1341.59	1319.30	121	25.70

Tabela 12 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 1, considerando-se desequilíbrios (Kd=7,2)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas
1	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-0,21111	-0,07076	964,80	969,67	967,47	134
2	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-0,71118	-0,09615	957,60	970,37	966,93	133
3	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-0,88975	-0,06304	957,60	968,39	967,06	133
1	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	3%	720	0,42498	-2,27706	763,20	749,63	765,08	106
2	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	3%	720	0,01239	-2,12663	763,20	752,38	764,68	106
3	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	3%	720	-0,53097	-2,16458	763,20	751,06	764,74	106
1	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	3%	720	-0,32704	6,16536	432,00	462,69	434,11	60
2	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	3%	720	-0,12323	6,31760	432,00	463,17	434,05	60
3	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	3%	720	-0,66127	6,17991	432,00	469,91	439,61	60
1	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	3%	720	-0,07401	1,11545	813,60	830,74	818,28	113
2	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	3%	720	-0,38546	1,25305	813,60	830,89	817,94	113
3	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	3%	720	-1,08178	1,03527	806,40	830,88	818,02	112
1	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	3%	720	0,07893	2,78878	712,80	736,25	712,72	99
2	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	3%	720	-0,24949	2,85264	705,60	735,26	711,49	98
3	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	3%	720	-0,42836	2,79359	705,60	735,07	712,01	98
1	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	3%	720	-1,08650	6,67940	403,20	437,15	408,09	56
2	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	3%	720	-0,66146	6,87326	403,20	437,30	407,99	56
3	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	3%	720	-1,63410	6,79524	396,00	439,14	408,37	55
1	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	3%	720	-0,02172	4,01190	604,80	630,38	604,86	84
2	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	3%	720	-0,15117	4,18053	597,60	632,65	604,78	83
3	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	3%	720	-0,63012	3,98718	597,60	630,06	605,03	83
1	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	3%	720	-0,05470	3,10873	691,20	714,01	689,03	96
2	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	3%	720	0,07529	3,11407	684,00	711,61	688,19	95
3	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	3%	720	-0,32914	3,04096	684,00	711,56	688,75	95
1	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	3%	720	-0,05642	4,81556	511,20	538,45	511,70	71
2	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	3%	720	0,05398	4,99781	511,20	540,07	511,72	71
3	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	3%	720	-0,60451	4,88932	504,00	537,33	511,76	70
1	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	3%	720	0,29854	2,97131	698,40	720,68	698,08	97
2	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	3%	720	-0,17485	2,98579	698,40	725,93	702,17	97

3	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	3%	720	-0,26594	2,91163	691,20	720,75	698,24	96
1	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	3%	720	-0,00440	2,25402	770,40	792,83	771,41	107
2	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	3%	720	-0,63700	2,41500	763,20	795,20	771,81	106
3	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	3%	720	-0,58215	2,28617	763,20	790,26	771,42	106
1	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	0,09605	-0,13045	972,00	968,21	967,10	135
2	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-0,51700	-0,17614	964,80	965,88	966,61	134
3	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-0,63674	-0,17708	964,80	969,51	966,90	134
1	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	5%	720	0,71055	-2,15119	770,40	750,39	764,89	107
2	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	5%	720	0,17073	-2,13314	763,20	748,93	764,50	106
3	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	5%	720	-0,25675	-2,14180	763,20	750,89	764,55	106
1	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	5%	720	0,04240	6,20126	432,00	462,15	434,29	60
2	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	5%	720	0,00819	6,09682	432,00	462,53	434,19	60
3	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	5%	720	-0,33151	6,21932	432,00	461,63	434,32	60
1	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	5%	720	0,23188	1,21500	820,80	831,26	818,24	114
2	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	5%	720	-0,10480	1,23164	813,60	828,97	817,86	113
3	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	5%	720	-0,36888	1,23334	813,60	832,43	817,85	113
1	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	5%	720	0,29622	2,88460	712,80	735,32	711,76	99
2	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	5%	720	0,22308	2,97888	712,80	737,25	711,71	99
3	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	5%	720	-0,10050	3,00284	705,60	737,10	711,66	98
1	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	5%	720	-0,67650	6,81602	403,20	437,92	408,07	56
2	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	5%	720	-0,65363	6,68255	403,20	438,40	408,24	56
3	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	5%	720	-1,14188	6,78049	403,20	437,74	408,02	56
1	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	5%	720	0,17456	4,15652	604,80	633,01	604,66	84
2	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	5%	720	0,14479	4,15239	590,40	622,56	595,29	82
3	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	5%	720	-0,17684	4,16299	597,60	632,41	605,05	83
1	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	5%	720	0,34177	3,25523	691,20	712,32	688,47	96
2	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	5%	720	0,03886	3,19370	691,20	712,96	688,89	96
3	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	5%	720	-0,15551	3,10072	684,00	713,73	689,13	95
1	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	5%	720	0,65002	4,93423	511,20	539,27	511,81	71
2	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	5%	720	0,00591	4,75636	511,20	538,72	511,83	71
3	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	5%	720	-0,18005	4,87532	511,20	538,33	511,97	71
1	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	5%	720	0,35921	3,26626	705,60	725,16	699,86	98
2	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	5%	720	0,51243	3,09644	684,00	711,33	686,94	95
3	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	5%	720	0,41262	3,11649	698,40	722,84	698,10	97
1	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	5%	720	0,36907	2,28161	770,40	792,27	770,81	107
2	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	5%	720	-0,17125	2,30410	770,40	791,13	770,53	107
3	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	5%	720	-0,26884	2,29377	770,40	793,47	774,81	107

Tabela 13 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 2, considerando-se desequilíbrios (Kd=3,6).

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas
1	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	0,1273	-0,1308	968,40	968,21	964,57	269
2	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	1,1354	-0,3523	979,20	964,01	965,80	272
3	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	0,0452	-0,1337	968,40	964,42	964,55	269
1	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	3%	720	1,1374	-2,1810	770,40	744,28	759,92	214
2	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	3%	720	2,5087	-2,2290	784,80	749,52	764,10	218
3	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	3%	720	1,6237	-2,2270	774,00	747,63	763,16	215
1	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	3%	720	0,0374	6,2586	432,00	463,27	433,75	120
2	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	3%	720	2,1346	6,1706	442,80	461,79	433,95	123
3	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	3%	720	-0,5381	6,1261	432,00	460,78	433,34	120
1	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	3%	720	-1,1764	1,2077	806,40	829,42	816,26	224

2	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	3%	720	-0,6913	1,2039	813,60	828,16	816,57	226
3	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	3%	720	-1,0844	1,3476	795,60	819,84	807,48	221
1	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	3%	720	0,3420	2,8869	712,80	731,50	709,37	198
2	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	3%	720	2,6893	2,8050	730,80	732,31	710,12	203
3	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	3%	720	0,3539	2,8995	712,80	734,53	710,78	198
1	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	3%	720	-0,8158	6,8106	403,20	436,95	407,51	112
2	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	3%	720	1,2022	6,8672	414,00	437,44	408,04	115
3	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	3%	720	-1,4813	6,8179	403,20	437,14	407,78	112
1	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	3%	720	-0,1024	4,1718	601,20	630,15	603,73	167
2	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	3%	720	1,2795	4,1158	612,00	630,74	604,36	170
3	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	3%	720	-0,3087	4,0724	601,20	631,51	603,99	167
1	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	3%	720	0,2279	3,1630	691,20	710,66	687,79	192
2	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	3%	720	2,9007	3,0622	705,60	710,12	687,11	196
3	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	3%	720	0,1595	3,0957	691,20	711,34	687,40	192
1	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	3%	720	0,7714	4,8731	514,80	537,85	510,60	143
2	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	3%	720	2,7798	4,8538	525,60	538,14	511,50	146
3	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	3%	720	-0,0457	4,8878	511,20	538,89	511,29	142
1	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	3%	720	0,4071	2,9162	698,40	718,64	696,05	194
2	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	3%	720	0,3020	3,0420	698,40	719,48	696,25	194
3	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	3%	720	0,2186	2,9956	698,40	719,09	696,58	194
1	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	3%	720	0,5046	2,3434	774,00	790,77	770,32	215
2	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	3%	720	2,9571	2,1698	795,60	794,29	773,47	221
3	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	3%	720	0,3329	2,3566	774,00	788,27	769,61	215
1	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-0,1231	-0,2749	968,40	965,53	966,16	269
2	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	1,2936	-0,2560	979,20	966,90	964,55	272
3	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-0,0110	-0,0650	1000,80	996,31	996,07	278
1	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	5%	720	0,9896	-2,2831	774,00	747,24	763,71	215
2	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	5%	720	2,8446	-2,1697	788,40	748,03	762,96	219
3	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	5%	720	1,4491	-2,1429	774,00	748,80	763,03	215
1	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	5%	720	-0,2459	6,2026	432,00	463,69	434,26	120
2	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	5%	720	3,1260	6,1021	446,40	459,67	433,39	124
3	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	5%	720	-0,4421	6,2820	432,00	462,65	433,36	120
1	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	5%	720	-1,3524	1,1884	810,00	831,47	816,87	225
2	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	5%	720	0,3839	1,1213	817,20	827,64	816,54	227
3	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	5%	720	-0,8008	1,1951	810,00	829,73	816,69	225
1	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	5%	720	0,2530	2,0767	712,80	727,62	706,73	198
2	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	5%	720	2,1503	2,8565	727,20	734,57	710,36	202
3	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	5%	720	0,3300	2,8915	712,80	734,18	710,14	198
1	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	5%	720	-0,8338	6,8082	403,20	436,17	407,34	112
2	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	5%	720	3,4370	6,7676	421,20	436,11	407,16	117
3	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	5%	720	-1,0281	6,6798	406,80	443,54	413,27	113
1	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	5%	720	-0,1214	4,0723	594,00	620,13	594,38	165
2	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	5%	720	1,8252	4,0915	615,60	632,04	604,27	171
3	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	5%	720	-0,5005	4,1146	601,20	632,24	603,59	167
1	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	5%	720	0,2211	3,1540	691,20	710,27	687,39	192
2	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	5%	720	2,1569	3,0515	709,20	715,50	692,11	197
3	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	5%	720	0,2358	3,1126	691,20	709,34	686,90	192
1	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	5%	720	0,2557	4,7946	511,20	538,32	511,21	142
2	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	5%	720	3,3401	4,7292	529,20	537,04	511,25	147
3	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	5%	720	0,4057	4,9003	511,20	537,33	510,57	142

1	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	5%	720	0,1302	2,9824	687,60	709,62	685,71	191
2	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	5%	720	1,9730	2,9928	712,80	719,18	697,10	198
3	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	5%	720	0,2573	2,9989	698,40	720,07	696,33	194
1	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	5%	720	0,6181	2,2056	774,00	790,43	770,57	215
2	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	5%	720	2,1958	2,2102	792,00	793,47	773,16	220
3	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	5%	720	0,3529	2,3463	774,00	788,76	768,96	215

Tabela 14 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 3, considerando-se desequilíbrios ($K_d=7,2$).

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas
1	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-0,4934	-0,3286	957,60	965,96	966,43	133
2	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-1,0446	-0,2027	957,60	967,52	964,61	133
3	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-0,4683	-0,1048	964,80	967,31	965,95	134
1	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	3%	720	-0,2998	-2,2291	763,20	750,22	764,10	106
2	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	3%	720	-0,4256	-2,2444	756,00	748,39	763,58	105
3	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	3%	720	0,5936	-2,2265	763,20	749,49	764,15	106
1	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	3%	720	0,8879	6,1868	439,20	461,72	433,76	61
2	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	3%	720	-0,1433	6,3076	432,00	463,39	433,43	60
3	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	3%	720	0,9348	6,2052	439,20	462,63	433,68	61
1	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	3%	720	-0,4961	1,1708	813,60	830,33	817,31	113
2	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	3%	720	-1,0954	1,0298	806,40	828,68	817,02	112
3	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	3%	720	-0,2710	1,1649	813,60	829,85	817,31	113
1	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	3%	720	1,0316	2,9599	712,80	735,83	711,26	99
2	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	3%	720	0,2243	2,8871	712,80	734,01	710,33	99
3	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	3%	720	1,0201	2,9382	720,00	734,31	711,31	100
1	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	3%	720	0,3017	6,6108	410,40	444,34	414,08	57
2	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	3%	720	-0,6628	6,8473	403,20	437,15	407,40	56
3	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	3%	720	0,7208	6,7991	410,40	436,74	407,47	57
1	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	3%	720	0,8987	4,1224	604,80	631,24	604,41	84
2	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	3%	720	0,2264	3,9778	604,80	628,00	603,59	84
3	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	3%	720	0,5751	4,0885	604,80	628,80	603,79	84
1	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	3%	720	0,7894	3,1183	691,20	711,54	688,24	96
2	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	3%	720	0,4318	3,2888	691,20	711,32	686,97	96
3	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	3%	720	0,9685	3,2177	691,20	711,63	687,42	96
1	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	3%	720	0,9219	4,9118	511,20	538,49	511,43	71
2	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	3%	720	0,3212	4,9503	511,20	537,79	510,82	71
3	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	3%	720	1,1793	4,9025	518,40	537,96	511,32	72
1	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	3%	720	0,8247	3,0569	698,40	721,28	697,37	97
2	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	3%	720	0,0254	3,0095	698,40	720,15	696,17	97
3	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	3%	720	0,6196	3,0655	705,60	725,45	701,85	98
1	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	3%	720	0,5070	2,2711	770,40	789,94	770,24	107
2	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	3%	720	0,5034	2,3640	770,40	789,16	768,70	107
3	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	3%	720	0,7837	2,2521	777,60	794,58	773,81	108
1	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-0,5965	-0,1786	957,60	966,14	966,03	133
2	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-1,0183	-0,1261	957,60	966,62	963,82	133
3	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-0,3418	-0,0730	964,80	968,20	965,47	134
1	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	5%	720	0,0295	-2,2742	763,20	748,28	763,98	106
2	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	5%	720	-0,6031	-2,1787	763,20	754,42	768,87	106
3	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	5%	720	0,2700	-2,2317	763,20	749,26	764,10	106
1	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	5%	720	1,2634	6,2299	439,20	464,11	434,21	61
2	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	5%	720	-0,5394	6,1906	432,00	462,74	433,51	60

3	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	5%	720	1,5322	6,1998	439,20	463,31	433,85	61
1	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	5%	720	-0,3028	1,0671	813,60	832,73	819,61	113
2	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	5%	720	-1,1869	1,1317	806,40	829,49	815,85	112
3	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	5%	720	-0,7845	1,0862	813,60	829,15	816,77	113
1	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	5%	720	0,8553	2,7313	720,00	738,77	716,05	100
2	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	5%	720	0,0332	2,9056	712,80	733,52	710,15	99
3	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	5%	720	0,7312	2,9749	720,00	734,79	711,30	100
1	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	5%	720	0,7487	6,7264	410,40	436,61	408,21	57
2	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	5%	720	-0,9070	6,7543	403,20	435,90	407,54	56
3	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	5%	720	0,8967	6,7667	410,40	437,72	407,81	57
1	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	5%	720	1,3683	4,0203	612,00	632,06	604,65	85
2	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	5%	720	-0,3781	4,1203	597,60	630,46	603,11	83
3	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	5%	720	0,4951	4,0471	612,00	636,25	609,70	85
1	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	5%	720	0,9750	3,0721	691,20	712,25	687,71	96
2	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	5%	720	0,1048	3,1218	691,20	715,03	691,80	96
3	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	5%	720	0,8857	3,0685	691,20	712,02	687,70	96
1	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	5%	720	1,1978	4,8418	518,40	538,42	511,60	72
2	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	5%	720	0,0560	4,8510	511,20	537,19	510,98	71
3	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	5%	720	1,5855	4,8580	518,40	537,51	511,27	72
1	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	5%	720	1,0192	2,9683	705,60	721,18	697,67	98
2	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	5%	720	-0,1116	3,0024	691,20	720,23	696,30	96
3	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	5%	720	0,6345	3,0109	698,40	720,46	697,43	97
1	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	5%	720	0,6311	2,5273	777,60	795,51	773,79	108
2	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	5%	720	0,1825	2,2965	770,40	789,71	768,97	107
3	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	5%	720	0,7696	2,3205	777,60	791,19	769,68	108

Tabela 15 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 4, considerando-se desequilíbrios (Kd=7,2)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	Ângulo	FDV	PONTOS	E%DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N.Voltas
1	V0	I0	0.80	0.25	0,00	3%	720	0.323429	-0.120050	972.00	967.89	967.64	135
2	V0	I0	0.80	0.25	0,00	3%	720	0.568891	-0.231305	972.00	967.20	965.83	135
3	V0	I0	0.80	0.25	0,00	3%	720	0.632635	0.117653	972.00	970.60	966.88	135
1	BV1	TI1	3.07	46.83	-21,60	3%	720	2.066719	-2.111524	777.60	750.55	765.12	108
2	BV1	TI1	3.07	46.83	-21,60	3%	720	2.144307	-2.229212	777.60	748.74	764.23	108
3	BV1	TI1	3.07	46.83	-21,60	3%	720	3.543500	2.420708	784.80	752.19	764.58	109
1	BV2	BI2	3.30	42.35	35,20	3%	720	2.408464	6.333589	446.40	464.51	434.06	62
2	BV2	BI2	3.30	42.35	35,20	3%	720	1.973808	6.332134	439.20	461.99	433.40	61
3	BV2	BI2	3.30	42.35	35,20	3%	720	3.505624	6.280484	446.40	461.93	433.77	62
1	BV2	TI1	3.30	46.83	35,20	3%	720	0.060890	1.203994	813.60	832.40	818.68	113
2	BV2	TI1	3.30	46.83	35,20	3%	720	0.044677	1.311595	813.60	832.01	817.54	113
3	BV2	TI1	3.30	46.83	35,20	3%	720	0.422393	1.221210	820.80	829.25	817.95	114
1	BV2	TI3	3.30	24.64	35,20	3%	720	1.185464	2.974238	720.00	735.92	712.11	100
2	BV2	TI3	3.30	24.64	35,20	3%	720	1.809977	2.973781	720.00	733.95	711.54	100
3	BV2	TI3	3.30	24.64	35,20	3%	720	2.345583	2.942608	727.20	736.34	712.03	101
1	TV1	BI2	3.02	42.35	34,99	3%	720	2.141617	6.879151	410.40	437.37	408.02	57
2	TV1	BI2	3.02	42.35	34,99	3%	720	1.270269	6.863064	410.40	436.70	407.62	57
3	TV1	BI2	3.02	42.35	34,99	3%	720	2.707078	6.870233	417.60	438.76	408.04	58
1	TV1	TI2	3.02	23.85	34,99	3%	720	1.089411	4.084379	612.00	636.50	610.00	85
2	TV1	TI2	3.02	23.85	34,99	3%	720	1.448748	4.130943	612.00	632.15	604.10	85
3	TV1	TI2	3.02	23.85	34,99	3%	720	2.321232	4.221277	604.80	623.22	595.12	84
1	TV1	TI3	3.02	24.64	34,99	3%	720	1.327692	3.171060	698.40	713.33	688.67	97

2	TV1	TI3	3.02	24.64	34,99	3%	720	1.732555	3.102363	698.40	713.63	688.14	97
3	TV1	TI3	3.02	24.64	34,99	3%	720	2.101393	3.222931	705.60	711.76	688.36	98
1	TV2	BI2	2.89	42.35	31,32	3%	720	2.758646	4.928283	525.60	537.91	511.73	73
2	TV2	BI2	2.89	42.35	31,32	3%	720	1.845690	4.955374	518.40	538.12	511.18	72
3	TV2	BI2	2.89	42.35	31,32	3%	720	3.273318	4.897037	525.60	537.04	511.59	73
1	TV2	TI2	2.89	23.85	31,32	3%	720	1.272588	3.103621	705.60	723.45	697.97	98
2	TV2	TI2	2.89	23.85	31,32	3%	720	1.758359	3.037058	705.60	721.22	697.07	98
3	TV2	TI2	2.89	23.85	31,32	3%	720	2.574194	3.076393	698.40	711.47	686.81	97
1	TV2	TI3	2.89	24.64	31,32	3%	720	1.186749	2.306278	777.60	791.23	770.94	108
2	TV2	TI3	2.89	24.64	31,32	3%	720	1.312262	2.315138	777.60	790.50	770.84	108
3	TV2	TI3	2.89	24.64	31,32	3%	720	1.750672	2.338824	784.80	791.52	770.93	109
1	V0	I0	0.80	0.25	0,00	5%	720	0.406677	-0.096159	972.00	970.18	966.73	135
2	V0	I0	0.80	0.25	0,00	5%	720	0.501439	-0.109149	972.00	965.90	965.47	135
3	V0	I0	0.80	0.25	0,00	5%	720	0.834368	-0.026811	979.20	968.73	966.51	136
1	BV1	TI1	3.07	46.83	-21,60	5%	720	1.527518	-2.150784	777.60	748.90	764.83	108
2	BV1	TI1	3.07	46.83	-21,60	5%	720	2.039547	-2.180332	777.60	748.14	763.60	108
3	BV1	TI1	3.07	46.83	-21,60	5%	720	2.372035	-2.196412	784.80	751.56	764.64	109
1	BV2	BI2	3.30	42.35	35,20	5%	720	2.608513	6.063975	424.80	466.98	439.92	59
2	BV2	BI2	3.30	42.35	35,20	5%	720	1.497857	6.265615	439.20	461.04	433.68	61
3	BV2	BI2	3.30	42.35	35,20	5%	720	3.372555	6.267433	446.40	462.17	433.99	62
1	BV2	TI1	3.30	46.83	35,20	5%	720	-0.480707	1.153245	813.60	830.01	818.05	113
2	BV2	TI1	3.30	46.83	35,20	5%	720	0.035549	1.062792	813.60	830.10	817.09	113
3	BV2	TI1	3.30	46.83	35,20	5%	720	0.383673	1.199518	820.80	830.63	817.98	114
1	BV2	TI3	3.30	24.64	35,20	5%	720	1.593942	2.928179	727.20	739.95	716.29	101
2	BV2	TI3	3.30	24.64	35,20	5%	720	1.485707	3.018366	720.00	734.61	711.00	100
3	BV2	TI3	3.30	24.64	35,20	5%	720	1.959876	3.017127	727.20	735.64	711.38	101
1	TV1	BI2	3.02	42.35	34,99	5%	720	-8.927816	6.891578	388.80	438.49	408.00	54
2	TV1	BI2	3.02	42.35	34,99	5%	720	0.958405	6.795499	410.40	437.38	407.79	57
3	TV1	BI2	3.02	42.35	34,99	5%	720	2.563041	6.811930	417.60	436.83	407.95	58
1	TV1	TI2	3.02	23.85	34,99	5%	720	0.976741	4.171302	612.00	631.71	604.84	85
2	TV1	TI2	3.02	23.85	34,99	5%	720	1.292056	4.038805	604.80	629.13	603.85	84
3	TV1	TI2	3.02	23.85	34,99	5%	720	2.071116	4.110798	612.00	631.81	604.73	85
1	TV1	TI3	3.02	24.64	34,99	5%	720	1.602949	3.165098	698.40	712.95	688.61	97
2	TV1	TI3	3.02	24.64	34,99	5%	720	1.578711	3.243643	698.40	712.20	687.85	97
3	TV1	TI3	3.02	24.64	34,99	5%	720	1.911587	3.257390	698.40	714.75	688.40	97
1	TV2	BI2	2.89	42.35	31,32	5%	720	2.177268	4.820756	518.40	538.55	511.39	72
2	TV2	BI2	2.89	42.35	31,32	5%	720	1.954004	4.750707	518.40	537.20	511.20	72
3	TV2	BI2	2.89	42.35	31,32	5%	720	3.162280	4.933670	525.60	537.69	511.59	73
1	TV2	TI2	2.89	23.85	31,32	5%	720	1.929340	3.048220	712.80	727.75	702.82	99
2	TV2	TI2	2.89	23.85	31,32	5%	720	1.455186	3.030826	705.60	718.63	696.76	98
3	TV2	TI2	2.89	23.85	31,32	5%	720	1.963125	3.100988	712.80	723.43	697.83	99
1	TV2	TI3	2.89	24.64	31,32	5%	720	1.310365	2.432193	777.60	792.85	770.86	108
2	TV2	TI3	2.89	24.64	31,32	5%	720	1.116083	2.213639	777.60	788.85	770.44	108
3	TV2	TI3	2.89	24.64	31,32	5%	720	1.704393	2.261387	784.80	792.36	770.50	109

Tabela 16 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução bifásicos da Amostra 5, considerando-se desequilíbrios ($K_d=7,2$)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas
1	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-0,39836	-0,04120	957,60	968,31	966,53	133
2	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-0,04257	-0,27984	964,80	966,38	967,49	134
3	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-0,65805	-0,12721	964,80	968,00	967,17	134

1	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	3%	720	-0,31395	-2,05716	763,20	750,68	764,80	106
2	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	3%	720	0,80217	-2,16270	770,40	749,72	764,83	107
3	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	3%	720	0,30273	-2,17570	763,20	751,75	765,19	106
1	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	3%	720	0,16330	6,38160	432,00	462,68	433,66	60
2	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	3%	720	1,84382	6,24437	439,20	462,33	433,78	61
3	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	3%	720	0,45670	6,28134	432,00	463,42	433,87	60
1	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	3%	720	-0,87153	1,14888	813,60	829,81	817,65	113
2	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	3%	720	0,60376	1,16209	820,80	830,48	818,27	114
3	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	3%	720	-0,54196	1,04122	813,60	831,95	818,89	113
1	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	3%	720	-0,06724	2,97243	705,60	733,87	711,40	98
2	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	3%	720	2,19329	2,95784	727,20	735,78	712,10	101
3	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	3%	720	-0,00465	2,97195	712,80	734,75	711,97	99
1	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	3%	720	-0,53657	6,95313	403,20	437,27	407,58	56
2	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	3%	720	1,38530	6,90396	410,40	436,52	407,81	57
3	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	3%	720	0,05718	6,83781	403,20	436,99	407,75	56
1	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	3%	720	-0,53937	4,23496	597,60	631,64	604,43	83
2	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	3%	720	1,98243	4,13209	619,20	633,06	605,01	86
3	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	3%	720	-0,06547	4,20288	604,80	633,48	604,59	84
1	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	3%	720	0,13877	3,23950	684,00	713,25	688,21	95
2	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	3%	720	2,34233	3,22899	705,60	714,99	688,88	98
3	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	3%	720	0,17395	3,24842	691,20	713,63	688,59	96
1	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	3%	720	0,08351	5,05339	511,20	539,22	511,24	71
2	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	3%	720	2,58987	4,91475	525,60	540,38	511,92	73
3	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	3%	720	0,63058	4,86583	518,40	542,59	516,91	72
1	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	3%	720	-0,34876	3,00552	691,20	722,12	697,58	96
2	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	3%	720	2,29776	3,07996	712,80	722,08	698,13	99
3	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	3%	720	0,07032	3,07241	705,60	727,14	702,67	98
1	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	3%	720	-0,03808	2,37945	770,40	791,43	770,52	107
2	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	3%	720	1,99596	2,37372	784,80	792,09	771,28	109
3	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	3%	720	0,03175	2,27497	770,40	789,45	770,79	107
1	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-0,77456	-0,05872	957,60	969,05	966,80	133
2	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	0,30545	-0,16950	972,00	968,89	966,70	135
3	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	0,01982	-0,20629	964,80	965,35	966,49	134
1	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	5%	720	-0,41858	-2,17043	763,20	749,84	764,55	106
2	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	5%	720	1,12582	-2,18425	770,40	749,07	764,71	107
3	BV1	TI1	3,07	46,83	-21,60	5%	720	0,03034	-2,22152	763,20	750,17	764,74	106
1	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	5%	720	-0,32518	6,26386	432,00	462,42	433,92	60
2	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	5%	720	2,84691	6,22958	446,40	461,91	434,13	62
3	BV2	BI2	3,30	42,35	35,20	5%	720	0,69875	6,17219	432,00	463,30	433,81	60
1	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	5%	720	-0,84591	1,14463	813,60	832,03	817,85	113
2	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	5%	720	1,01489	1,17471	820,80	830,54	818,28	114
3	BV2	TI1	3,30	46,83	35,20	5%	720	0,07775	1,14054	813,60	830,37	817,81	113
1	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	5%	720	0,05046	2,94248	712,80	735,51	711,83	99
2	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	5%	720	1,74355	3,01112	727,20	736,46	712,13	101
3	BV2	TI3	3,30	24,64	35,20	5%	720	0,36489	2,87379	712,80	735,85	711,51	99
1	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	5%	720	-0,85014	6,83573	403,20	437,14	407,51	56
2	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	5%	720	2,43876	6,76518	417,60	437,77	408,07	58
3	TV1	BI2	3,02	42,35	34,99	5%	720	0,20688	6,73087	403,20	435,63	407,70	56
1	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	5%	720	-0,58706	4,10099	597,60	631,14	604,61	83
2	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	5%	720	2,40379	4,09473	619,20	631,50	604,92	86

3	TV1	TI2	3,02	23,85	34,99	5%	720	0,32949	4,04940	604,80	630,56	604,53	84
1	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	5%	720	0,26778	3,18994	684,00	712,67	688,51	95
2	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	5%	720	1,93317	3,17844	698,40	712,17	688,74	97
3	TV1	TI3	3,02	24,64	34,99	5%	720	0,25202	3,07225	691,20	716,33	693,41	96
1	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	5%	720	-0,29172	4,87546	511,20	537,77	511,38	71
2	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	5%	720	3,05336	4,89982	525,60	538,05	511,78	73
3	TV2	BI2	2,89	42,35	31,32	5%	720	0,64938	4,84527	511,20	537,49	511,36	71
1	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	5%	720	0,11785	3,00556	698,40	726,09	702,54	97
2	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	5%	720	1,85595	3,09573	712,80	721,22	697,94	99
3	TV2	TI2	2,89	23,85	31,32	5%	720	0,53573	2,95066	705,60	724,71	702,39	98
1	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	5%	720	0,01422	2,33958	770,40	789,76	770,63	107
2	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	5%	720	1,44222	2,30543	784,80	792,30	771,01	109
3	TV2	TI3	2,89	24,64	31,32	5%	720	0,09035	2,31816	770,40	791,90	770,45	107

Tabela 17 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 6, considerando-se desequilíbrios (Kd=10,8).

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas
1	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	0,132148	-0,114753	1447,20	1452,05	1450,70	134
2	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-0,805444	-0,162510	1447,20	1455,55	1454,70	134
3	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-0,353729	0,202611	1447,20	1457,53	1448,20	134
1	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	3%	720	-0,342794	1,492034	1209,60	1239,94	1218,10	112
2	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	3%	720	-1,020401	1,373015	1198,80	1235,72	1216,10	111
3	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	3%	720	-0,448185	1,739042	1209,60	1237,62	1214,10	112
1	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	3%	720	-0,224527	3,270332	1058,40	1094,22	1057,40	98
2	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	3%	720	-0,555916	3,487034	1047,60	1097,94	1058,70	97
3	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	3%	720	0,337266	3,526093	1047,60	1088,45	1048,00	97
1	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	3%	720	-0,117273	2,413612	1198,80	1227,49	1196,80	111
2	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	3%	720	0,174782	2,459748	1198,80	1232,14	1198,20	111
3	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	3%	720	0,382401	2,650783	1198,80	1231,16	1196,20	111
1	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	3%	720	-0,187000	0,364000	1285,00	1298,00	1291,00	119
2	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	3%	720	-0,573393	0,444324	1285,20	1297,92	1290,70	119
3	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	3%	720	0,275952	0,751760	1285,20	1301,65	1289,40	119
1	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	3%	720	0,156584	1,930645	1252,80	1278,75	1252,50	116
2	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	3%	720	0,061485	1,918579	1242,00	1274,64	1247,00	115
3	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	3%	720	0,470482	2,101201	1252,80	1280,46	1250,90	116
1	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	3%	720	-0,155872	1,407086	1328,40	1347,56	1326,30	123
2	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	3%	720	-0,413938	1,440621	1317,60	1350,63	1327,70	122
3	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	3%	720	0,002255	1,478122	1328,40	1350,30	1327,00	123
1	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	3%	720	0,317023	3,027137	1026,00	1061,40	1028,00	95
2	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	3%	720	-0,454123	2,935898	1026,00	1061,70	1028,70	95
3	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	3%	720	0,487562	3,548985	1026,00	1059,86	1021,30	95
1	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	3%	720	-0,296186	2,118151	1112,40	1147,76	1122,10	103
2	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	3%	720	-0,743296	2,196291	1112,40	1149,55	1121,50	103
3	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	3%	720	0,023548	2,737813	1123,20	1152,99	1120,40	104
1	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	3%	720	-0,256615	0,477729	1285,20	1297,88	1288,40	119
2	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	3%	720	-0,635239	0,541044	1285,20	1297,50	1288,60	119
3	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	3%	720	0,180787	0,888633	1285,20	1300,24	1287,40	119
1	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	3%	720	-0,169854	1,350541	1350,00	1368,94	1347,50	125
2	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	3%	720	-0,077687	1,365116	1350,00	1371,45	1349,50	125
3	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	3%	720	0,266176	1,529884	1350,00	1370,69	1346,90	125
1	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-0,238490	-0,144638	1447,20	1451,28	1450,20	134

2	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-0,265852	1,343427	1458,00	1487,04	1467,70	135
3	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-0,175998	-0,265050	1447,20	1449,59	1450,50	134
1	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	5%	720	-0,646000	1,482000	1210,00	1237,00	1216,00	112
2	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	5%	720	-0,473905	3,635973	1209,60	1265,58	1215,30	112
3	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	5%	720	-0,355468	1,776418	1209,60	1237,58	1213,90	112
1	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	5%	720	0,218854	3,340905	1047,60	1086,32	1049,00	97
2	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	5%	720	-0,416959	3,023935	1047,60	1089,27	1056,90	97
3	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	5%	720	0,334093	2,620414	1047,60	1084,91	1050,60	97
1	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	5%	720	0,017590	2,371858	1198,80	1227,75	1197,30	111
2	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	5%	720	-0,299560	2,678565	1198,80	1233,34	1198,30	111
3	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	5%	720	0,649578	3,230215	1198,80	1238,66	1197,60	111
1	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	5%	720	0,175984	0,436819	1285,20	1297,61	1289,80	119
2	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	5%	720	-0,193835	1,178807	1285,20	1306,39	1290,50	119
3	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	5%	720	0,155464	0,761477	1285,20	1301,78	1289,10	119
1	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	5%	720	0,428810	1,921076	1252,80	1273,67	1247,20	116
2	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	5%	720	-0,204511	1,807525	1242,00	1271,95	1248,10	115
3	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	5%	720	0,630154	2,502406	1252,80	1282,40	1246,50	116
1	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	5%	720	-0,033472	1,385531	1328,40	1351,08	1330,10	123
2	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	5%	720	-0,097637	1,015654	1328,40	1344,57	1326,50	123
3	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	5%	720	0,341036	2,280134	1328,40	1358,70	1326,00	123
1	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	5%	720	0,519599	3,014150	1026,00	1054,81	1022,20	95
2	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	5%	720	0,157999	3,592078	1015,20	1062,03	1022,20	94
3	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	5%	720	0,463955	3,421280	1026,00	1060,62	1021,20	95
1	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	5%	720	-0,059074	2,255111	1112,40	1147,22	1120,30	103
2	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	5%	720	-0,488409	2,140316	1123,20	1152,29	1126,40	104
3	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	5%	720	-0,000193	2,599266	1123,20	1151,73	1120,00	104
1	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	5%	720	0,055278	0,540031	1285,20	1297,56	1287,00	119
2	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	5%	720	-0,529382	0,853015	1285,20	1303,98	1288,60	119
3	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	5%	720	0,229769	0,748803	1285,20	1299,69	1287,20	119
1	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	5%	720	-0,076440	1,345949	1350,00	1367,38	1346,80	125
2	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	5%	720	-0,286298	1,651129	1339,20	1374,12	1347,50	124
3	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	5%	720	0,321172	2,183878	1350,00	1379,32	1346,70	125

Tabela 18 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 7, considerando-se desequilíbrios (Kd=10,8).

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas
1	V0	I0	0.80	0.25	0.00	3%	720	-0.832580	-0.220030	1436.40	1450.42	1451.10	133
2	V0	I0	0.80	0.25	0.00	3%	720	-0.476210	-0.159099	1447.20	1452.09	1451.60	134
3	V0	I0	0.80	0.25	0.00	3%	720	-0.307056	-0.129034	1447.20	1451.21	1449.80	134
1	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	3%	720	-2.016541	1.527991	1188.00	1236.53	1215.40	110
2	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	3%	720	-1.799483	1.473292	1188.00	1235.97	1214.70	110
3	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	3%	720	-1.800438	1.427219	1166.40	1212.18	1192.80	108
1	TV1	INDI1	3.02	18.40	34.99	3%	720	-1.512889	3.405418	1036.80	1088.14	1050.40	96
2	TV1	INDI1	3.02	18.40	34.99	3%	720	-0.397397	3.243235	1047.60	1093.20	1057.20	97
3	TV1	INDI1	3.02	18.40	34.99	3%	720	-0.680062	3.301790	1036.80	1086.04	1049.10	96
1	TV1	INDI2	3.02	4.46	34.99	3%	720	-0.744623	2.367223	1188.00	1230.51	1199.10	110
2	TV1	INDI2	3.02	4.46	34.99	3%	720	-0.485458	2.445766	1188.00	1230.21	1198.50	110
3	TV1	INDI2	3.02	4.46	34.99	3%	720	-0.434835	2.472174	1188.00	1228.67	1196.10	110
1	INDV1	TRI1	4.76	46.80	18.40	3%	720	-1.462380	0.532346	1263.60	1300.52	1290.50	117
2	INDV1	TRI1	4.76	46.80	18.40	3%	720	-0.844276	0.426049	1274.40	1298.50	1290.00	118
3	INDV1	TRI1	4.76	46.80	18.40	3%	720	-1.041989	0.429001	1274.40	1296.02	1288.80	118

1	INDV1	INDI1	4.76	18.40	18.40	3%	720	-0.662365	1.885222	1231.20	1273.99	1248.00	114
2	INDV1	INDI1	4.76	18.40	18.40	3%	720	-0.546603	1.928619	1242.00	1274.17	1247.80	115
3	INDV1	INDI1	4.76	18.40	18.40	3%	720	-0.684979	1.917737	1242.00	1271.90	1245.40	115
1	INDV1	RUI3	4.76	7.54	18.40	3%	720	-0.568585	1.315734	1317.60	1346.93	1326.80	122
2	INDV1	RUI3	4.76	7.54	18.40	3%	720	-0.249663	1.378533	1328.40	1348.14	1326.20	123
3	INDV1	RUI3	4.76	7.54	18.40	3%	720	-0.335430	1.426472	1317.60	1346.08	1325.40	122
1	INDV2	TRI1	1.89	46.80	53.56	3%	720	-2.315463	2.869148	993.60	1055.96	1024.00	92
2	INDV2	TRI1	1.89	46.80	53.56	3%	720	-1.355107	3.004987	1004.40	1055.20	1022.30	93
3	INDV2	TRI1	1.89	46.80	53.56	3%	720	-0.881040	3.012783	1004.40	1054.65	1021.20	93
1	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	3%	720	-2.739122	2.252697	1090.80	1149.94	1122.10	101
2	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	3%	720	-1.643739	2.258536	1101.60	1149.39	1121.10	102
3	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	3%	720	-1.331412	2.255857	1101.60	1148.31	1120.00	102
1	RUV3	TRI1	2.49	46.80	23.54	3%	720	-1.936463	0.508490	1263.60	1298.73	1288.60	117
2	RUV3	TRI1	2.49	46.80	23.54	3%	720	-0.964498	0.491363	1274.40	1298.67	1290.20	118
3	RUV3	TRI1	2.49	46.80	23.54	3%	720	-0.609187	0.521544	1274.40	1296.90	1286.80	118
1	RUV3	INDI2	2.49	4.46	23.54	3%	720	-1.033432	1.311235	1328.40	1366.67	1346.60	123
2	RUV3	INDI2	2.49	4.46	23.54	3%	720	-0.824959	1.090499	1339.20	1368.14	1351.70	124
3	RUV3	INDI2	2.49	4.46	23.54	3%	720	-0.170774	1.378749	1339.20	1367.10	1345.80	124
1	V0	I0	0.80	0.25	0.00	5%	720	-1.020497	-0.200840	1436.40	1451.76	1451.60	133
2	V0	I0	0.80	0.25	0.00	5%	720	-0.900278	-0.145166	1436.40	1449.95	1450.00	133
3	V0	I0	0.80	0.25	0.00	5%	720	-0.686174	-0.140618	1436.40	1448.57	1448.10	133
1	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	5%	720	-2.718631	1.438270	1177.20	1233.80	1214.40	109
2	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	5%	720	-1.780994	1.471932	1188.00	1234.90	1214.30	110
3	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	5%	720	-1.785732	1.515938	1188.00	1234.18	1213.20	110
1	TV1	INDI1	3.02	18.40	34.99	5%	720	-1.413449	3.268024	1026.00	1087.22	1050.60	95
2	TV1	INDI1	3.02	18.40	34.99	5%	720	-0.357420	3.182697	1047.60	1085.81	1051.00	97
3	TV1	INDI1	3.02	18.40	34.99	5%	720	-0.788710	3.245049	1036.80	1086.07	1050.30	96
1	TV1	INDI2	3.02	4.46	34.99	5%	720	-1.250653	2.313281	1188.00	1236.88	1206.30	110
2	TV1	INDI2	3.02	4.46	34.99	5%	720	-0.500268	2.391309	1198.80	1236.07	1204.20	111
3	TV1	INDI2	3.02	4.46	34.99	5%	720	-0.607133	2.366594	1188.00	1227.55	1197.40	110
1	INDV1	TRI1	4.76	46.80	18.40	5%	720	-1.816469	0.431694	1263.60	1298.42	1289.70	117
2	INDV1	TRI1	4.76	46.80	18.40	5%	720	-0.834585	0.423931	1274.40	1299.89	1291.20	118
3	INDV1	TRI1	4.76	46.80	18.40	5%	720	-1.085226	0.445011	1274.40	1297.10	1288.40	118
1	INDV1	INDI1	4.76	18.40	18.40	5%	720	-1.103459	1.860856	1231.20	1273.62	1248.00	114
2	INDV1	INDI1	4.76	18.40	18.40	5%	720	-0.559223	1.886619	1242.00	1278.63	1252.20	115
3	INDV1	INDI1	4.76	18.40	18.40	5%	720	-0.830024	1.907618	1242.00	1273.18	1246.60	115
1	INDV1	RUI3	4.76	7.54	18.40	5%	720	-1.007103	1.395414	1317.60	1348.32	1326.90	122
2	INDV1	RUI3	4.76	7.54	18.40	5%	720	-0.339274	1.493279	1306.80	1339.19	1316.40	121
3	INDV1	RUI3	4.76	7.54	18.40	5%	720	-0.248668	1.362048	1317.60	1346.54	1325.50	122
1	INDV2	TRI1	1.89	46.80	53.56	5%	720	-2.460800	3.045786	972.00	1035.80	1003.90	90
2	INDV2	TRI1	1.89	46.80	53.56	5%	720	-1.337868	3.017654	1004.40	1054.80	1022.00	93
3	INDV2	TRI1	1.89	46.80	53.56	5%	720	-0.929155	3.032895	1004.40	1055.05	1021.20	93
1	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	5%	720	-2.485392	2.245270	1090.80	1150.44	1121.80	101
2	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	5%	720	-1.631092	2.271843	1101.60	1148.81	1121.10	102
3	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	5%	720	-0.894583	2.264979	1101.60	1147.97	1120.20	102
1	RUV3	TRI1	2.49	46.80	23.54	5%	720	-1.800184	0.527503	1263.60	1297.71	1288.60	117
2	RUV3	TRI1	2.49	46.80	23.54	5%	720	-1.016356	0.543578	1274.40	1298.18	1287.70	118
3	RUV3	TRI1	2.49	46.80	23.54	5%	720	-1.282735	0.547567	1263.60	1296.05	1287.10	117
1	RUV3	INDI2	2.49	4.46	23.54	5%	720	-1.138555	1.346614	1328.40	1368.42	1346.40	123
2	RUV3	INDI2	2.49	4.46	23.54	5%	720	-1.202880	1.133237	1328.40	1365.13	1346.10	123

3	RUV3	INDI2	2.49	4.46	23.54	5%	720	-0.490467	1.381156	1339.20	1367.14	1345.70	124
---	------	-------	------	------	-------	----	-----	-----------	----------	---------	---------	---------	-----

Tabela 19 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 8, considerando-se desequilíbrios (Kd=10,8)

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas
1	V0	I0	0.80	0.25	0.00	3%	720	-1.044216	-0.212034	1436.40	1451.02	1452.60	133
2	V0	I0	0.80	0.25	0.00	3%	720	-0.749381	-0.139447	1447.20	1452.72	1451.70	134
3	V0	I0	0.80	0.25	0.00	3%	720	-0.749381	-0.139447	1447.20	1452.72	1451.70	134
1	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	3%	720	-2.429688	1.354236	1188.00	1234.57	1214.20	110
2	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	3%	720	-2.374921	1.369360	1188.00	1234.84	1215.10	110
3	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	3%	720	-1.936399	1.434435	1188.00	1234.61	1214.50	110
1	TV1	INDI1	3.02	18.40	34.99	3%	720	-1.159602	3.289213	1036.80	1089.19	1051.40	96
2	TV1	INDI1	3.02	18.40	34.99	3%	720	-1.250857	3.370273	1036.80	1088.89	1050.80	96
3	TV1	INDI1	3.02	18.40	34.99	3%	720	-0.519624	3.300437	1036.80	1086.30	1049.40	96
1	TV1	INDI2	3.02	4.46	34.99	3%	720	-0.854224	2.358850	1188.00	1231.01	1200.80	110
2	TV1	INDI2	3.02	4.46	34.99	3%	720	-0.808537	2.469281	1188.00	1232.15	1199.40	110
3	TV1	INDI2	3.02	4.46	34.99	3%	720	-0.406150	2.380967	1188.00	1231.54	1198.60	110
1	INDV1	TRI1	4.76	46.80	18.40	3%	720	-1.702442	0.352097	1263.60	1296.64	1290.20	117
2	INDV1	TRI1	4.76	46.80	18.40	3%	720	-1.568875	0.384249	1274.40	1298.17	1290.60	118
3	INDV1	TRI1	4.76	46.80	18.40	3%	720	-1.120203	0.377902	1274.40	1297.03	1289.40	118
1	INDV1	INDI1	4.76	18.40	18.40	3%	720	-0.621797	1.874988	1242.00	1274.93	1248.90	115
2	INDV1	INDI1	4.76	18.40	18.40	3%	720	-1.016759	1.958426	1231.20	1274.97	1247.70	114
3	INDV1	INDI1	4.76	18.40	18.40	3%	720	0.107216	1.880679	1242.00	1272.39	1246.60	115
1	INDV1	RUI3	4.76	7.54	18.40	3%	720	-0.572829	1.446582	1306.80	1341.68	1319.10	121
2	INDV1	RUI3	4.76	7.54	18.40	3%	720	-0.401095	1.386235	1317.60	1348.82	1328.00	122
3	INDV1	RUI3	4.76	7.54	18.40	3%	720	-0.205885	1.392561	1317.60	1346.48	1325.40	122
1	INDV2	TRI1	1.89	46.80	53.56	3%	720	-1.573919	2.878763	1004.40	1061.71	1029.30	93
2	INDV2	TRI1	1.89	46.80	53.56	3%	720	-2.045956	2.935233	1004.40	1055.16	1022.80	93
3	INDV2	TRI1	1.89	46.80	53.56	3%	720	-1.603253	2.977212	1004.40	1053.98	1021.60	93
1	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	3%	720	-2.161358	1.971056	1101.60	1298.34	1126.50	102
2	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	3%	720	-2.355505	2.117809	1080.00	1137.72	1111.30	100
3	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	3%	720	-1.588231	2.216112	1101.60	1148.05	1120.60	102
1	RUV3	TRI1	2.49	46.80	23.54	3%	720	-1.619981	0.443330	1263.60	1297.52	1289.70	117
2	RUV3	TRI1	2.49	46.80	23.54	3%	720	-1.682559	0.552204	1252.80	1287.94	1277.60	116
3	RUV3	TRI1	2.49	46.80	23.54	3%	720	-0.830710	0.487167	1274.40	1296.72	1287.00	118
1	RUV3	INDI2	2.49	4.46	23.54	3%	720	-0.867008	1.378292	1339.20	1371.50	1349.80	124
2	RUV3	INDI2	2.49	4.46	23.54	3%	720	-0.728073	1.365429	1339.20	1370.94	1349.00	124
3	RUV3	INDI2	2.49	4.46	23.54	3%	720	-0.335576	1.366318	1339.20	1368.60	1347.00	124
1	V0	I0	0.80	0.25	0.00	5%	720	-0.661000	-0.171138	1447.20	1452.82	1452.70	134
2	V0	I0	0.80	0.25	0.00	5%	720	-0.388138	-0.164195	1447.20	1453.03	1451.90	134
3	V0	I0	0.80	0.25	0.00	5%	720	0.259901	-0.187664	1447.20	1450.44	1449.70	134
1	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	5%	720	-2.146877	1.367525	1188.00	1234.66	1215.80	110
2	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	5%	720	-2.087036	1.410383	1188.00	1235.28	1215.50	110
3	TV1	TRI1	3.02	46.80	34.99	5%	720	-1.427711	1.361997	1188.00	1234.01	1214.10	110
1	TV1	INDI1	3.02	18.40	34.99	5%	720	-0.730450	3.342651	1036.80	1089.33	1050.80	96
2	TV1	INDI1	3.02	18.40	34.99	5%	720	-1.156877	3.323170	1036.80	1088.16	1050.10	96
3	TV1	INDI1	3.02	18.40	34.99	5%	720	-0.709602	3.339128	1036.80	1086.65	1049.00	96
1	TV1	INDI2	3.02	4.46	34.99	5%	720	-0.287658	2.358564	1188.00	1231.60	1200.80	110
2	TV1	INDI2	3.02	4.46	34.99	5%	720	-0.891591	2.532020	1188.00	1231.40	1198.70	110
3	TV1	INDI2	3.02	4.46	34.99	5%	720	-0.469676	2.426690	1188.00	1228.52	1197.20	110
1	INDV1	TRI1	4.76	46.80	18.40	5%	720	-1.290262	0.400870	1274.40	1299.17	1291.00	118

2	INDV1	TRI1	4.76	46.80	18.40	5%	720	-1.231770	0.380295	1274.40	1298.17	1290.90	118
3	INDV1	TRI1	4.76	46.80	18.40	5%	720	-0.705258	0.321812	1274.40	1295.93	1288.90	118
1	INDV1	INDI1	4.76	18.40	18.40	5%	720	0.205565	1.922660	1242.00	1275.15	1248.20	115
2	INDV1	INDI1	4.76	18.40	18.40	5%	720	-0.943370	1.899728	1231.20	1274.14	1247.40	114
3	INDV1	INDI1	4.76	18.40	18.40	5%	720	-0.505883	1.898705	1242.00	1272.30	1245.60	115
1	INDV1	RUI3	4.76	7.54	18.40	5%	720	-0.383909	1.357919	1317.60	1349.53	1328.60	122
2	INDV1	RUI3	4.76	7.54	18.40	5%	720	-0.464412	1.513464	1317.60	1350.32	1327.30	122
3	INDV1	RUI3	4.76	7.54	18.40	5%	720	-0.220393	1.371539	1317.60	1346.27	1325.40	122
1	INDV2	TRI1	1.89	46.80	53.56	5%	720	-1.494948	2.965758	1004.40	1056.23	1023.00	93
2	INDV2	TRI1	1.89	46.80	53.56	5%	720	-1.564489	2.881536	1004.40	1055.83	1023.60	93
3	INDV2	TRI1	1.89	46.80	53.56	5%	720	-0.975379	2.907162	1004.40	1053.25	1021.50	93
1	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	5%	720	-1.878383	2.213469	1101.60	1150.05	1122.10	102
2	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	5%	720	-2.205282	2.217815	1090.80	1149.48	1122.20	101
3	RUV2	TRI1	2.86	46.80	47.30	5%	720	-1.673910	1.960443	1101.60	1145.20	1121.40	102
1	RUV3	TRI1	2.49	46.80	23.54	5%	720	-1.359263	0.497844	1263.60	1298.58	1289.30	117
2	RUV3	TRI1	2.49	46.80	23.54	5%	720	-1.703392	0.486911	1263.60	1298.39	1289.10	117
3	RUV3	TRI1	2.49	46.80	23.54	5%	720	-1.175278	0.471596	1274.40	1294.80	1287.40	118
1	RUV3	INDI2	2.49	4.46	23.54	5%	720	-0.536940	1.312764	1339.20	1370.10	1349.60	124
2	RUV3	INDI2	2.49	4.46	23.54	5%	720	-0.619761	1.461656	1339.20	1371.14	1348.40	124
3	RUV3	INDI2	2.49	4.46	23.54	5%	720	-0.383455	1.338622	1350.00	1371.41	1350.30	125

Tabela 20 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 9, considerando-se desequilíbrios (Kd=10,8).

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas
1	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-1,218682	-0,191341	1425,60	1453,13	1451,10	132
2	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-0,611825	-0,272564	1447,20	1450,32	1451,00	134
3	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-1,165257	-0,292184	1436,40	1450,69	1452,10	133
1	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	3%	720	-1,654366	1,811927	1188,00	1236,64	1213,70	110
2	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	3%	720	-1,189288	1,710238	1198,80	1238,75	1214,40	111
3	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	3%	720	-2,412191	1,340238	1188,00	1236,95	1216,70	110
1	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	3%	720	-1,440710	3,515193	1026,00	1088,49	1049,70	95
2	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	3%	720	-0,034499	3,480286	1047,60	1087,65	1049,50	97
3	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	3%	720	-2,104752	3,431949	1026,00	1089,03	1050,50	95
1	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	3%	720	-1,300273	2,375809	1188,00	1237,40	1205,50	110
2	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	3%	720	0,277529	2,384190	1198,80	1236,19	1204,50	111
3	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	3%	720	-1,146634	2,560562	1177,20	1231,83	1199,40	109
1	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	3%	720	-1,561331	0,766560	1263,60	1304,29	1290,30	117
2	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	3%	720	-0,771934	0,636183	1274,40	1301,73	1289,30	118
3	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	3%	720	-2,069212	0,626673	1263,60	1303,19	1291,20	117
1	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	3%	720	-1,413891	1,923772	1231,20	1275,01	1248,30	114
2	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	3%	720	-0,156549	1,936311	1242,00	1273,78	1246,70	115
3	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	3%	720	-1,743076	2,053753	1231,20	1275,91	1247,90	114
1	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	3%	720	-1,200204	1,409197	1306,80	1349,84	1327,50	121
2	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	3%	720	0,050909	1,373602	1328,40	1351,16	1330,50	123
3	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	3%	720	-0,911881	1,487481	1306,80	1349,31	1326,60	121
1	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	3%	720	-1,252593	3,465081	1004,40	1059,56	1022,90	93
2	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	3%	720	-0,193744	3,351876	1015,20	1058,74	1022,20	94
3	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	3%	720	-2,112925	3,336321	1004,40	1061,33	1022,90	93
1	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	3%	720	-1,756781	2,603832	1101,60	1157,80	1126,40	102
2	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	3%	720	-0,576931	-0,002280	1069,20	1064,26	1079,00	99
3	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	3%	720	-2,259116	2,498799	1090,80	1153,12	1121,80	101

1	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	3%	720	-1,502364	0,848725	1263,60	1302,53	1288,50	117
2	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	3%	720	-0,474852	0,801380	1274,40	1300,20	1287,80	118
3	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	3%	720	-2,485408	0,734659	1252,80	1301,66	1289,00	116
1	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	3%	720	-1,387985	1,542754	1328,40	1372,43	1348,70	123
2	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	3%	720	0,012181	1,326255	1350,00	1367,68	1347,70	125
3	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	3%	720	-1,186116	1,404611	1328,40	1369,53	1347,80	123
1	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-1,571623	-0,163907	1425,60	1452,87	1452,10	132
2	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	0,249687	-0,198262	1447,20	1451,03	1450,60	134
3	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-0,892332	-0,138018	1436,40	1451,66	1450,70	133
1	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	5%	720	-1,900066	1,426299	1177,20	1227,27	1206,20	109
2	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	5%	720	-0,340481	1,564251	1209,60	1237,27	1215,70	112
3	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	5%	720	-1,671420	1,806338	1198,80	1243,49	1218,50	111
1	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	5%	720	-1,097720	3,341717	1036,80	1088,17	1050,70	96
2	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	5%	720	0,207543	3,437777	1047,60	1086,80	1049,20	97
3	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	5%	720	-1,365467	3,426550	1036,80	1088,24	1049,50	96
1	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	5%	720	-1,128414	2,381528	1188,00	1228,23	1198,20	110
2	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	5%	720	0,183307	2,504008	1198,80	1230,43	1197,80	111
3	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	5%	720	-0,942576	2,489813	1188,00	1230,20	1197,40	110
1	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	5%	720	-1,524900	0,524037	1274,40	1299,95	1290,30	118
2	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	5%	720	-0,105245	0,631643	1285,20	1301,50	1290,20	119
3	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	5%	720	-1,316745	0,766243	1274,40	1304,83	1290,80	118
1	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	5%	720	-0,870696	1,862612	1242,00	1278,04	1252,50	115
2	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	5%	720	0,055772	1,972106	1252,80	1273,57	1246,20	116
3	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	5%	720	-1,179742	1,940310	1231,20	1272,71	1246,20	114
1	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	5%	720	-0,688420	1,303195	1317,60	1347,23	1326,80	122
2	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	5%	720	0,399331	1,463814	1328,40	1347,85	1326,20	123
3	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	5%	720	-1,099958	1,443311	1306,80	1348,25	1326,20	121
1	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	5%	720	-1,258491	3,382762	1004,40	1058,33	1021,70	93
2	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	5%	720	0,344179	3,353733	1026,00	1059,85	1022,00	95
3	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	5%	720	-1,225198	3,489535	1004,40	1060,07	1022,60	93
1	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	5%	720	-1,505661	2,566774	1101,60	1153,81	1120,70	102
2	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	5%	720	-0,163496	2,457406	1123,20	1157,96	1126,00	104
3	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	5%	720	-1,648929	2,452875	1101,60	1152,57	1122,60	102
1	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	5%	720	-1,281439	0,695401	1263,60	1298,53	1288,20	117
2	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	5%	720	-0,299741	0,892468	1285,20	1299,67	1287,70	119
3	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	5%	720	-1,690433	0,715963	1263,60	1298,80	1287,80	117
1	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	5%	720	-0,463148	1,272920	1328,40	1368,08	1347,60	123
2	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	5%	720	0,374224	1,400826	1350,00	1368,69	1347,40	125
3	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	5%	720	-1,074662	1,354629	1328,40	1368,00	1346,80	123

Tabela 21 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 10, considerando-se desequilíbrios (Kd=10,8).

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas
1	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-1,242401	-0,170599	1425,60	1452,16	1451,60	132
2	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-1,006094	-0,092440	1436,40	1453,20	1451,20	133
3	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-1,247818	-0,189580	1436,40	1453,05	1453,10	133
1	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	3%	720	-2,138938	1,432549	1188,00	1234,61	1215,10	110
2	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	3%	720	-1,725365	1,534149	1166,40	1214,24	1192,30	108
3	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	3%	720	-1,609070	1,489804	1198,80	1235,89	1215,40	111
1	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	3%	720	-1,830953	3,378588	1026,00	1088,06	1050,30	95
2	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	3%	720	-1,986097	3,365926	1026,00	1088,78	1050,50	95

3	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	3%	720	-0,832620	3,437733	1036,80	1088,86	1050,70	96
1	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	3%	720	-1,489793	2,433844	1177,20	1230,76	1199,00	109
2	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	3%	720	-1,549372	2,448283	1177,20	1230,33	1199,10	109
3	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	3%	720	-0,829395	2,476155	1188,00	1231,86	1199,70	110
1	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	3%	720	-1,807646	0,396182	1263,60	1294,34	1290,10	117
2	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	3%	720	-1,598888	0,509263	1274,40	1301,95	1293,00	118
3	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	3%	720	-1,309838	0,361676	1274,40	1300,25	1292,60	118
1	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	3%	720	-1,328894	1,940800	1231,20	1274,58	1247,50	114
2	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	3%	720	-1,459291	1,965867	1231,20	1274,13	1247,60	114
3	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	3%	720	-0,204168	1,985916	1242,00	1275,55	1248,10	115
1	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	3%	720	-1,344164	1,352384	1317,60	1352,76	1331,90	122
2	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	3%	720	-1,295986	1,470969	1306,80	1349,29	1326,90	121
3	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	3%	720	-0,675537	1,426529	1317,60	1349,55	1328,00	122
1	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	3%	720	-1,206154	3,039425	1004,40	1056,10	1022,70	93
2	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	3%	720	-1,235296	3,078975	1015,20	1063,23	1029,10	94
3	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	3%	720	-0,805820	3,070931	1015,20	1056,71	1022,80	94
1	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	3%	720	-1,693923	2,219820	1101,60	1153,84	1126,60	102
2	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	3%	720	-1,694749	2,361756	1101,60	1151,08	1122,60	102
3	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	3%	720	-1,175536	2,289997	1101,60	1149,32	1122,00	102
1	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	3%	720	-1,698249	0,509283	1263,60	1298,17	1288,70	117
2	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	3%	720	-1,808480	0,445832	1263,60	1298,24	1289,70	117
3	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	3%	720	-1,304896	0,497730	1274,40	1294,42	1287,70	118
1	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	3%	720	-1,396149	1,336307	1328,40	1369,31	1348,40	123
2	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	3%	720	-1,376278	1,397953	1328,40	1370,42	1348,10	123
3	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	3%	720	-0,740076	1,374483	1339,20	1370,55	1349,00	124
1	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-1,290333	-0,171133	1436,40	1452,26	1451,70	133
2	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-0,750250	-0,099361	1436,40	1453,06	1451,40	133
3	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-0,391999	-0,144233	1447,20	1451,80	1451,90	134
1	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	5%	720	-2,064559	1,422138	1188,00	1234,84	1215,30	110
2	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	5%	720	-1,589573	1,520010	1198,80	1239,56	1218,90	111
3	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	5%	720	-1,121773	1,494486	1198,80	1237,29	1215,50	111
1	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	5%	720	-1,889737	3,403024	1026,00	1088,71	1050,50	95
2	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	5%	720	-1,630990	3,461802	1036,80	1090,46	1051,40	96
3	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	5%	720	-1,126461	3,372390	1036,80	1087,46	1049,80	96
1	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	5%	720	-1,311900	2,446168	1177,20	1230,93	1198,80	109
2	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	5%	720	-1,325844	2,323233	1188,00	1230,23	1199,70	110
3	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	5%	720	0,021456	2,469557	1188,00	1230,20	1198,60	110
1	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	5%	720	-1,794521	0,408921	1263,60	1298,49	1290,60	117
2	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	5%	720	-0,932557	0,516259	1274,40	1299,94	1290,40	118
3	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	5%	720	-0,969895	0,462082	1274,40	1298,79	1290,60	118
1	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	5%	720	-1,566938	1,941775	1231,20	1274,84	1247,70	114
2	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	5%	720	-0,793265	1,987655	1231,20	1275,09	1247,30	114
3	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	5%	720	-0,817287	1,986377	1242,00	1274,57	1247,00	115
1	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	5%	720	-1,249177	1,356628	1317,60	1352,53	1331,10	122
2	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	5%	720	-1,085234	1,426970	1317,60	1348,87	1327,40	122
3	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	5%	720	-0,453527	1,435264	1317,60	1349,61	1327,20	122
1	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	5%	720	-1,495994	2,958359	1015,20	1061,29	1028,90	94
2	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	5%	720	-1,012496	3,128977	1015,20	1057,88	1022,40	94
3	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	5%	720	-0,701310	2,948086	1015,20	1055,52	1023,30	94
1	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	5%	720	-1,825739	2,247719	1101,60	1148,22	1121,50	102

2	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	5%	720	-1,355358	2,363035	1101,60	1150,82	1121,60	102
3	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	5%	720	-1,142906	2,208671	1101,60	1148,51	1121,50	102
1	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	5%	720	-1,827592	0,476272	1263,60	1297,64	1288,70	117
2	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	5%	720	-1,247683	0,614942	1263,60	1298,89	1288,60	117
3	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	5%	720	-1,400217	0,407461	1274,40	1298,44	1290,90	118
1	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	5%	720	-1,175047	1,348454	1328,40	1368,66	1347,80	123
2	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	5%	720	-1,110385	1,350609	1328,40	1369,55	1348,40	123
3	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	5%	720	-0,671068	1,389223	1339,20	1369,52	1347,70	124

Tabela 22 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios experimentais para os medidores de indução trifásicos da Amostra 11, considerando-se desequilíbrios (Kd=10,8).

REPETIÇÃO	PERFIL V	PERFIL I	T.H.D.V	T.H.D.I	Ângulo	FDV	PONTOS	E% DISCO	E% INT	Wh DISCO	Wh INT	Wh YOKO	N. Voltas
1	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-0,505298	-0,210731	1447,20	1453,42	1453,10	134
2	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-0,279395	-0,133824	1447,20	1455,49	1454,80	134
3	V0	I0	0,80	0,25	0,00	3%	720	-0,311486	1,051534	1447,20	1470,84	1451,90	134
1	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	3%	720	-0,978209	1,643564	1209,60	1240,56	1219,50	112
2	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	3%	720	-0,050174	1,781243	1198,80	1240,49	1216,40	111
3	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	3%	720	-0,529399	1,493508	1209,60	1235,80	1215,80	112
1	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	3%	720	-0,496472	3,400011	1036,80	1088,54	1050,70	96
2	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	3%	720	-0,643253	3,413096	1047,60	1095,97	1057,30	97
3	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	3%	720	-0,115037	3,361478	1047,60	1087,90	1050,00	97
1	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	3%	720	-0,326381	2,424530	1188,00	1231,94	1199,60	110
2	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	3%	720	-0,434001	2,495307	1198,80	1231,88	1200,20	111
3	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	3%	720	0,254359	2,358777	1198,80	1232,70	1202,00	111
1	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	3%	720	-0,429907	0,585086	1285,20	1301,67	1292,10	119
2	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	3%	720	-0,438005	0,714304	1285,20	1303,10	1291,50	119
3	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	3%	720	-0,095812	0,456080	1285,20	1299,30	1290,60	119
1	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	3%	720	-0,194506	1,927347	1242,00	1274,77	1248,10	115
2	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	3%	720	-0,507110	1,890584	1242,00	1274,84	1249,30	115
3	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	3%	720	0,256292	1,917832	1252,80	1273,91	1247,50	116
1	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	3%	720	-0,214959	1,387790	1328,40	1349,13	1327,80	123
2	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	3%	720	-0,364464	1,444469	1328,40	1349,88	1328,10	123
3	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	3%	720	-0,081781	1,386363	1328,40	1349,73	1329,10	123
1	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	3%	720	-0,890095	3,406484	1015,20	1061,75	1022,80	94
2	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	3%	720	0,364968	3,483432	1015,20	1059,79	1020,90	94
3	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	3%	720	0,098021	3,036145	1015,20	1056,91	1022,70	94
1	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	3%	720	-0,818514	2,607923	1112,40	1154,93	1121,60	103
2	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	3%	720	-0,655884	2,663802	1112,40	1155,04	1122,70	103
3	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	3%	720	-0,321846	2,234331	1123,20	1154,18	1126,70	104
1	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	3%	720	-0,557819	0,638575	1285,20	1300,50	1288,90	119
2	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	3%	720	-0,540914	0,694177	1274,40	1300,95	1290,00	118
3	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	3%	720	-0,055616	0,514656	1285,20	1297,73	1288,80	119
1	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	3%	720	-0,383278	1,268745	1350,00	1373,90	1353,30	125
2	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	3%	720	-0,484268	1,391458	1339,20	1371,53	1349,60	124
3	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	3%	720	-0,048054	1,323156	1350,00	1369,16	1348,70	125
1	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-0,184401	-0,231235	1447,20	1452,08	1452,40	134
2	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-0,493433	-0,156166	1447,20	1452,93	1451,80	134
3	V0	I0	0,80	0,25	0,00	5%	720	-0,282592	-0,162723	1447,20	1453,33	1452,20	134
1	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	5%	720	-0,769710	1,707044	1209,60	1239,32	1215,10	112
2	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	5%	720	-0,736527	1,773547	1198,80	1241,43	1215,60	111
3	TV1	TRI1	3,02	46,80	34,99	5%	720	-0,633112	1,457547	1209,60	1235,57	1215,50	112

1	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	5%	720	-0,642725	3,374804	1047,60	1088,20	1050,00	97
2	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	5%	720	-0,364881	3,434588	1047,60	1089,08	1050,40	97
3	TV1	INDI1	3,02	18,40	34,99	5%	720	-0,100117	3,378414	1047,60	1088,38	1050,60	97
1	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	5%	720	-0,428862	2,470482	1188,00	1230,82	1198,60	110
2	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	5%	720	-0,281639	2,410390	1198,80	1231,19	1200,00	111
3	TV1	INDI2	3,02	4,46	34,99	5%	720	0,317403	2,436047	1198,80	1231,64	1199,40	111
1	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	5%	720	-0,352658	0,550730	1285,20	1303,00	1291,60	119
2	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	5%	720	-0,545999	0,694374	1285,20	1303,08	1291,00	119
3	INDV1	TRI1	4,76	46,80	18,40	5%	720	-0,150117	0,370190	1285,20	1297,64	1290,60	119
1	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	5%	720	-0,237922	1,914007	1242,00	1273,88	1247,20	115
2	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	5%	720	-0,208093	1,978480	1242,00	1275,13	1247,90	115
3	INDV1	INDI1	4,76	18,40	18,40	5%	720	0,177462	1,939291	1252,80	1275,28	1247,90	116
1	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	5%	720	-0,171966	1,409328	1328,40	1348,91	1327,90	123
2	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	5%	720	-0,237928	1,446837	1328,40	1350,26	1327,80	123
3	INDV1	RUI3	4,76	7,54	18,40	5%	720	0,185253	1,381996	1328,40	1349,62	1328,20	123
1	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	5%	720	-0,757917	3,307274	1015,20	1057,03	1022,70	94
2	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	5%	720	-0,413597	3,422889	1015,20	1059,27	1022,80	94
3	INDV2	TRI1	1,89	46,80	53,56	5%	720	-0,271452	3,005077	1015,20	1055,52	1022,60	94
1	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	5%	720	-0,806235	2,494368	1112,40	1150,30	1121,60	103
2	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	5%	720	-0,711290	2,613017	1112,40	1155,34	1121,90	103
3	RUV2	TRI1	2,86	46,80	47,30	5%	720	-0,406824	2,265761	1112,40	1150,20	1121,80	103
1	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	5%	720	-0,530494	0,720172	1285,20	1298,13	1288,80	119
2	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	5%	720	-0,523755	0,792384	1274,40	1300,97	1289,10	118
3	RUV3	TRI1	2,49	46,80	23,54	5%	720	-0,156810	0,508599	1285,20	1298,18	1289,20	119
1	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	5%	720	-0,380368	1,415109	1339,20	1370,50	1348,30	124
2	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	5%	720	-0,292503	1,443780	1339,20	1370,92	1348,70	124
3	RUV3	INDI2	2,49	4,46	23,54	5%	720	-0,009283	1,310266	1350,00	1373,34	1353,10	125