

WENDELL WILLIAM TEIXEIRA

**ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA PROVENIENTE DE UMA
PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA À REDE DE DISTRIBUIÇÃO
DE ENERGIA**

WENDELL WILLIAM TEIXEIRA

ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA
PROVENIENTE DE UMA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA
CONECTADA À REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga

Teixeira, Wendell William

Análise da qualidade de energia elétrica proveniente de uma planta solar fotovoltaica conectada à rede de distribuição de energia / Wendell

T266a William Teixeira – Guaratinguetá : [s.n], 2014.

97 f. : il.

Bibliografia : f. 95-97

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga

1. Energia solar 2. Geração de energia fotovoltaica 3. Energia elétrica – Distribuição I. Título

CDU 620.91

UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
Faculdade de Engenharia-Campus de Guaratinguetá

**ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA PROVENIENTE
DE UMA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA À REDE DE
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA**


WENDELL WILLIAM TEIXEIRA

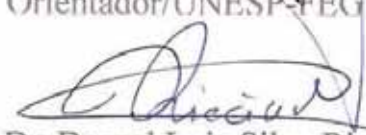
**ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO
ADEQUADO COMO PARTE DO REQUISITO PARA A
OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE GRADUADO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Prof. Dr. Leonardo Mesquita
Coordenador**

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. Durval Luiz Silva Ricciulli
UNESP-FEG


Prof. Dr. Daniel Julien Barros da S. Sampaio
UNESP-FEG

Janeiro 2015

À minha mãe Sandra, Pai José Carlos e irmão Wallace, que foram o principal motivo desta empreitada e que me deram forças para continuar firme, eu amo vocês. E à minha amada Suellen, que esteve sempre do meu lado, eu te amo. Dedico à vocês o meu título de Engenheiro Eletricista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares por todo apoio e incentivo, tenham certeza que suas palavras tornaram os meus dias mais tranquilos.

Ao meu pai José Carlos, meus tios Edvaldo e Marcelo, pois foi nessa roda que aprendi que a maior malandragem da vida é viver.

À minha querida mãe Sandra, por ser a pessoa maravilhosa que é, e que sempre esteve olhando por mim, te amo mamãe!

Ao meu irmão Wallace, que me enche de orgulho, é um prazer ser seu irmão.

À minha noiva Suellen, com quem aprendi que sozinho podemos ir rápido, mas juntos vamos longe, uma pessoas especial com quem quero passar cada segundo da minha vida e construir juntos nossa felicidade.

Agradeço aos meus amigos do skate, que são irmãos, juntos movemos montanhas para alcançar nossos objetivos, e aprendemos que nada pode nos parar se mantivermos a cabeça levantada, nunca alto demais pois não somos melhores que ninguém, jamais baixa porquê ninguém é melhor que a gente, mas sim olho no olho, em pé de igualdade, e seguir em frente pois o mundo é nosso.

Aos irmãos da República A.P.A.E., gostaria de dizer que a faculdade sempre foi fácil, mas vocês a tornaram extremamente engraçada! Tenho orgulho de cada um de vocês!

“Nenhuma verdade é absoluta, questione sempre!”

Autor desconhecido

Teixeira, Wendell. **Título: Análise da qualidade de energia elétrica proveniente de uma planta solar fotovoltaica conectada à rede de distribuição de energia.** 2015 . 100 f. Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

RESUMO

O presente trabalho apresenta a análise da qualidade de energia em uma Planta de Geração Solar Fotovoltaica Distribuída - com capacidade Instalada de 1 MWpico, conectada à rede de distribuição de 11,9 kV, que tem por objetivo levantar e comparar com a norma nacional vigente, os efeitos sobre a qualidade da energia provenientes da utilização de tal matriz geradora. Teve-se como base, os níveis especificados no Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, comumente conhecido como PRODIST, que especifica as diretrizes sobre o quesito Qualidade da Energia Elétrica em território brasileiro. Levou-se em consideração igualmente, as orientações internacionais contidas nas normas 929 e 1547, que propõem, sucessivamente, práticas recomendadas para sistemas de geração solar fotovoltaicos e padrões para conexão de fontes de geração distribuídas conectados à rede elétrica, ambas elaboradas pelo Institute of Electrical and Electronics Engineers, largamente conhecido como IEEE. Fez-se todo o desenvolvimento e trabalho de campo de maneira contínua, e não em momentos específicos, garantindo assim a confiabilidade dos dados obtidos.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar. Energia Fotovoltaica. Geração distribuída. Qualidade de energia.

Teixeira, Wendell. **Titre: Analyse de la qualité de l'énergie électrique provenant d'une centrale solaire photovoltaïque connectée au réseau de distribution d'électricité.** 2015. 100 f. Travail de fin d'études en génie électrique – Faculté d'Ingénierie de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

RESUMÉ

Ce document présente l'analyse de la qualité de l'énergie dans une centrale solaire photovoltaïque - avec une capacité installée de 1 MWpico, relié au réseau de distribution d'électricité en 11,9 kV, qui a comme but connaître et également de comparer à la norme nationale actuelle, les effets de la qualité de l'énergie électrique résultant de l'utilisation de cette type matrice génératrice. Le rapport a été basé sur des niveaux spécifiés dans le module 8 des Procédures de distribution d'électricité dans le réseau national d'électricité - PRODIST, qui précise les directrices sur la question de la qualité de l'énergie électrique sur le territoire brésilien. Il a été considéré aussi les recommandations internationales 929 et 1547, qui proposent des pratiques recommandées concernant des systèmes de génération de l'énergie solaire PV (photovoltaïque), et également des normes pour le raccordement de ces types de sources au réseau de distributions d'électricité, tous deux établis par l'Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens, largement connu comme IEEE. Le développement et le travail sur le terrain a eu lieu de manière continué, et non dans des moments spécifiques, assurant de cette manière, la fiabilité des données obtenues.

MOTS-CLÉS : Énergie solaire. Énergie photovoltaïque. Production décentralisé d'électricité. Qualité de l'énergie électrique.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Geração de Energia Elétrica por Fontes Renováveis	19
Figura 2 – Demanda de Energia Primária por Combustível.....	22
Figura 3 – Distribuição por países da potencia de geração solar PV instalada	25
Figura 4 – Capacidade instalada de geração solar PV acumulada por países	26
Figura 5 – Média de irradiação horizontal anual.....	27
Figura 6 – Distribuição dos projetos apresentados no Leilão de Reserva de 2014	29
Figura 7 – Diagrama unifilar simplificado de Tanquinho	30
Figura 8 –Quadros monitorados no presente estudo	31
Figura 9 – Perfil das tensões eficazes na saída do QDCA-3 durante o período monitorado.	35
Figura 10 – Perfil de tensões eficazes, quadro QDCA-3 para análise em regime permanente.	36
Figura11 – Histograma de tensão da fase A, quadro QDCA-3.	37
Figura 12 – Histograma de tensão da fase B, quadro QDCA-3.	37
Figura 13 – Histograma de tensão da fase C, quadro QDCA-3.	38
Figura 14 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase A, quadro QDCA-3.	39
Figura 15 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase B, quadro QDCA-3.	39
Figura 16 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase C, quadro QDCA-3.	39
Figura 17 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase A, quadro QDCA-3.	40
Figura 18 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase B, quadro QDCA-3.	41

Figura 19 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase C, quadro QDCA-3.....	41
Figura 20 – Curva de DHTi e Potência dia 07/09/2014, quadro QDCA-3	42
Figura 21 – DHTi função da potência ativa, quadro QDCA-3.....	43
Figura 22 – Perfil da potência ativa trifásica no quadro QDCA-3.	44
Figura 23 – Figura de irradiação solar e potencia registrada no quadro QDCA-3 no dia 08/09/2014.	45
Figura 24 – Perfil de potência no período de 06/09/14 19h00 : 07/09/14 06:00, quadro QDCA-3.....	46
Figura 25 – Fator de potência calculado no quadro QDCA-3.....	46
Figura 26 – Variação do fator de potência em função da potência ativa no quadro QDCA-3.....	47
Figura 27 – Energia gerada, quadro QDCA-3.....	48
Figura 28 – Fator de desequilíbrio durante o período de monitoramento, quadro QDCA-3.....	49
Figura 29 – Perfil de frequência, quadro QDCA-3	50
Figura 30 – Eventos da fase A na curva ITIC, quadro QDCA-3.....	51
Figura 31 – Perfil das tensões eficazes de fase, quadro QDCA – 1, período de monitoramento 01/07 – 09/07.....	52
Figura 32 – Perfil das tensões eficazes de fase, quadro QDCA – 1, período de monitoramento 10/07 – 12/07.....	53
Figura 33 – Perfil de tensões eficazes de fase, quadro QDCA-1 para análise em regime permanente, período de monitoramento 01/07 – 09/07.	54
Figura 34 – Histograma de tensão da fase A, quadro QDCA-1	55
Figura 35 – Histograma de tensão da fase B, quadro QDCA-1.	55
Figura 36 – Histograma de tensão da fase C, quadro QDCA-1.	56
Figura 37 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase A, quadro	

QDCA-1	57
Figura 38 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase B, quadro	
QDCA- 1	58
Figura 39 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase C, quadro	
QDCA-1	59
Figura 40 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase A, quadro	
QDCA-1.....	60
Figura 41 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase B, quadro	
QDCA-1.....	61
Figura 42 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase C, quadro	
QDCA-1.....	62
Figura 43 – Curva de DHTi e Potência dia 02/07/14 , fase A, quadro QDCA-1	63
Figura 44 – DHTi função da corrente, fase A, quadro QDCA-1	64
Figura 45 – Perfil da potência ativa trifásica no quadro QDCA-1.	65
Figura 46 – Figura de irradiação solar e potencia registrada no quadro QDCA-1 no dia 09/07/2014	67
Figura 47 – Perfil de potência no período de 01/07/14 19h00 : 02/07/14 06:00, quadro QDCA-1	68
Figura 48 – Fator de Potência e perfil de potência ativa trifásica, quadro QDCA-1.....	69
Figura 49 – Variação do fator de potência em função da potência ativa no quadro QDCA-1.....	70
Figura 50 – Energia diária gerada, monitorada no quadro QDCA-1.....	71
Figura 51 – Fator de desequilíbrio durante o período de monitoramento, quadro QDCA-1.....	70
Figura 52 – Perfil de frequência, quadro QDCA-1.	72
Figura 53 – Eventos na curva ITIC, quadro QDCA-1.....	74

Figura 54 – Perfil das tensões eficazes na saída do QGBT-1 durante o período monitorado	76
Figura 55 – Perfil de tensões eficazes, quadro QGBT-1 para análise em regime permanente.....	77
Figura 56 – Histograma de tensão da fase AB, quadro QGBT-1.....	78
Figura 57 – Histograma de tensão da fase BC, quadro QGBT-1.....	78
Figura 58 – Histograma de tensão da fase CA, quadro QGBT-1.....	79
Figura 59 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase AB, quadro QGBT-1.....	80
Figura 60 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase BC, quadro QGBT-1.....	80
Figura 61 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase CA, quadro QGBT-1.....	80
Figura 62 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase A, quadro QGBT-1.....	81
Figura 63 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase B, quadro QGBT-1.....	82
Figura 64 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase C, quadro QGBT-1.....	82
Figura 65 – Curva de DHTi e Corrente dia 13/09/2014, quadro QGBT-1.....	83
Figura 66 – DHTi função da corrente, quadro QGBT-1.....	84
Figura 67 – Perfil da potência ativa trifásica no quadro QGBT-1.....	85
Figura 68 – Figura de irradiação solar e potencia registrada no quadro QGBT-1 no dia 13/09/2014.....	86
Figura 69 – Fator de potência calculado no quadro QGBT-1.....	87
Figura 70 – Variação do fator de potência em função da potência ativa no quadro	

QGBT-1.....	88
Figura 71 – Energia gerada, quadro QGBT-1.	88
Figura 72 – Fator de desequilíbrio durante o período de monitoramento, quadro QGBT-1.	89
Figura 73 – Perfil de frequência, quadro QGBT-1.....	90
Figura 74 – Eventos das três fases na curva ITIC, quadro QGBT-1	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Valores máximos, mínimos, médios, desvios padrões e P95% das tensões RMS, quadro QDCA-3	37
Tabela 2 –Valores máximos, mínimos, médios, P95% e desvios padrões das DHT de tensão, quadro QDCA-3.....	40
Tabela 3 –Valores máximos, mínimos, médios, P95% e desvios padrões das DHT de corrente, quadro QDCA-3.....	41
Tabela 4 –Valores máximo, mínimo, médio, desvio padrão e P95% da potência ativa trifásica, quadro QDCA-3.....	44
Tabela 5 –Valores máximos, mínimos e médios do fator de potência, quadro QDCA-3.....	47
Tabela 6 –Valores máximos, mínimos e médios do fator de desequilíbrio, quadro QDCA-3.....	49
Tabela 7 –Valores máximos, mínimos e médios, desvio padrão e P95% de frequência, quadro QDCA-3.....	50
Tabela 8 –VTCDs registrados no quadro QDCA-3	50
Tabela 9 –VTCDs fora dos limites da curva ITIC, quadro QDCA-3.....	51
Tabela 10 –Valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões das tensões RMS, quadro QDCA-1, 01/07 a 09/07	54
Tabela 11 –Valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões das tensões RMS, quadro QDCA-1, 10/07 a 12/07	54
Tabela 12– Valores máximos, mínimos, médios, P95% e desvios padrões das DHT de tensão, 01/07/14 – 09/07/14, quadro QDCA-1	59
Tabela 13 –Valores máximos, mínimos, médios, P95% e desvios padrões das DHT de tensão, 10/07/14 – 12/07/14, quadro QDCA-1	60

Tabela 14 – Valores máximos, mínimos, médios, P95% e desvios padrões das DHT de corrente, 01/07/14 – 09/07/14, quadro QDCA-1.	62
Tabela 15 –Valores máximos, mínimos, médios, P95% e desvios padrões das DHT de corrente, 10/07/14 – 12/07/14, quadro QDCA-1.	63
Tabela 16 –Valores máximo, mínimo, médio e desvio padrão da potência ativa trifásica, 01/07/14 – 09/07/14 quadro QDCA-1.	66
Tabela 17– Valores máximo, mínimo, médio e desvio padrão da potência ativa trifásica, 10/07/14 – 12/07/14 quadro QDCA-1.	66
Tabela 18 –Valores máximos, mínimos e médios do fator de potência, 01/07/14 a 09/07/14, quadro QDCA-1.....	69
Tabela 19 –Valores máximos, mínimos e médios do fator de potência, 01/07/14 a 09/07/14, quadro QDCA-1.....	69
Tabela 20 –Valores máximos, mínimos e médios do fator de desequilíbrio, 01/07/14 – 09/07/14 quadro QDCA-1.....	71
Tabela 21 –Valores máximos, mínimos e médios do fator de desequilíbrio, 10/07/14 – 12/07/14 quadro QDCA-1.....	72
Tabela 22 –Valores máximos, mínimos e médios de frequência, 01/07/14 – 09/07/14, quadro QDCA-1.....	73
Tabela 23 –Valores máximos, mínimos e médios de frequência, 01/07/14 – 09/07/14, quadro QDCA-1.....	73
Tabela 24 –VTCDs registrados no quadro QDCA-1	73
Tabela 25 –VTCDs fora dos limites da curva ITIC, quadro QDCA-1.....	75
Tabela 26 –Valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões das tensões RMS, quadro QGBT-1.	78
Tabela 27 –Valores máximos, mínimos, médios, P95% e desvios padrões das DHT de tensão, quadro QGBT-1.	81
Tabela 28 –Valores máximos, mínimos, médios, P95% e desvios padrões das DHT de corrente, quadro QGBT-1.	82

Tabela 29 –Valores máximo, mínimo, médio, desvio padrão e P95% da potência ativa trifásica, quadro QGBT-1.	85
Tabela 30 –Valores máximos, mínimos e médios do fator de potência, quadro QGBT-1.	87
Tabela 31 –Valores máximos, mínimos e médios do fator de desequilíbrio, quadro QGBT-1.	89
Tabela 32 –Valores máximos, mínimos e médios, desvio padrão e P95% de frequência, quadro QGBT-1.	90
Tabela 33 –VTCDs registrados no quadro QGBT-1	90
Tabela 34 –VTCDs fora dos limites da curva ITIC, quadro QGBT-1	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Equipamentos de medição	35
Quadro 2 – Especificações técnicas inversor Fronius IG 120 V-3.....	34
Quadro 3 – Especificações técnicas do painel solar Dupont DA 142Wp	35
Quadro 4 – Interrupções de energia, quadro QDCA-3.....	36
Quadro 5 –Interrupções de energia, quadro QDCA-1, 01/07 a 09/07.....	53
Quadro 6 –Especificações técnicas inversor Ingecon Power Max – 275 Vac.....	75
Quadro 7 –Especificações técnicas do painel solar YL 280 P-35b	76
Quadro 8 –Interrupções de energia, quadro QGBT-1	77

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVOS	19
1.2	MOTIVAÇÃO	19
1.2.1	Tendências Econômicas	20
1.2.2	Tendências Tecnológicas	20
1.2.3	Disponibilidade de Recursos	21
1.2.4	Incertezas Climáticas	23
1.3	PANORAMA MUNDIAL DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR PV (FOTOVOLTAICA).....	25
1.4	PANORAMA DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR PV NO BRASIL	27
1.5	OBJETO DE ESTUDO	29
1.5.1	Pontos de Medição	31
1.6	METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS	32
1.7	LOCAL	32
1.8	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	33
1.9	ANALISADOR DE QUALIDADE, PERÍODO E PONTO MEDIDO ...	33
1.10	EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO	33
2	DADOS RESULTANTES DAS MEDIÇÕES DE QEE	34
2.1	QUADRO QDCA-3	34
2.1.1	Especificações técnicas do inversor Fronius IG 120 V-3 e painel solar Dupont DA 142Wp	34
2.1.2	Tensão em regime permanente	35
2.1.3	Distorção harmônica total de tensão (DHTv %)	38
2.1.4	Distorção harmônica total de corrente (DHTi %)	40
2.1.5	Análises das Potências	43

2.1.6	Energia gerada	47
2.1.7	Desequilíbrio de tensão	48
2.1.8	Variação de Frequência	49
2.1.9	Análises de Variações de Tensão de Curta Duração	50
2.2	QUADRO QDCA-1	52
2.2.1	Especificações técnicas	52
2.2.2	Tensão em regime permanente	52
2.2.3	Distorção harmônica total de tensão (DHTv %)	57
2.2.4	Distorção harmônica total de corrente (DHTi %)	60
2.2.5	Análises das Potências	65
2.2.6	Energia gerada	70
2.2.7	Desequilíbrio de tensão	71
2.2.8	Variação de Frequência	72
2.2.9	Análises de Variações de Tensão de Curta Duração	73
2.3	QUADRO QGBT - 1	75
2.3.1	Especificações técnicas de inversor Ingecon Power Max – 275 Vac – 500 kW e do painel YL 280P-35b	75
2.3.2	Tensão em regime permanente	76
2.3.3	Distorção harmônica total de tensão (DHTv %)	79
2.3.4	Distorção harmônica total de corrente (DHTi %)	81
2.3.5	Análises das Potências	85
2.3.6	Energia gerada	88
2.3.7	Desequilíbrio de tensão	89
2.3.8	Variação de Frequência	89
2.3.9	Análises de Variações de Tensão de Curta Duração	90
3	CONCLUSÕES	91
4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

1 INTRODUÇÃO

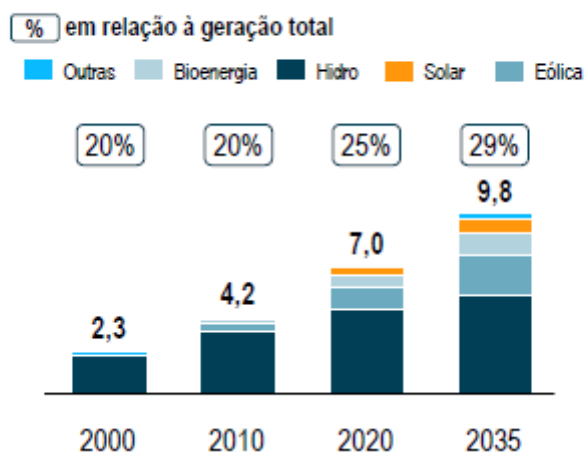
1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo apresentar e comparar os resultados e as análises das medições de qualidade de energia elétrica (QEE) do parque solar Tanquinho da empresa CPFL. As análises foram realizadas e comparadas conforme os requerimentos estabelecidos pelo PRODIST Módulo 8, a norma IEEE 1547 e IEEE 929.

1.2 MOTIVAÇÃO

Aliado às tendências da economia, à evolução da tecnologia, à disponibilidade de recursos naturais, às incertezas climáticas, e à luta incessante pela diminuição das emissões dos gases de efeito estufa (G.E.E.) a expansão da matriz de geração de energia elétrica é direcionada, sobretudo para as fontes renováveis, como elucidado no gráfico apresentado na Figura 1.

Figura 1– Geração de Energia Elétrica por Fontes Renováveis
Geração elétrica de fontes renováveis no mundo [’000 TWh]



Fonte: IEA (2012).

1.2.1 Tendências Econômicas

A participação relativa na economia mundial dos países emergentes é crescente. Ao mesmo tempo em que as economias dos países desenvolvidos

elevarão a uma taxa anual média de 1,8%, as economias dos países em vias de desenvolvimento crescerão a uma taxa anual média de 6,7% (ROLAND BERGER, 2011). O comércio internacional se intensificará, acima de tudo pelo dinamismo do comércio exterior dos países em vias de desenvolvimento que serão responsáveis por 73% das exportações nominais mundiais (ROLAND BERGER, 2011).

Por conseguinte, entre os anos 2011 e 2030 o Brasil deverá apresentar um crescimento econômico de 4,1% ao ano (OECD, 2012). Os vetores centrais deste crescimento serão o caráter dinâmico de seu mercado interno, particularmente diante a melhoria na distribuição de renda, e a competitividade de suas *commodities*. Logo, o Brasil irá ser a quarta economia do mundo em 2030 diante o que as projeções apontam; e com um PIB de 12 trilhões de dólares¹ (STANDARD CHARTERED, 2010).

Nesta linha, impulsionado e sustentado por grande conjunto de obras de infraestrutura, estima-se que nos próximos anos haverá um aumento da taxa de investimento no Brasil. Simultaneamente, o Brasil deverá manter bases macroeconômicas sólidas e um sistema financeiro robusto, com destaque para o papel do BNDES como agente financiador de projetos de infraestrutura.

1.2.2 Tendências Tecnológicas

Uma hipótese muito aceitável é que os avanços tecnológicos que decorrerão nos próximos vinte anos deverão provocar rupturas de paradigmas estimuladas por processos de inovações radicais². Dentre esses novos padrões tecnológicos, merece destaque a robotização de atividades cotidianas que farão com que a realidade virtual, aliada à internet desencadeie mudanças ainda mais significativas no estilo de vida dos indivíduos. A incorporação de inovações em biotecnologia é outro ponto relevante no campo do avanço tecnológico, especialmente nos países em vias de desenvolvimento, procurando promover práticas agrícolas mais produtivas e sustentáveis. Uma

¹ Dólares a preços correntes.

² Inovações radicais são aquelas que rompem com o paradigma tecnológico vigente e estabelecem uma nova trajetória tecnológica. Tais inovações não são contínuas no tempo e são comumente originadas de atividades de pesquisa e desenvolvimento (DOSI, 2006; TIGRE, 2006).

tendência geral que será intensificada é a adoção e disseminação de novas tecnologias em períodos de tempo cada vez menores (MARTINI, 2013).

No setor energético, sobrepõe-se a tendência de mudança do paradigma tecnológico do setor de transportes, com a progressiva implantação de veículos totalmente elétricos e também de elétricos híbridos na frota automobilística. Já no setor elétrico, os frequentes avanços em tecnologias como energia solar, eólica e bioenergia deverão colaborar para a redução dos custos de geração de energia a partir dessas fontes renováveis, transformando essas energias cada vez mais competitivas. Além do mais, haverá a adoção em escala crescente de redes inteligentes aptas de conceder a otimização do uso dos recursos energéticos e através disso oportunizar, não apenas que os veículos elétricos e a microgeração se espalhem em grandes escalas, como também dar origem as condições necessárias para o acionamento remoto de aparelhos eletrodomésticos. Ademais, redes inteligentes concedem o controle de gastos com o consumo de energia elétrica a partir do acompanhamento em tempo real da evolução dos preços de eletricidade³ (MIT, 2011; IEA, 2011; IEA, 2009a; IEA, 2009b; IEA, 2008a; IEA, 2008b).

1.2.3 Disponibilidade de Recursos

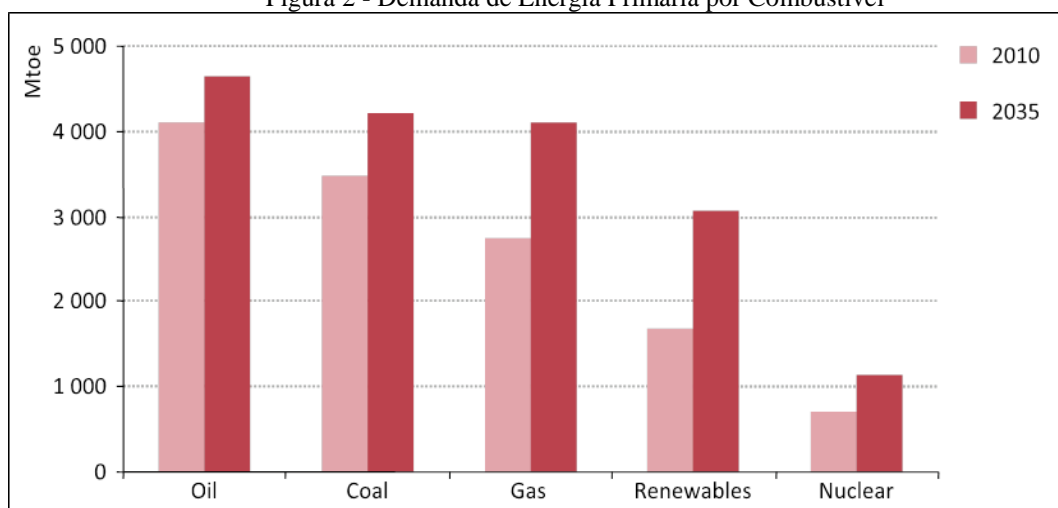
A disponibilidade de recursos naturais é uma questão de extrema importância, MATTAR (2013) destaca o fato de que a população mundial consome hoje 50% mais recursos naturais renováveis do que a Terra é capaz de regenerar. O resultado se torna cada vez mais preocupante considerando que apenas 16% da humanidade é responsável por 78% de todo este consumo. Analisa-se assim que a replicação do padrão de consumo dos países mais ricos para a escala mundial é claramente insustentável. De qualquer maneira, o crescimento populacional e do nível de renda dos países em vias de desenvolvimento dão resultado ao aumento da demanda por estes recursos e a questão dos limites da sua utilização se torna cada vez mais importante. Esse risco deve ser enfrentado, principalmente por empresas *utilities*, visando uma oportunidade para novos negócios derivados da necessidade de um consumo

³ Os preços irão variar em razão inversa à curva de carga através de mudanças regulatórias, dentre as quais, a adoção de bandeiras tarifárias.

mais racional, eficiente e consciente.

Em confronto com a necessidade da promoção de uma oferta de energia com menor intensidade em carbono e menores impactos ambientais, os combustíveis fósseis têm mantido sua participação nas matrizes energéticas de diversos países. Segundo o cenário de base de IEA⁴ (2012), os combustíveis fósseis continuarão a ser responsáveis por fornecer 75% da demanda mundial por energia. O gráfico contido na Figura 2 ilustra a predominância pela demanda por combustíveis fósseis no futuro, apesar do forte crescimento da energia gerada por fontes renováveis, o que implicaria em uma intensificação do número de mortes causadas por doenças respiratórias advindas da poluição do ar, dados da ONU (2012) indicam uma taxa de 7 milhões de óbitos no planeta no ano de 2012 em função da poluição.

Figura 2 - Demanda de Energia Primária por Combustível



Fonte: IEA (2012).

Por sua vez, deve-se analisar a questão da oferta de água com ressalvas em razão à concorrência pelo seu uso. De acordo com a UNESCO (WWDR4, 2012) a demanda por água concentra-se basicamente em quatro atividades: a agricultura, a produção de energia, os usos industriais e consumo humano. De acordo com estudo conduzido pela consultoria Roland Berger Strategy Consultants (ROLAND BERGER, 2011), até 2030 a demanda mundial por água crescerá 53%, apresentando um crescimento econômico médio e ausência de ganhos de eficiência. No caso dos países emergentes, grande parte desta

⁴ *New policies scenario do World Energy Outlook*

demanda por água advém das atividades agrícolas, associada ao expressivo aumento da demanda por alimentos.

Especificamente no setor energético, a água é um insumo fundamental, seja para a produção de eletricidade, extração, transporte e processamento de combustíveis fósseis, como para o plantio de culturas energéticas. Em nível global, em 2010, cerca de 15% do total da água retirada foi utilizada para a produção de energia. A matriz geradora brasileira consiste hoje em torno 67% de energia proveniente de hidroelétricas. Devido ao aumento da geração de energia e ao caráter essencial da água para o setor, o consumo de água para a geração de energia deverá aumentar de maneira muito expressiva, atingindo um crescimento de 85%. Tal progressão é motivada, sobretudo pelo aumento da geração termelétrica através de usinas de maior eficiência dotadas de sistemas de refrigeração mais avançados (maiores consumidores de água) assim como pela expansão da produção de biocombustíveis. Desse modo, eventuais restrições ao uso da água afetariam fortemente o setor energético (IEA, 2012).

1.2.4 Incertezas Climáticas

As alterações climáticas demonstram um enorme risco à exploração dos recursos naturais (geração de energia) e ao equilíbrio da biodiversidade. Portanto, podem se constituir em grande obstáculo ao desenvolvimento socioeconômico dado que são uma ameaça para toda a biosfera. De acordo com IPCC (2007), é muito provável que o desequilíbrio do ciclo do carbono e, por consequência as alterações climáticas, sejam oriundas da ação antropogênica desencadeada pelo uso em larga escala de insumos fósseis a partir dos processos de industrialização e urbanização iniciados em meados do Século XVIII⁵. Deste modo, há necessidade de medidas de adaptação aos efeitos considerados como irreversíveis, bem como de medidas de mitigação às emissões. Estas, por sua vez, deverão representar uma importante restrição à expansão da oferta e possivelmente da demanda de energia.

O setor energético é responsável por mais de 60% das emissões mundiais de gases do efeito estufa (UNEP, 2012). Assim, qualquer política de mitigação das alterações climáticas

⁵ O estudo atribui uma certeza de 95% ao termo “muito provável”. De acordo com IPCC (2007) a concentração de CO₂ na atmosfera terrestre passou de 280 ppm na era Pré-Industrial para 379 ppm em 2005 enquanto que concentração de metano se elevou de 715 ppb para 1774 ppb no mesmo período.

resultará em restrições das possibilidades de expansão da oferta de energia, o que alavanca a diversificação na utilização de fontes renováveis. Mesmo que todas as políticas de redução das emissões de gases do efeito estufa já declaradas sejam de fato cumpridas, estima-se um crescimento da temperatura anual média de 3,5 °C, podendo ultrapassar 6 °C caso tais políticas não sejam implementadas. No entanto, a fim de evitar grandes catástrofes climáticas, especialistas defendem que o aumento da temperatura média anual não deve ultrapassar 2 °C (IEA, 2010). Apesar disso, tal aumento de temperatura já provocará importantes alterações do meio ambiente que atestam a pertinência das medidas de adaptação (IEA, 2010).

O nível de emissões associadas ao setor energético deve aumentar caso nenhuma restrição global importante seja imposta. Esse aumento, entretanto, pode conhecer dois ritmos distintos, de acordo com a destinação que será dada às novas descobertas de gás e óleo, convencionais e não convencionais. Se as novas descobertas de gás substituírem a utilização de carvão – como vem acontecendo nos EUA com a intensificação do uso do *shale-gas* para geração de eletricidade e a desativação de centrais a carvão mais antigas – o ritmo de crescimento das emissões será mais lento. Trata-se assim de um “efeito substituição”. Caso o padrão dominante a nível global seja um uso mais intensivo de óleo e gás, e o carvão continuar a ser utilizado em larga escala, teremos um “efeito complementar” em que as emissões de gases de efeito estufa crescerão de forma acelerada (IEA, 2012).

A implementação de uma política global de mitigação e diminuição da emissão de gases de efeito estufa estará influenciada ao ritmo de crescimento da economia mundial. Esta afirmação baseia-se nos reflexos negativos que a crise econômica mundial deflagrada em 2008 tem provocado sobre a política ambiental. As incalculáveis reuniões mundiais para tratar deste tema têm resultado em poucas ações concretas e mesmo em retrocessos, tomando-se, como exemplo, o Protocolo de Quioto, que não foi ainda substituído por um novo acordo global com compromissos vinculantes de redução de emissões.

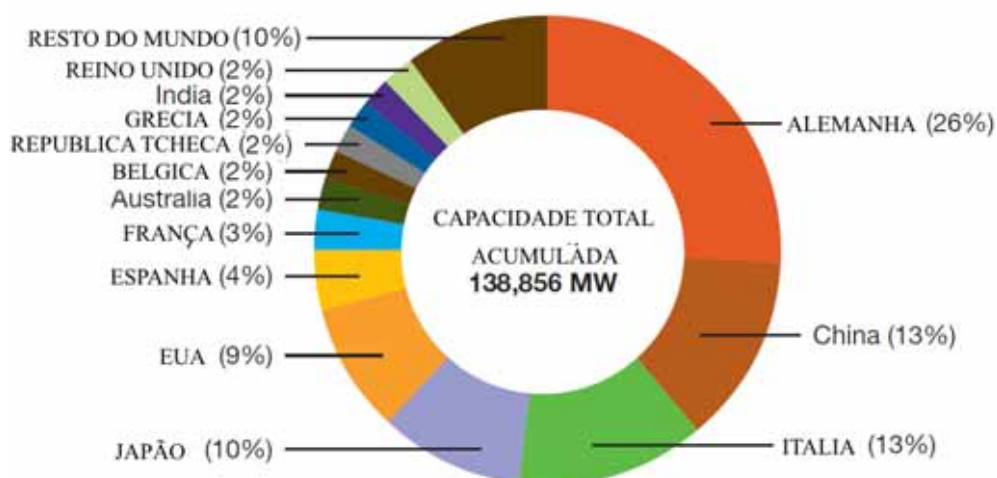
Em compensação, é necessário investigar os impactos que as alterações climáticas terão sobre os sistemas energéticos com expressiva participação de fontes renováveis. Com base nas alterações climáticas prospectadas para as próximas décadas, o Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ vem elaborando uma linha de pesquisa com vistas a mensurar as consequências destas alterações na segurança energética brasileira. Os resultados da pesquisa indicam uma redução da produção hidroelétrica, especialmente na Região Nordeste, em função da diminuição das vazões. Em contrapartida, o potencial de geração eólica e solar fotovoltaica tendem a tornar-se maior.

1.3 PANORAMA MUNDIAL DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A geração solar PV (fotovoltaica) ultrapassou em 2013 a marca dos 138 GW instalados ao redor do planeta Terra, sendo pelo menos 38,4 GW instalados em 2013, um resultado além das expectativas baseadas nos resultados dos dois anos anteriores, que ultrapassaram por pouco a barreira dos 30 GW/ano instalados (EPIA 2013).

A Figura 3 mostra a distribuição global dos mais de 138 GW instalados até 2013.

Figura 3 – Distribuição por países da potencia de geração solar PV instalada

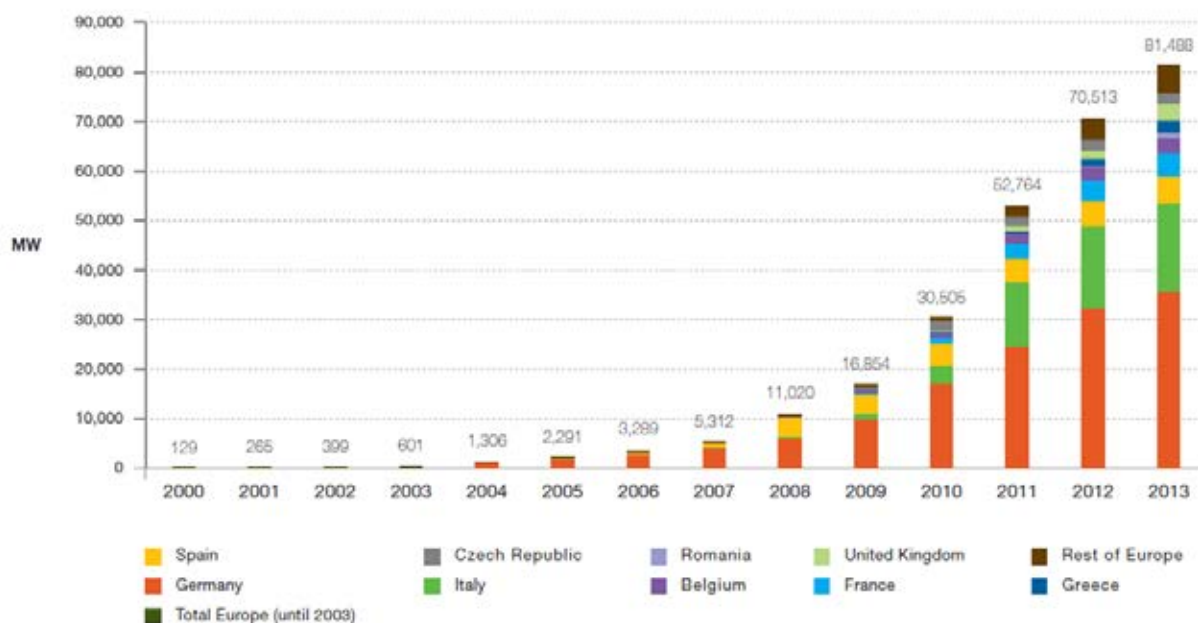


Fonte: IEA (2012).

A Alemanha possui a maior capacidade instalada, em torno de 36 GW (2013), no entanto o mercado alemão indica saturação pois seu crescimento diminuiu em 2013, mas continua a frente dos outros países da Europa.

Por outro lado, outros países começaram a investir e viabilizar a entrada desta fonte, fazendo com que sua capacidade instalada crescesse como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Capacidade instalada de geração solar PV acumulada por países



Fonte: IEA (2012).

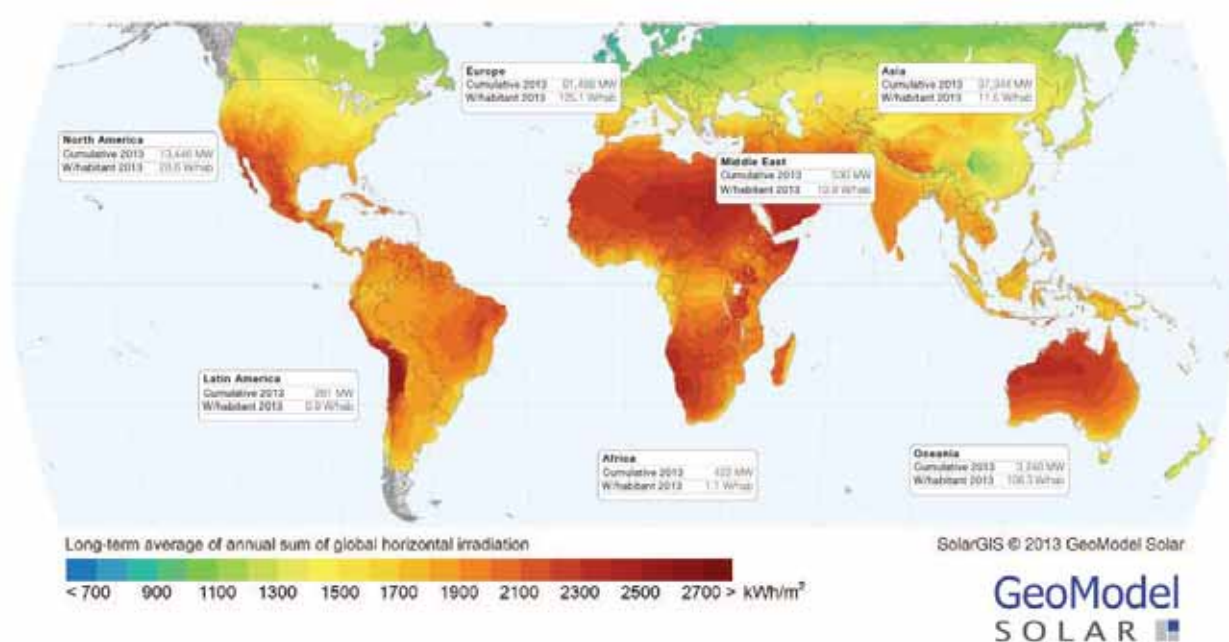
Percebe-se claramente que na Europa houve um “boom” do crescimento da matriz solar PV nos últimos 7 anos, alavancada sobretudo pela Alemanha, que representa mais de 58% do total mundial. O gráfico mostra o crescimento acelerado da matriz Italiana nos últimos 4 anos, e fica claro a perspectiva para essa fonte que cresceu mais de 10 GW de 2012 para 2013 somente na Europa.

A China liderou o crescimento em 2013 com mais de 11,8 GW instalados, seguida pelo Japão com mais de 6,9 GW instalados e em terceiro lugar do ranking ficou os EUA com mais de 4,8 GW instalados. Vale destacar a Índia, que ultrapassou a marca de 1 GW instalado no ano de 2013.

Vale ponderar a queda na representatividade Europeia no total anual da potência instalada que foi de 74% em 2011, atingiu a marca de 54% em 2012 e em 2013 representou apenas 29% do crescimento mundial, que foi alavancado principalmente por países da Ásia, sobretudo China e Japão, e outros também importantes como EUA, Canada e México (EPIA 2013).

Um dado importante, considerando-se a representatividade no total instalado de placas solares PV, é a posição geográfica da Europa, que como mostra o mapa de insolação da Figura 5, não apresenta altos índices, diferentemente do Brasil que apresenta alto potencial para a inserção da tal fonte, possuindo em seu território um dos melhores índices do planeta.

Figura 5 – Média de irradiação horizontal anual



Fonte: EPIA 2013

1.4 PANORAMA DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR PV NO BRASIL

Para que a inserção da geração solar PV ocorra de maneira facilitada, deve-se atentar para alguns aspectos como por exemplo, os aspectos regulatórios, normativos, tributários, social e etc.

Como exemplo da ação do governo nos seguimentos supracitados destaca-se a resolução 517/2012, que foi uma atualização da Resolução 482/2012, que trata da regulação dos mini/microgeradores, permitindo a instalação em unidades consumidoras de geradores pequenos, devolvendo o excedente à rede. No entanto, a falta de inteligência da rede limita esse tipo de pratica, pois sem um medidor bidirecional é impossível medir o excedente gerado, o que ocorre em medidores unidirecionais é a rotação inversa do disco. Um outro ponto a ser ponderado neste quesito, é o pilar inicial da geração, transmissão e distribuição de energia, onde o fluxo ocorre da fonte geradora para o centro consumidor, e toda a proteção contida na rede foi projetada para tal sentido de fluxo. Deve-se levar em consideração ainda, uma possível falta de energia na rede, que venha a ser causada por quaisquer problemas, onde a energia excedente de um mini/micro gerador, pode via a eletrocutar uma equipe de operação que tenta restituir a energia da rede.

Outra medida adotada, foi a isenção inicialmente de 50%, e hoje de 80%, durante 10 anos, na tarifa pela utilização seja do sistema de distribuição ou de transmissão de energia (TUSD e TUST), para as usinas centralizadas de geração de energia solar PV, que entrarem em funcionamento até 2017 (EPE 2014).

No âmbito do apoio ao consumidor, que encontra dificuldades para se atualizar sobre as novas tecnologias, a ANEEL trabalhou para esclarecer como funciona o acesso, a compensação e faturamento de energia gerada para mini e micro geradores, utilizando o Caderno Temático de Mini e Microgeração.

Houve avanços significativos no que toca a normatização, consolidada pela criação das seguintes normas:

- ABNT NBR 16149:2013 - Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição;
- ABNT NBR 16150:2013 - Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade;
- ABNT NBR 16274:2014 - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede — Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho.
- ABNT NBR IEC 62116:2012 - Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica;

Um marco foi a instalação de sistemas fotovoltaicos sobre 1000 residências em condomínios do Programa Minha Casa Minha Vida, totalizando 2,1 MWp, trazendo para mais perto da comunidade, tais tecnologias, que por terem um custo elevado dificilmente seriam utilizadas para o público de media/baixa renda. Como proposta, as áreas comuns dos condomínios serão abastecidas pela energia gerada pelo sistema, e o excedente comprado pela próprio CAIXA, onde uma parte da receita proveniente da venda será utilizada na melhoria do condomínio, e revertida para os moradores (EPE 2014).

Como medida para alavancar a entrada da tecnologia PV no Brasil, a ANEEL abriu uma chamada estratégica para projetos de P&D denominada “Arranjos Técnicos e Comerciais Para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”, realizada em 2011, contou com 18 propostas recebidas, das quais 17 foram aprovadas.

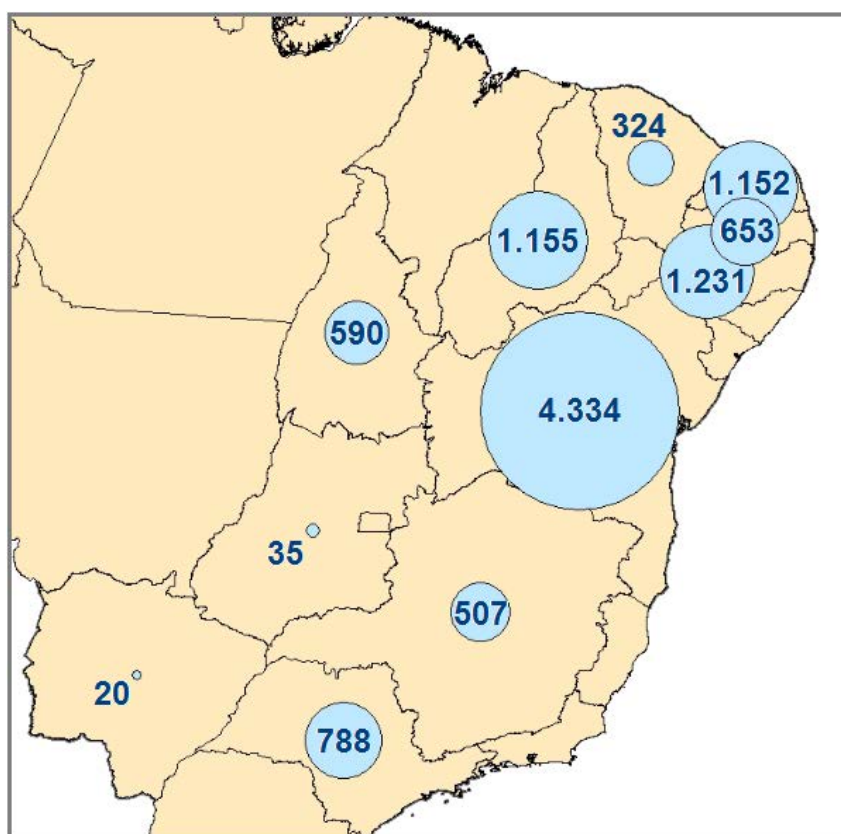
Dentre as propostas aprovadas, esta o projeto de P&D da Usina de Tanquinho, objeto de estudo do presente trabalho de graduação.

Os investimentos propostos e aprovados, totalizam R\$ 395,9 milhões, o prazo para execução dos projetos é de três anos, e a potência total é de aproximadamente 24,6 MWp, envolvendo, diretamente, 96 empresas, 62 instituições e 584 pesquisadores nos projetos (EPE 2014).

Alinhado aos projetos de pesquisa, em 2014 no leilão de energia de reserva, os projetos de geração PV não competiram com as outras fontes, mas entre si. O certame contou com aproximadamente 400 projetos, que juntos totalizam mais de 10 GW.

Um demonstrativo da distribuição dos projetos pelo Brasil foi desenvolvido pela EPE, e é apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Distribuição dos projetos apresentados no Leilão de Reserva de 2014



Fonte: EPE 2014

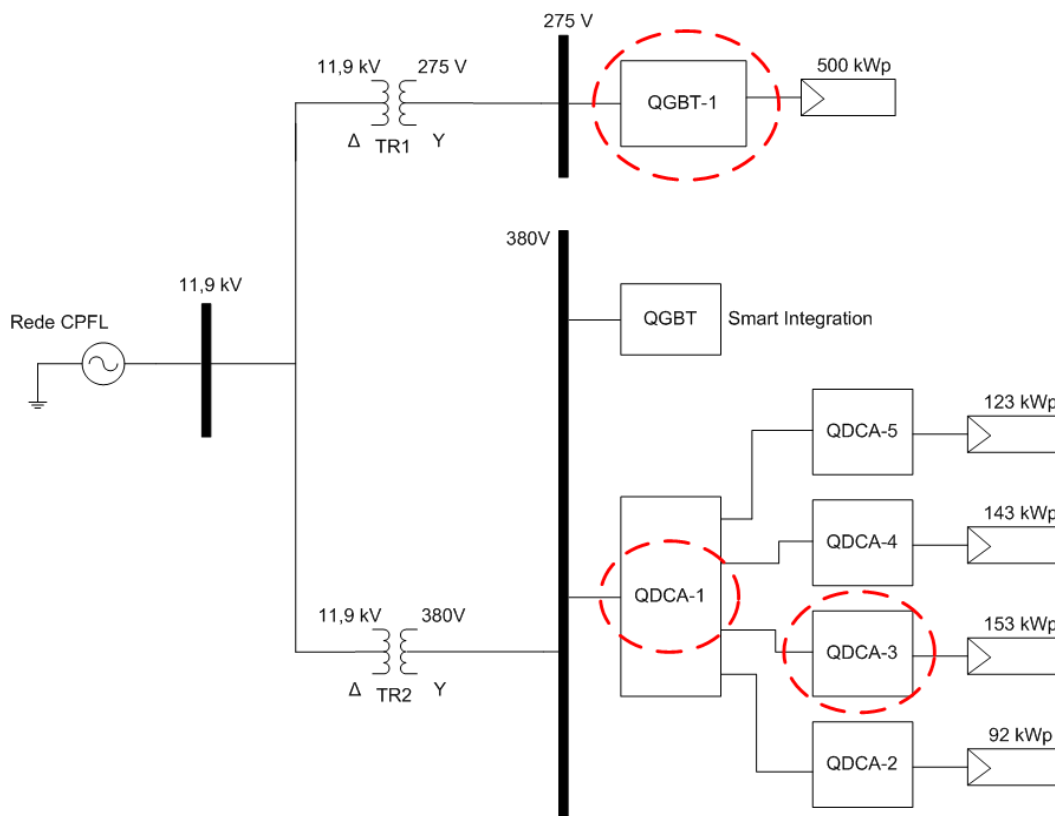
1.5 OBJETO DE ESTUDO

O Objeto de estudo em questão é a planta geradora de energia solar PV de Tanquinho, com capacidade instalada de aproximadamente 1 MWp – a maior do estado de São Paulo,

constituída por diferentes tecnologias de painéis solares (silício monocristalino e policristalino) e inversores.

A Figura 7 apresenta o diagrama unifilar simplificado da instalação, na qual são destacados os pontos onde foram realizadas as medições.

Figura 7 - Diagrama unifilar simplificado de Tanquinho



Fonte: CPFL

A tensão nominal de linha nos pontos de medição, quadro QDCA-1 e QDCA-3, são de 380 V, para o QGBT-1 a $V_{nominal}$ de linha é igual a 275 V.

A potência máxima no QDCA-3 é de 153,4 kWp, calculada como a soma das potências de saída de 15 inversores marca Fronius, modelo IGPLUS 120-V3. A cada inversor estão conectados 72 painéis (24 strings c/3 painéis), marca DuPont, modelo DA 142Wp, com potência máxima de 142 Wp.

A potência máxima no QDCA-1 é de 511 kWp, totalizada pela soma da potencia dos quadros QDCA-2, 3, 4 e 5.

A potência máxima no QGBT-1 é de 498,9 kWp, calculada como a soma das potências dos 3 conjuntos de 594 painéis fotovoltaicos modelo YL 280P-35b, com potência de 280 Wp cada. Estes conjuntos são conectados ao

inversor Ingeteam Power Max de 500 kW, tais painéis estão divididos em dois conjuntos, um dos sistemas é fixo e o outro possui sistema de tracking (movimentação de leste para oeste a fim de maximizar a incidência de luz solar).

1.5.1 Pontos de Medição

Foram monitorados três pontos dentro da instalação. No primeiro ponto, quadro QDCA-3 (ver Figura 8a), foi utilizado o equipamento Fluke 435 – série I. No segundo ponto monitorado, quadro QDCA-1 (ver Figura 8b), o equipamento utilizado foi o Fluke 435 – série II. Por fim, no terceiro ponto monitorado, quadro QGBT-1 (ver Figura 8c), foi utilizado o equipamento Fluke 435 – série I para medição.

Figura 8 – Quadros monitorados



Fonte: Wendell William Teixeira

1.6 METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

O presente estudo fez uso de bibliografia sobre geração de energia fotovoltaica, das normas de qualidade de energia PRODIST Módulo 8, a norma IEEE 1547 e IEEE 929, visando obter o embasamento teórico necessário ao desenvolvimento das análises. Utilizou-se igualmente das especificações técnicas dos equipamentos empregados na planta de Tanquinho, e também de equipamentos para aferir dados sobre indicadores de qualidade de energia. Este trabalho foi baseado em documentos e livros elaborados por cientistas, grupos e instituições, nacional e internacionalmente reconhecidos pelo destaque no âmbito da geração solar fotovoltaica.

O presente trabalho está estruturado da seguinte maneira:

No primeiro capítulo, Introdução, apresenta-se os objetivos do estudo, as motivações, o local da medição, as características elétricas da instalação, os pontos onde foram realizadas as medições como os períodos dos registros.

No capítulo 2, Tecnologia Fotovoltaica Tanquinho, aborda os tipo de tecnologia empregado na planta e um panorama geral da geração de energia sola PV no planeta.

No capítulo 3, Resultados das Medições de QEE (qualidade de eergia elétrica), os resultados das medições bem como suas as análises.

No capítulo 4, Conclusão, são apresentadas as conclusões do estudo.

No capítulo 5, Referências Bibliográficas, encontram-se as referências bibliográficas utilizadas na elaboração do presente documento.

1.7 LOCAL

Os dados foram aferidos nas instalações Subestação de Tanquinho, propriedade da concessionária CPFL, localizada na cidade de Campinas – Companhia de Força e Luz de São Paulo.

1.8 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

- Monitoramento de três pontos da instalação e análise para verificação do atendimento aos requerimentos estabelecidos por norma, no tocante da qualidade de energia elétrica.



1.9 ANALISADOR DE QUALIDADE, PERIODO E PONTO MEDIDO

- FLUKE 435 – série I, 06/09/2014, 12:20:12 a 14/09/2014, 22:30:12, QDCA-3;
- FLUKE 435 – série II, 01/07/2014, 10:55:17 a 09/07/2014, 23:15:17, QDCA-1;
- FLUKE 435 – série II, 10/07/2014, 10:16:37 a 12/07/2014, 14:16:37, QDCA-1.
- FLUKE 435 – série I, 06/09/2014, 12:22:44 a 14/09/2014, 21:42:44, QGBT-1;

1.10 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

Na Quadro 1 apresenta-se os equipamentos de QEE usados nas medições.

Quadro 1 – Equipamentos de medição

<ul style="list-style-type: none"> • Qualímetro <ul style="list-style-type: none"> ○ Marca: FLUKE; ○ Modelo: 435 Series II; ○ N° de serie: 23183104 	
<ul style="list-style-type: none"> • Qualímetro <ul style="list-style-type: none"> ○ Marca: FLUKE; ○ Modelo: 435 Series I; ○ N° de serie: 13490009 e 13730025 	

Fonte: Wendell William Teixeira

2 DADOS RESULTANTES DAS MEDIÇÕES DE QEE

Os resultados das medições referente à qualidade de energia elétrica, para os três pontos sob análise neste estudo -respectivamente: o quadro QDCA-3, o quadro QDCA-1 e o quadro QGBT-1, apresenta-se a seguir.

2.1 QUADRO QDCA-3

2.1.1 Especificações técnicas do inversor Fronius IG 120 V-3 e painel solar Dupont DA 142Wp

Na Quadro 2 e 3 são apresentadas as informações técnicas do inversor Fronius IG 120 V-3 e do painel solar DuPont, modelo DA 142Wp, que são os equipamentos integrantes da seção da planta conectada ao quadro em questão.

Quadro 2 – Especificações técnicas inversor Fronius IG 120 V-3

DADOS DE ENTRADA	
Potência máxima de corrente contínua com $FP = 1$	10.590 W
Corrente contínua máxima ($I_{DC \max}$)	46,2 A
Corrente máxima de curto circuito do <i>array</i>	69,3 A
Tensão de corrente contínua mínima de entrada ($V_{DC \min}$)	230 V
Feed-in start voltage ($V_{DC \text{ start}}$)	260 V
Tensão contínua nominal de entrada ($V_{dc,r}$)	370 V
Tensão máxima de entrada ($V_{DC \max}$)	600 V
Faixa de tensão MPP ($V_{MPP \min} - V_{MPP \max}$)	230 – 500 V
DADOS DE SAÍDA	
Potência nominal de saída AC ($P_{AC,r}$)	10.000 W
Potência aparente máxima de saída	10.000 VA
Corrente máxima de saída	14,5 A
Configuração de conexão com a rede ($V_{AC,r}$)	3 - NPE 400 V / 230 V
Tensão mínima de saída ($V_{AC \min}$)	180 V
Tensão máxima de saída ($V_{AC \max}$)	270 V
Frequência nominal (f_r)	50 / 60 Hz
Faixa de frequência ($f_{\min} - f_{\max}$)	46 – 65 Hz
Fator de Distorção	< 3%
Fator de Potência ($FP_{AC,r}$)	0.75 – 1 ind./cap. ⁶
INFORMAÇÕES GERAIS	
Categoria de Sobretensão (DC/AC)	2/3
Consumo de potência noturno	1 W
Tecnologia do inversor	Transformador HF

⁶ Especificação do país

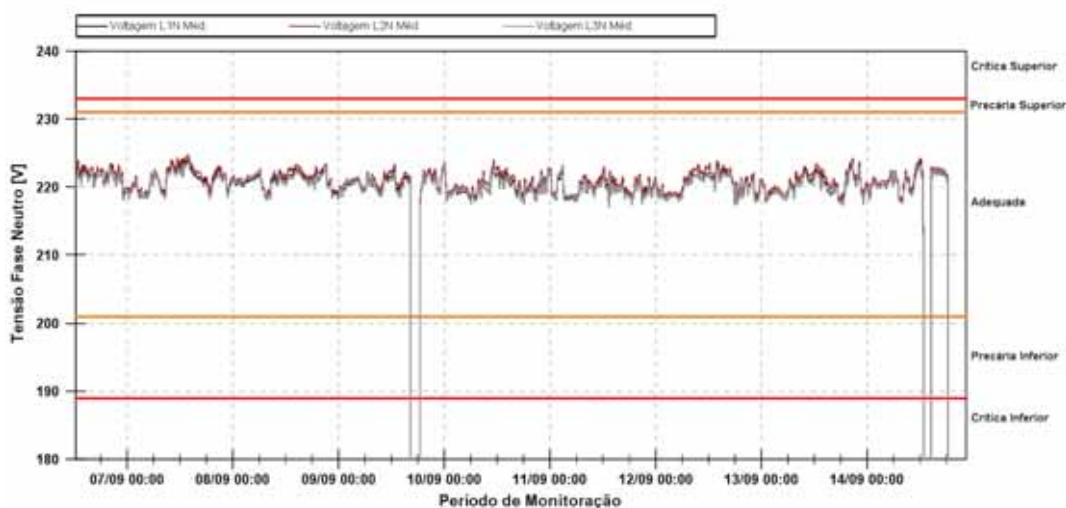
Quadro 3 – Especificações técnicas do painel solar Dupont DA 142Wp

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS	CONDIÇÕES PADRÃO DE TESTE	TEMPERATURA NOMINAL DE OPERAÇÃO
Potência nominal (P_{MPP})	142 W	105 W
Tensão no ponto P_{MPP} (V_{MPP})	119 V	110 V
Corrente no ponto P_{MPP} (I_{MPP})	1,19 A	0,96 A
Tensão de circuito aberto (V_{OC})	157 V	145 V
Corrente de curto circuito (I_{SC})	1,42 A	1,15 A
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO		
Tensão máxima do sistema	1000 V (IEC) / 600 V (UL)	
Corrente de sobrecarga máxima reversa	2 A	
Temperatura de operação	-40 a 85 °C	

2.1.2 Tensão em regime permanente

Os perfis das tensões eficazes das 3 fases, coletados durante o período de monitoramento, estão elucidados na Figura 9.

Figura 9 – Perfil das tensões eficazes na saída do QDCA-3 durante o período monitorado.



Para a análise das tensões em regime permanente, foram extraídos os dados dos períodos em que ocorreram interrupções de energia e dos períodos contendo a agregação de dados de Variação de Tensão de Curta Duração. Na Quadro 4 estão consolidados os dados contendo os períodos em que ocorreram interrupções de energia, e igualmente indicado se tais interrupções foram registradas pelo logger do inversor Fronius e/ou pelo sistema de monitoramento do Smart Integration.

Quadro 4 – Interrupções de energia, quadro QDCA-3

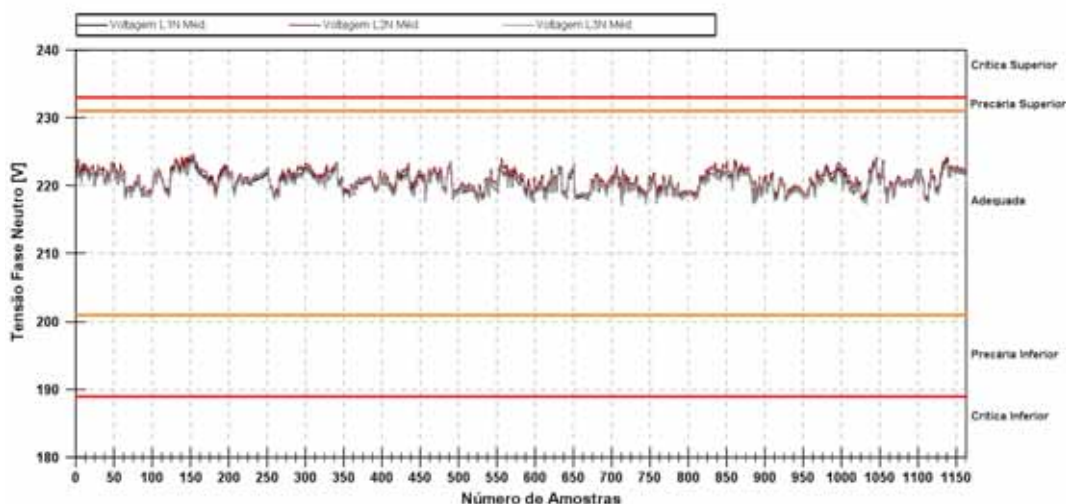
Interrupção	Data Hora	Identificados pelo Sistema de Monitoramento da usina
1	Início	09/09/2014 16:06:44
	Término	09/09/2014 16:06:49
2	Início	09/09/2014 16:06:49
	Término	09/09/2014 18:08:09
3	Início	14/09/2014 12:29:28
	Término	14/09/2014 14:05:53

Fonte: Wendell William Teixeira

Durante o período de monitoramento (06/09 – 14/09) aconteceram 3 interrupções, registradas no quadro QDCA-3.

A Figura 10 apresenta as tensões eficazes das fases A, B e C consideradas para análise das tensões em regime permanente.

Figura 10 – Perfil de tensões eficazes, quadro QDCA-3 para análise em regime permanente.



Fonte: Wendell William Teixeira

Foram extraídas as informações sobre os níveis máximos, mínimos, médios, desvios padrões e P95% para as tensões monitoradas. A Tabela 1 fornece uma síntese da monitoração destacada.

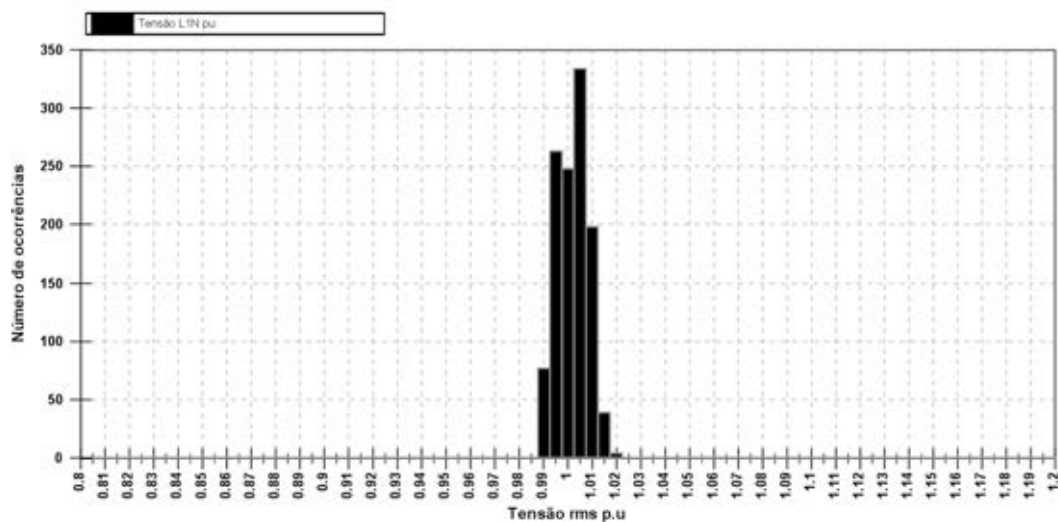
Tabela 1 – Valores máximos, mínimos, médios, desvios padrões e P95% das tensões RMS, quadro QDCA-3

	Tensão A [V]	Tensão B [V]	Tensão C [V]
Máximo	223,97	224,67	223,63
Mínimo	217,39	217,93	217,09
Média	220,43	220,98	220,27
Desvio Padrão	1,37	1,41	1,33
P95%	222,54	223,20	222,31

Fonte: Wendell William Teixeira

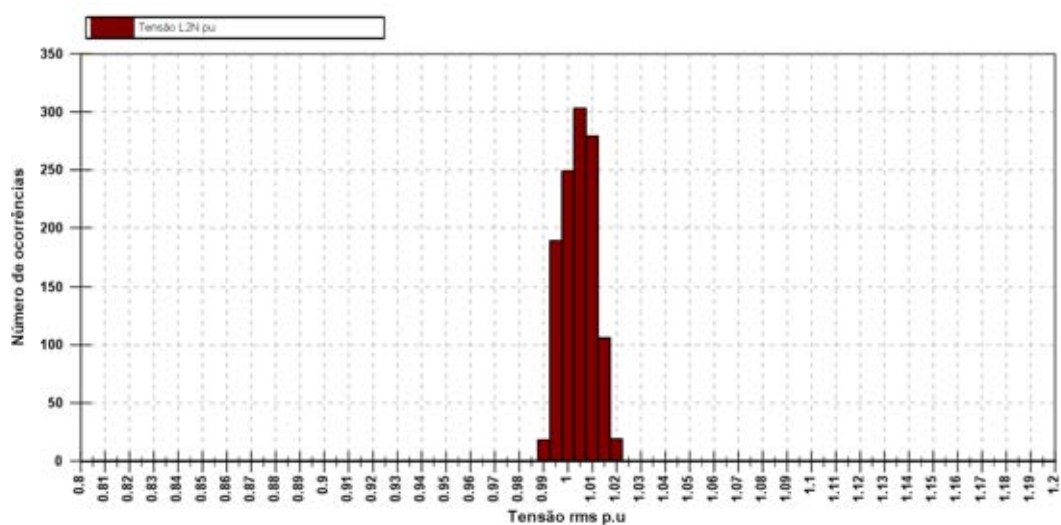
Para uma análise mais detalhada, é apresentado o histograma da tensão de cada fase, conforme as Figuras 11, 12 e 13.

Figura 11 – Histograma de tensão da fase A, quadro QDCA-3.



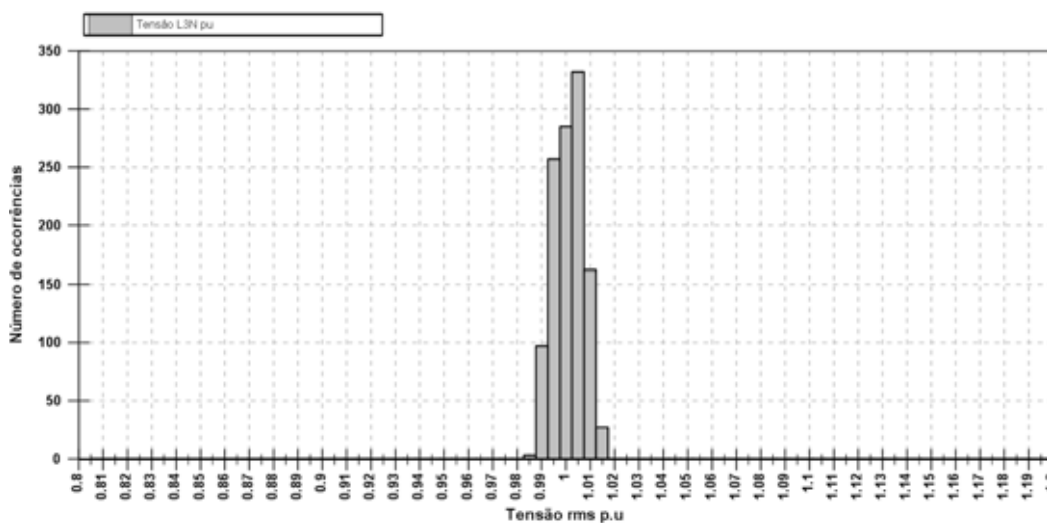
Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 12 – Histograma de tensão da fase B, quadro QDCA-3.



Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 13 – Histograma de tensão da fase C, quadro QDCA-3.



Fonte: Wendell William Teixeira

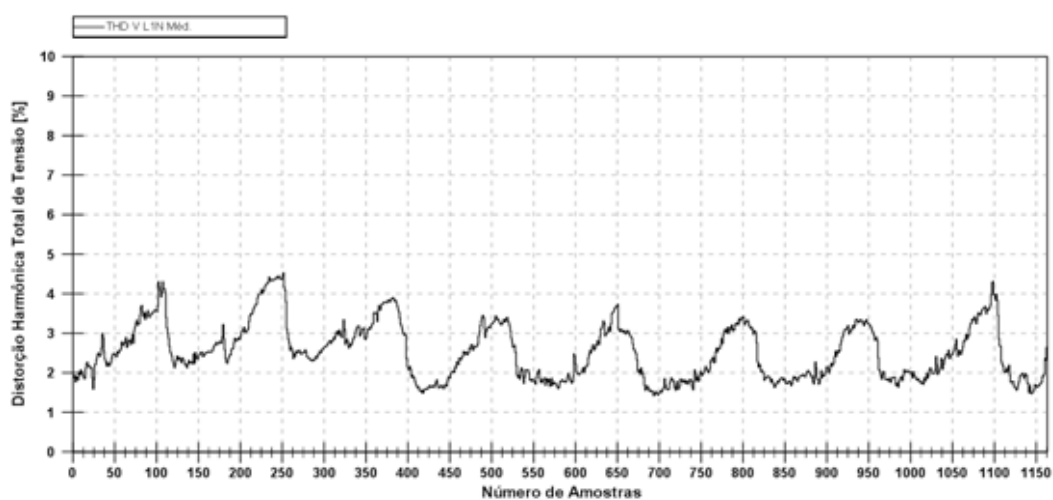
Baseado nos dados obtidos durante o período de monitoramento, a tensão no barramento do quadro QDCA-3 se enquadrou dentro dos limites da região adequada. As análises dos histogramas mostram que os valores de tensão predominantes nas três fases ocupam o intervalo 0,99 – 1,01 pu, em relação à Vfase nominal do barramento de 220V.

2.1.3 Distorção harmônica total de tensão (DHTv %)

As Figuras 14, 15 e 16 elucidam o comportamento dos perfis de distorção harmônica total das tensões fase-neutro monitoradas entre 06/09/14 e 14/09/14 para o barramento do quadro QDCA-3. Nesta análise foram extraídos os dados dos períodos em que ocorreram interrupções de energia e dos períodos contendo a agregação de dados de Variação de Tensão de Curta Duração. O eixo das ordenadas (vertical), indica o valor percentual da distorção ocorrida, em relação ao correspondente valor fundamental.

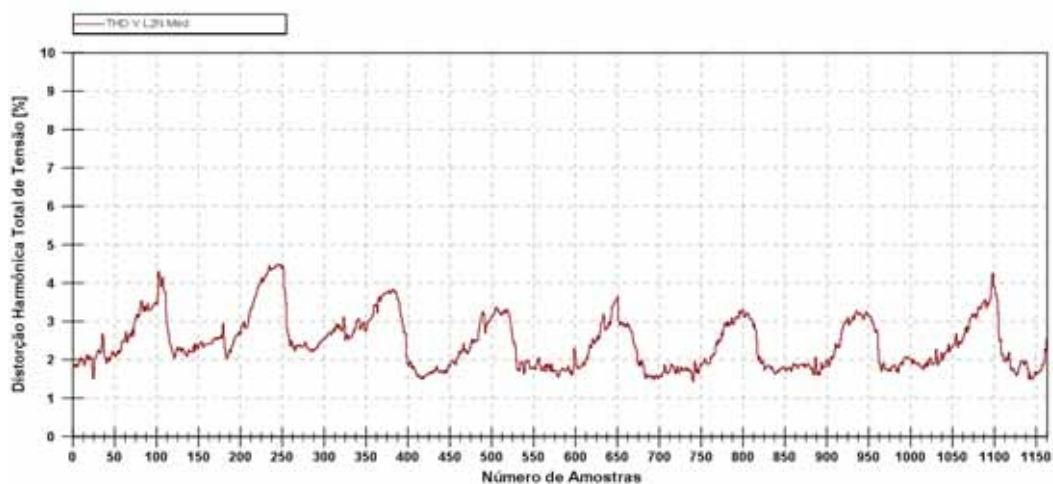
O limite para os níveis de distorção harmônica de tensão apresentados no PRODIST Módulo 8 é de 10% em relação ao valor fundamental, e segundo a norma IEEE 1547 o limite para este quesito é de 5%. Observa-se, a partir das Figuras 14, 15 e 16, que durante todo o período de monitoramento ambos os limites são respeitados, indicando a conformidade com ambas às normas.

Figura 14 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase A, quadro QDCA-3.



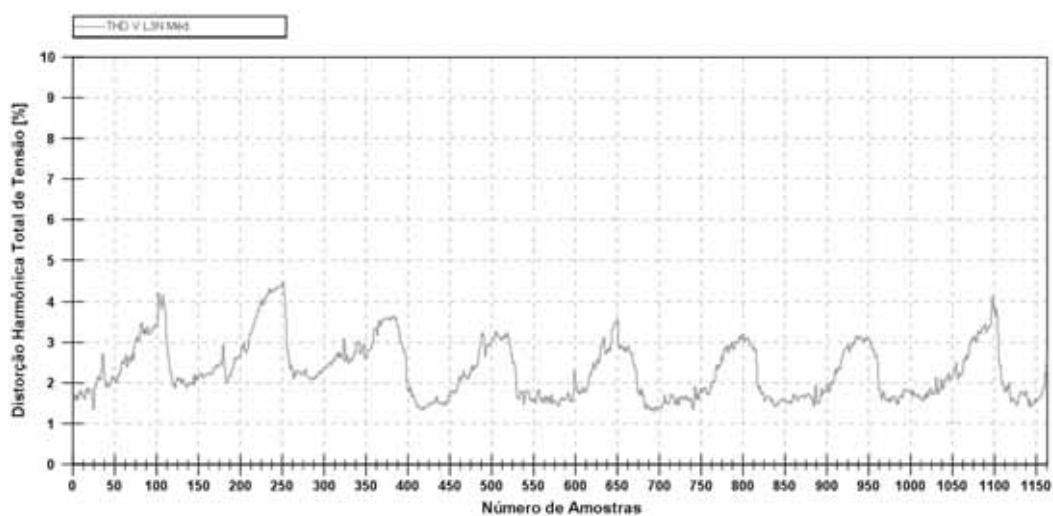
Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 15 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase B, quadro QDCA-3.



Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 16 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase C, quadro QDCA-3.



A partir das Figura 14, 15 e 16, extraíram-se as informações pertinentes aos níveis máximos, mínimos, médios, desvios padrões e P95% para as

distorções totais encontradas. A Tabela 2 fornece uma síntese dessa monitoração.

Tabela 2 – Valores máximos, mínimos, médios, P95% e desvios padrões das DHT de tensão, quadro QDCA-3.

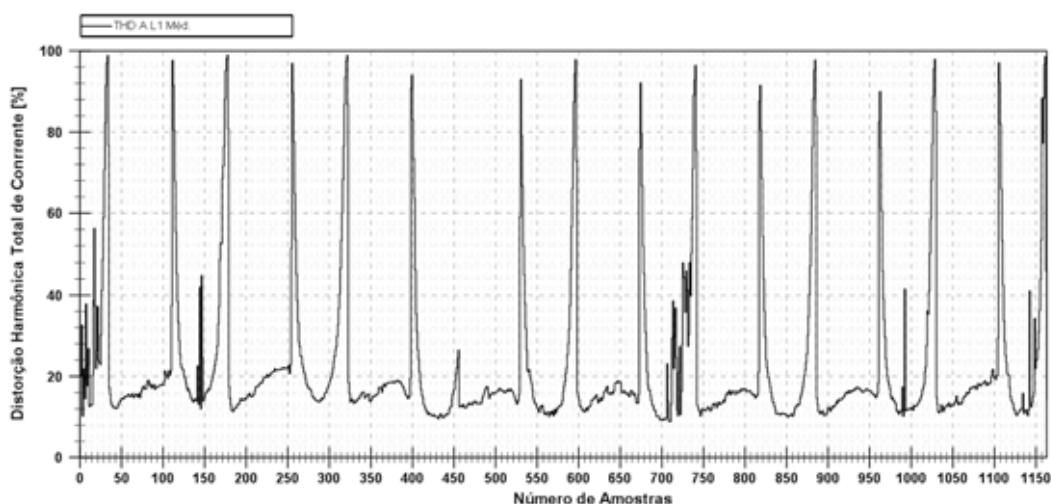
	DTHv A [%]	DTHv B [%]	DTHv C [%]
Máximo	4,53	4,48	4,49
Mínimo	1,42	1,44	1,29
Média	2,53	2,44	2,32
Desvio Padrão	0,71	0,69	0,72
P95%	3,83	3,73	3,60

Fonte: Wendell William Teixeira

2.1.4 Distorção harmônica total de corrente (DHTi %)

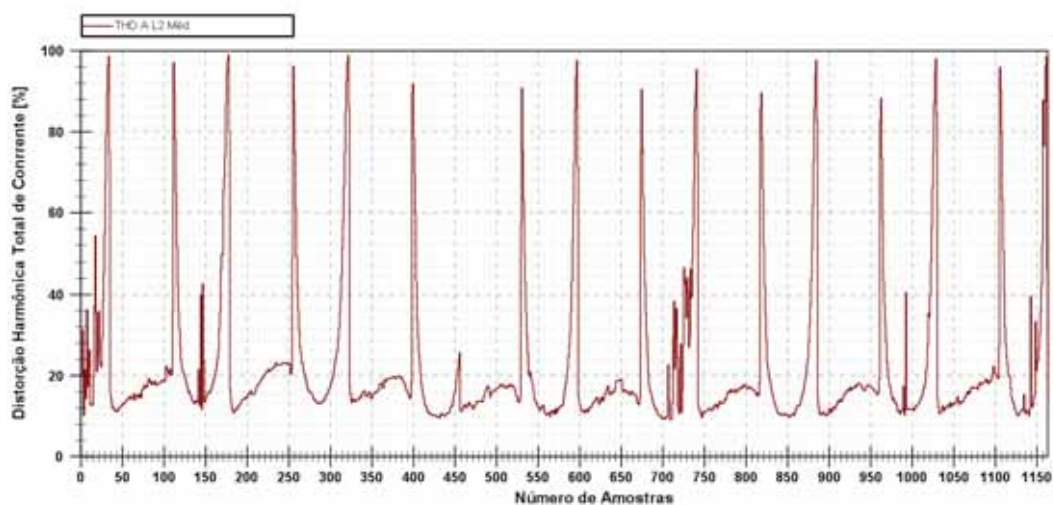
As Figuras 17, 18 e 19, elucidam o comportamento dos perfis de distorção harmônica total das correntes monitoradas entre 06/09/14 e 14/09/14 para o barramento do quadro QDCA-3. Nesta análise foram extraídos os dados dos períodos em que ocorreram interrupções de energia e dos períodos contendo a agregação de dados de Variação de Tensão de Curta Duração. O eixo das ordenadas (vertical), indica o valor percentual da distorção ocorrida, em relação ao correspondente valor fundamental.

Figura 17 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase A, quadro QDCA-3.



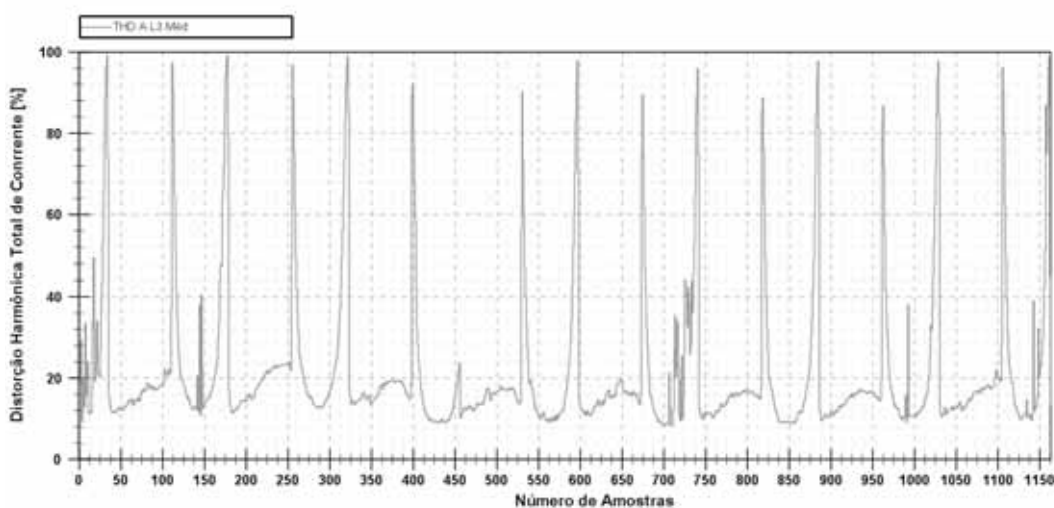
Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 18 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase B, quadro QDCA-3.



Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 19 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase C, quadro QDCA-3.



Fonte: Wendell William Teixeira

A partir das Figura 17, 18 e 19, extraíram-se as informações pertinentes aos níveis máximo, mínimo, médio, desvios padrões e P95% para as distorções totais encontradas. A Tabela 3 fornece uma síntese dessa monitoração.

Tabela 3 – Valores máximo, mínimo, médio, P95% e desvios padrões das DHT de corrente, quadro QDCA-3.

	DTHi A [%]	DTHi B [%]	DTHi C [%]
Máximo	98,95	98,93	99,10
Mínimo	8,91	9,10	8,24
Média	22,50	22,13	21,47
Desvio Padrão	18,98	18,47	18,30
P95%	76,39	74,49	72,63

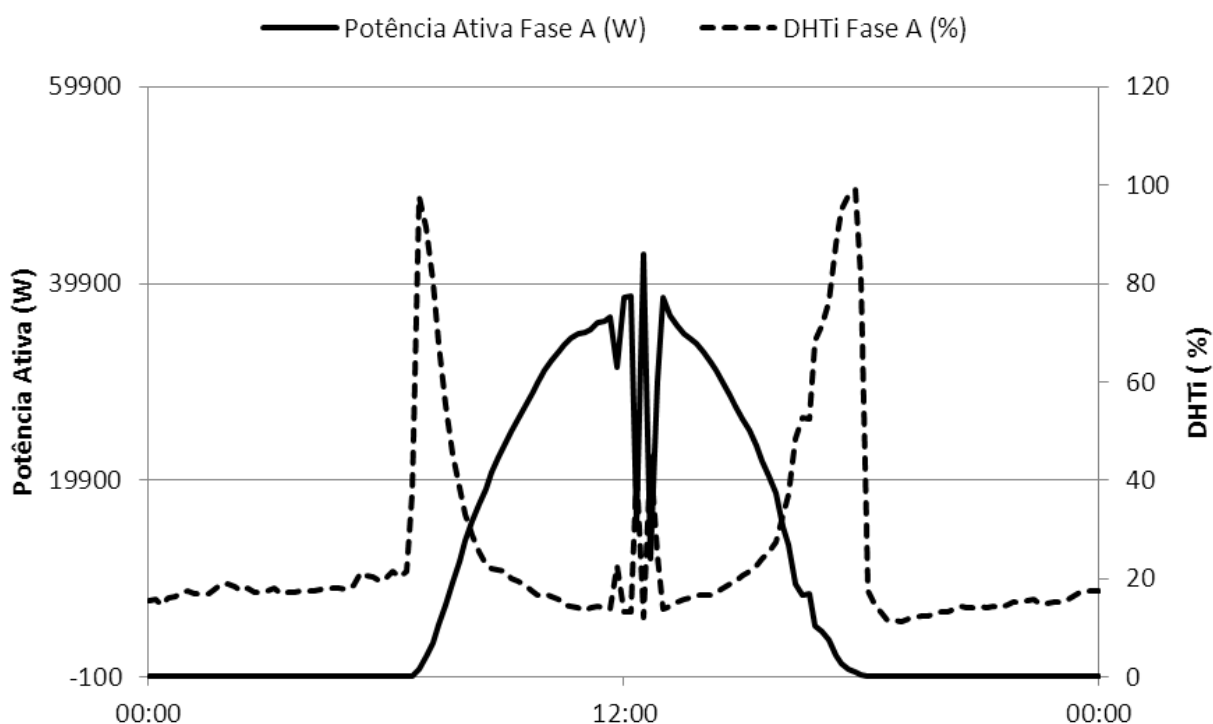
Fonte: Wendell William Teixeira

O módulo 8 do PRODIST, que é a norma a ser obedecida, não estabelece um limite máximo de distorção harmônica total de corrente. A norma IEEE 1547 estabelece o limite máximo de 5%.

A distorção máxima registrada foi de aproximadamente 100% e a mínima próxima a 8%, valores superiores ao limite da IEEE 1547.

A curva de distorção harmônica total de corrente e a curva da potência ativa monitoradas na fase A são elucidadas na Figura 20, para uma melhor análise dos altos valores de DTHi encontrados. O comportamento das fases B e C são semelhantes ao apresentado para a fase A.

Figura 20 – Curva de DHTi e Potência dia 07/09/2014, quadro QDCA-3



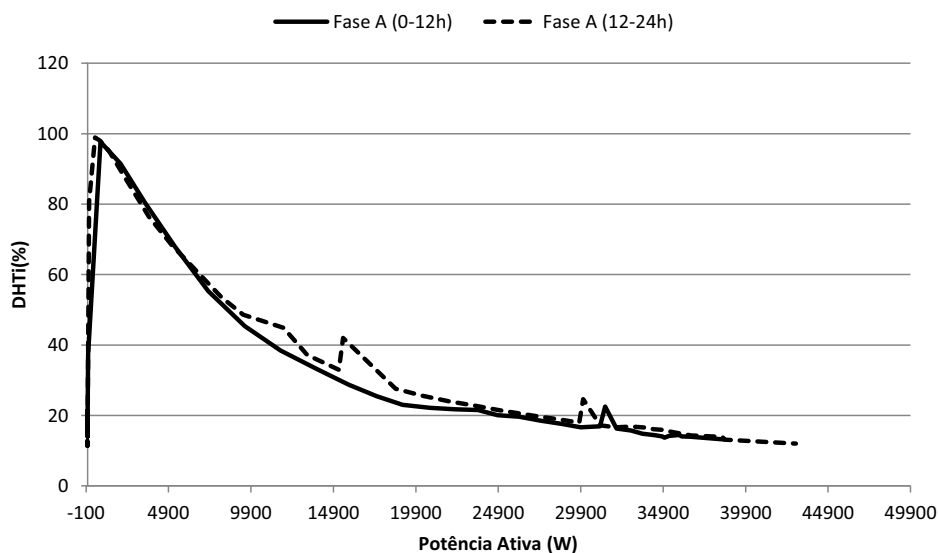
Fonte: Wendell William Teixeira

Os valores máximos de DHTi são observados nos horários em que a variação da potência em relação ao tempo, na saída do inversor, apresenta seu maior valor, ou seja, no instante em que os painéis fotovoltaicos começam a fornecer potência ou deixam de fornecer, seguindo o comportamento da radiação solar diária e as intermitências causadas pela passagem de nuvens.

A Figura 21 elucidada a variação da DHTi da fase A, como função da potência ativa monitorada. São apresentadas duas curvas, uma considerando

os valores entre 0 e 12 horas, e a outra entre as 12 e as 24 horas. O comportamento das fases B e C são semelhantes ao apresentado para a fase A.

Figura 21 – DHTi função da potência ativa, quadro QDCA-3.



Fonte: Wendell William Teixeira

Observa-se que a distorção harmônica total de corrente diminui com o aumento da corrente gerada.

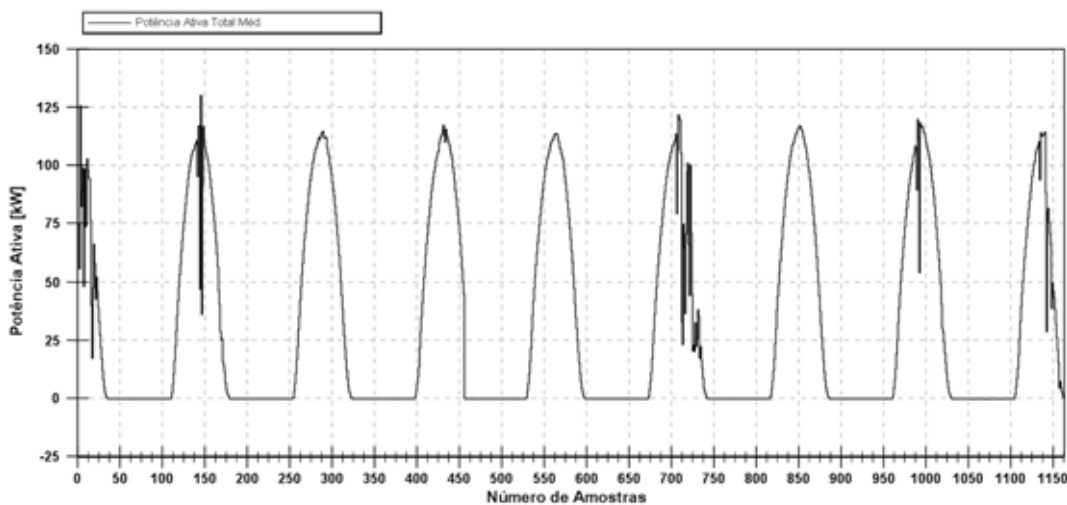
O comportamento de geração harmônica acima apresentado é encontrado na literatura técnica (CRITES, 2012; SO, 2006; EPE, 2012) com valores de picos de distorção harmônica de corrente entre 60% e 120%. Considerando que os máximos valores de DHTi (%) medidos para o quadro QDCA-3 foram em instantes de baixas correntes, estes não representam grandes prejuízos para o sistema.

2.1.5 Análises das Potências

Potência ativa

O comportamento da potência ativa monitorada entre 06/09/14 e 14/09/14 é elucidado pela Figura 22.

Figura 22 – Perfil da potência ativa trifásica no quadro QDCA-3.



Fonte: Wendell William Teixeira

Foram extraídas as informações sobre os níveis máximos, mínimos, médios, desvio padrão e P95% para a potência ativa monitorada. A Tabela 4 fornece uma síntese da monitoração destacada.

Tabela 4 – Valores máximo, mínimo, médio, desvio padrão e P95% da potência ativa trifásica, quadro QDCA-3.

Potência Ativa Total [kW]	
Máximo	130,01
Mínimo	-0,23
Média	32,04
Desvio Padrão	42,53
P95%	111,17

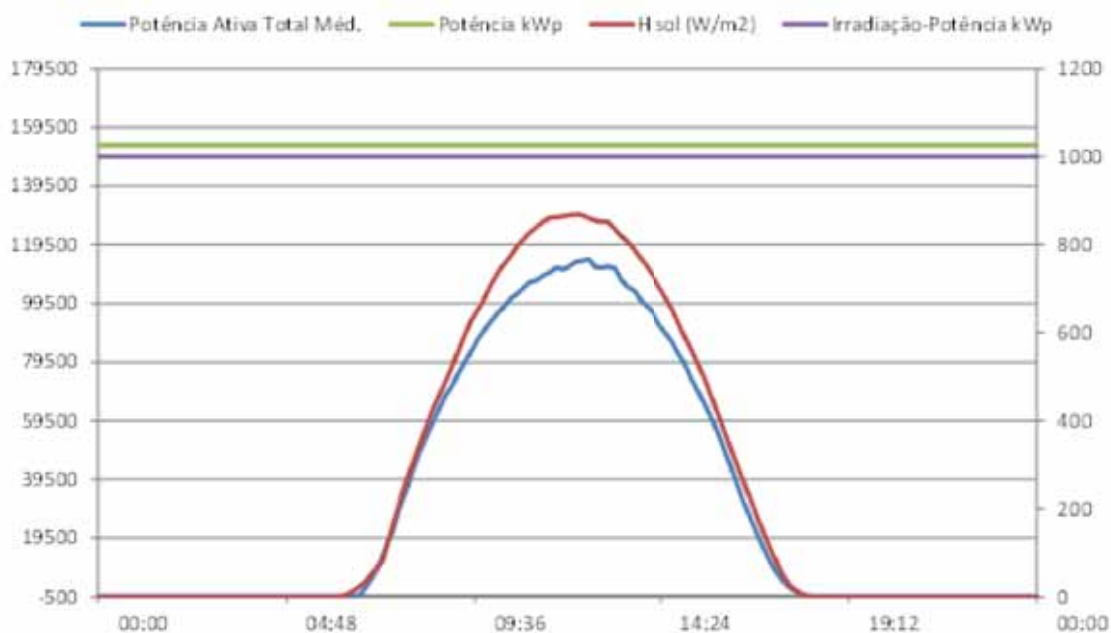
Fonte: Wendell William Teixeira

A Pmáxima no QDCA-3 é de 153,4 kWp, para uma irradiação de 1000 w/m², conforme dados do fabricante dos painéis.

A maior potência registrada durante o período de monitoramento foi de 130,01 kW, registrado no dia 07/09/14 às 12h30.

A curva de irradiação solar no local, bem como a curva de potência de um dia de geração típica para o período monitoramento, é elucidada na Figura 23.

Figura 23 – Curva de irradiação solar e potencia registrada no quadro QDCA-3 no dia 08/09/2014.



Fonte: Wendell William Teixeira

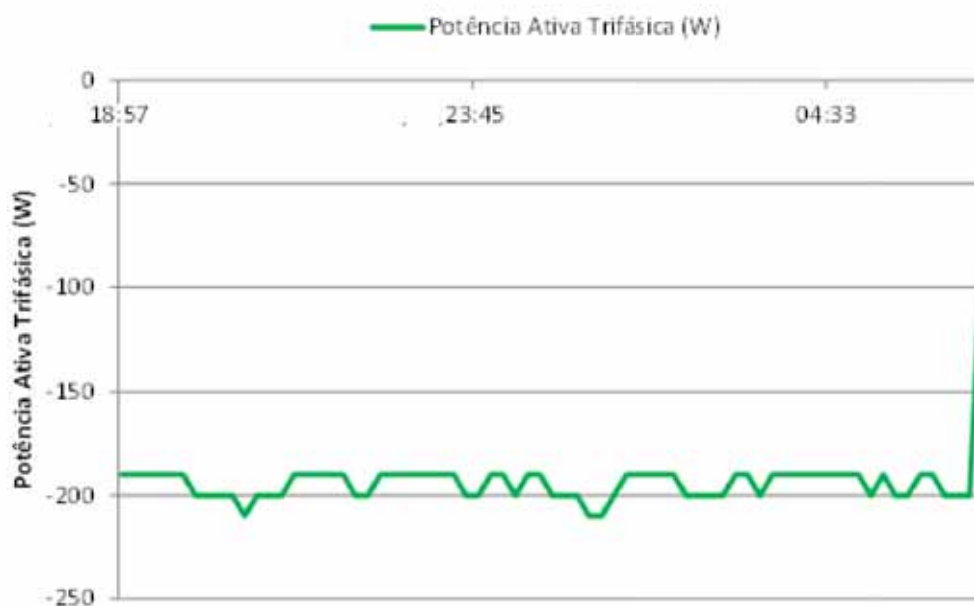
Observa-se que a curva de potencia registrada no Quadro QDCA-3 apresenta comportamento similar à curva de irradiação solar para o mesmo período. A máxima insolação registrada neste dia foi menor que a insolação de 1000 W/m^2 , indicado pelo fabricante como sendo base para a potência nominal dos painéis, o que explica o porquê a produção foi menor que a máxima prevista para o conjunto de painéis, 153 kWp .

A máxima potência registrada no dia 08/09/2014 foi de $114,56 \text{ kW}$, equivale a $74,87\%$ de sua capacidade máxima. A irradiação média máxima nesse dia foi de $869,58 \text{ W/m}^2$ equivalente a $86,9\%$ da irradiação de 1000 W/m^2 usada para o cálculo da potencia pico máxima.

Como a temperatura influi diretamente no rendimento dos painéis, faz-se necessário supervisionar este aspecto, que não foi abordado no presente estudo, além das perdas ao longo do sistema.

A potência mínima registrada foi de $-0,23 \text{ kW}$, sinal negativo que indica consumo de potência pelos inversores no período da noite. Na Figura 24 está elucidado o perfil de potência durante o período das 19h00 do dia 06/09/2014 às 6h00 do dia 07/09/2014.

Figura 24 – Perfil de potência no período de 06/09/14 19h00 : 07/09/14 06:00, quadro QDCA-3

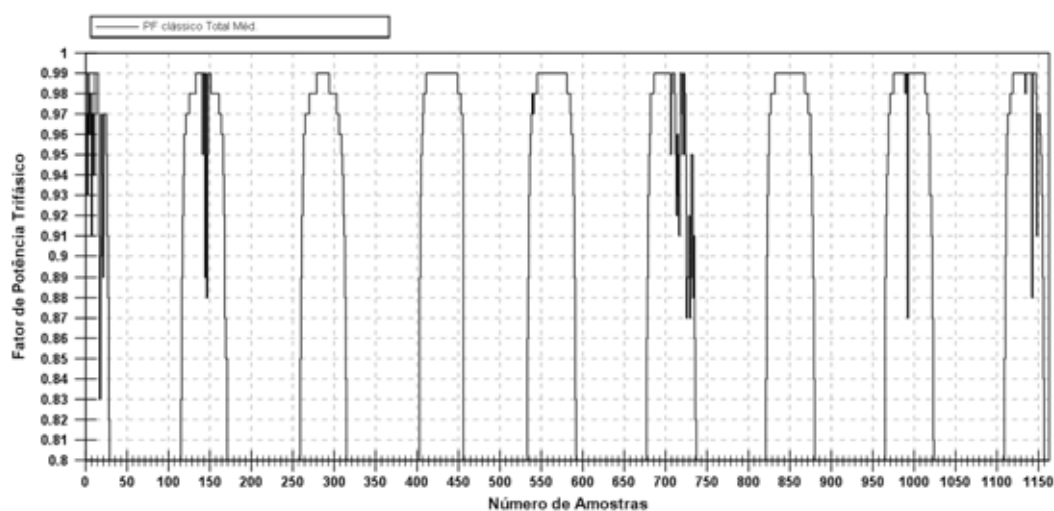


Fonte: Wendell William Teixeira

Fator de Potência

A Figura 25 representa o comportamento do fator de potência.

Figura 25 – Fator de potência calculado no quadro QDCA-3.



Fonte: Wendell William Teixeira

Foram extraídas as informações sobre os níveis máximos, mínimos, médios, desvio padrão e P95% para o fator e potência monitorados. A Tabela 5 fornece uma síntese da monitoração destacada.

Tabela 5 – Valores máximos, mínimos e médios do fator de potência, quadro QDCA-3.

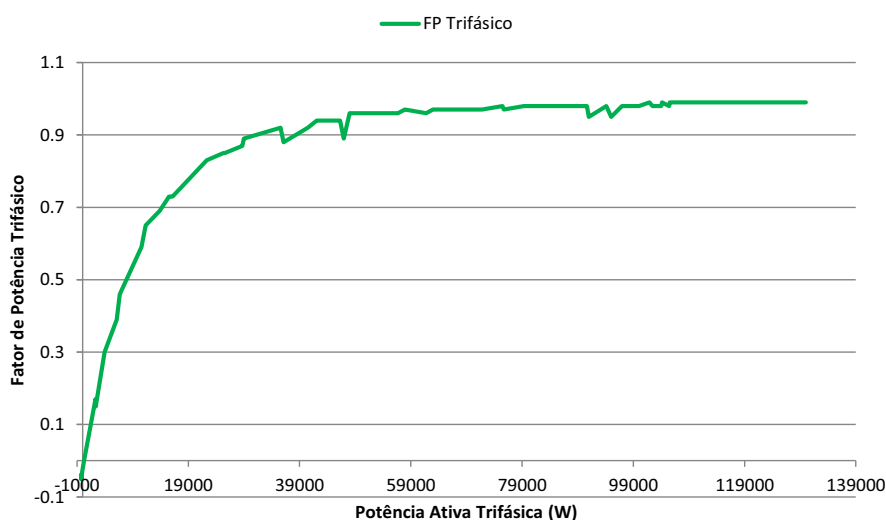
PF Total	
Máximo	0,99
Mínimo	-0,05
Média	0,41
Desvio Padrão	0,49
P95%	0,99

Fonte: Wendell William Teixeira

O máximo valor de fator de potencia é de 0,99. O valor mínimo foi de -0,05.

A Figura 26 apresenta a variação do fator de potência em função da variação da potência ativa monitorada no QDCA-3, para um período específico de 12h00.

Figura 26 – Variação do fator de potência em função da potência ativa no quadro QDCA-3.



Fonte: Wendell William Teixeira

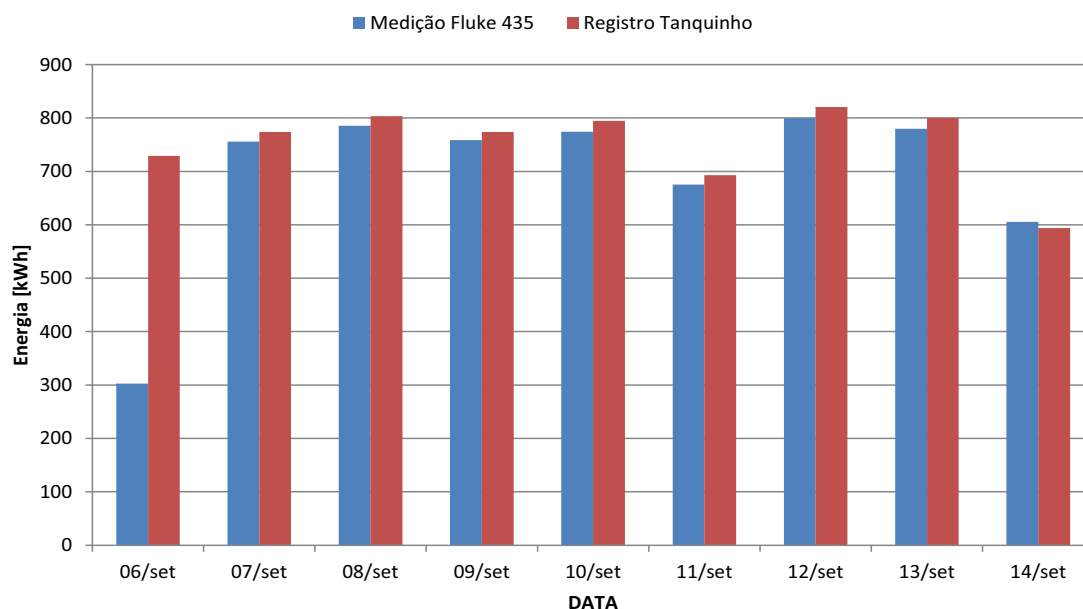
2.1.6 Energia gerada

A Figura 27 elucida a energia diária gerada durante o período de monitoramento, registrada no quadro QDCA-3, e os dados fornecidos pela CPFL.

A diferença entre a medição realizada e os registros da usina de Tanquinho, para o dia 06 de setembro, é justificada devido ao fato da monitoração com o Fluke 435 ter iniciado a partir das 12:20h.

A diferença entre as medições realizadas com o Fluke 435 e aquelas disponibilizadas pela CPFL, podem ser justificadas por erros nos transformadores dos instrumentos empregados em ambas as medições.

Figura 27 – Energia gerada, quadro QDCA-3.

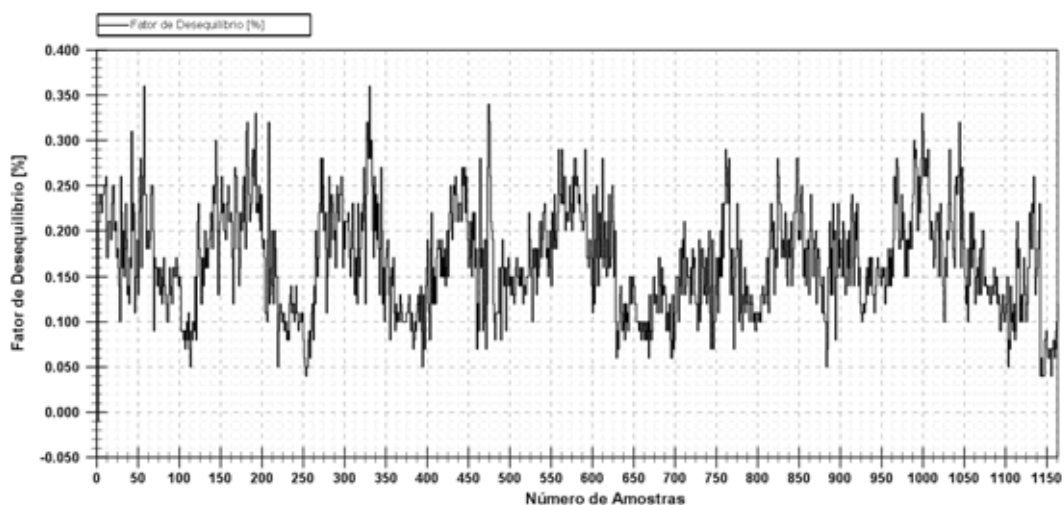


Fonte: Wendell William Teixeira

2.1.7 Desequilíbrio de tensão

O fator de desequilíbrio de tensão monitorado, é elucidado pela Figura 28

Figura 28 – Fator de desequilíbrio durante o período de monitoramento, quadro QDCA-3.



Fonte: Wendell William Teixeira

Foram extraídas as informações sobre os níveis máximos, mínimos, médios, desvio padrão e P95% para o desequilíbrio de tensão monitorado. A Tabela 6 fornece uma síntese da monitoração destacada.

Tabela 6 – Valores máximos, mínimos e médios do fator de desequilíbrio, quadro QDCA-3.

Fator de Desequilíbrio [%]	
Máximo	0,36
Mínimo	-0,01
Média	0,17
Desvio Padrão	0,06
P95%	0,26

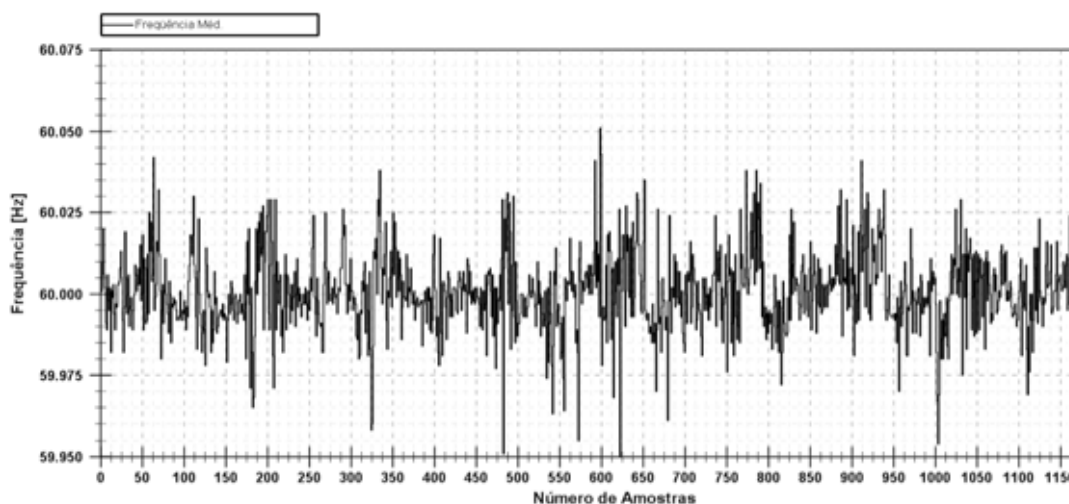
Fonte: Wendell William Teixeira

O valor máximo do fator de desequilíbrio foi de 0,36%.

2.1.8 Variação de Frequência

Na Figura 29 estão elucidados os perfis de frequência no quadro QDCA-3 para o período de monitoramento.

Figura 29 – Perfil de frequência, quadro QDCA-3



Fonte: Wendell William Teixeira

Foram extraídas as informações sobre os níveis máximos, mínimos, médios, desvio padrão e P95% para a frequência monitorada. A Tabela 7 fornece uma síntese da monitoração destacada.

Tabela 7 – Valores máximos, mínimos e médios, desvio padrão e P95% de frequência, quadro QDCA-3.

	Frequência [Hz]
Máximo	60,05
Mínimo	59,95
Média	60,00
Desvio Padrão	0,01
P95%	60,02

Fonte: Wendell William Teixeira

2.1.9 Análises de Variações de Tensão de Curta Duração

Os eventos registrados durante o período monitoramento no barramento do quadro QDCA-3 estão indicados na Tabela 8.

Os eventos são classificados em Dip (Afundamento), Swell (Elevação), e Interrupção de tensão.

Tabela 8 – VTCDs registrados no quadro QDCA-3

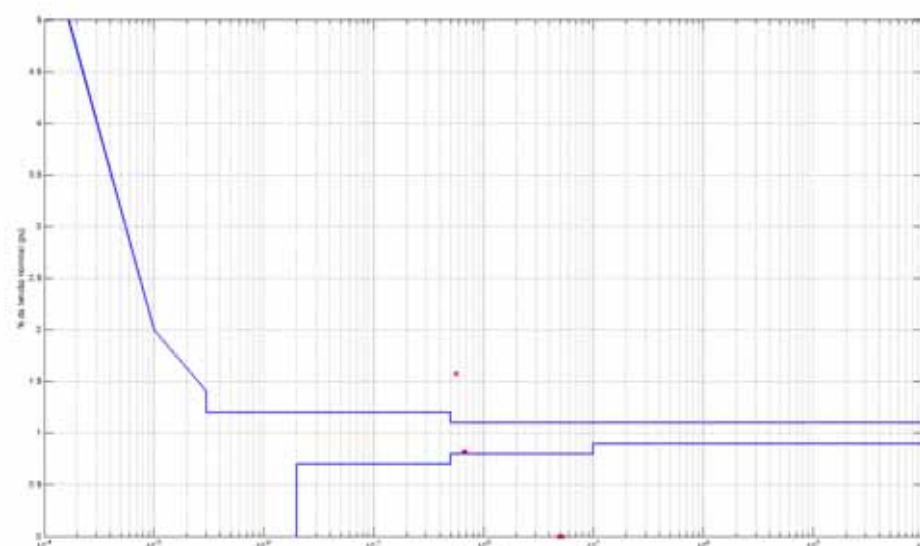
Data Hora	Hora	Duração	Tipo	Fase A (V)	Fase B (V)	Fase C (V)
07.09.2014	13:32:39	0m.0s.67ms.	Dip	--	--	179,6
07.09.2014	13:33:06	0m.0s.69ms.	Dip	179,8	--	--
09.09.2014	16:06:43	0m.5s.268ms.	Interrupção	--	0	--
09.09.2014	16:06:44	0m.4s.893ms.	Interrupção	0	--	--

09.09.2014	16:06:49	2h.1m.25s.	Interrupção	--	--	0
09.09.2014	16:06:49	2h.1m.25s.	Interrupção	--	0	--
14.09.2014	12:29:28	0m.0s.56ms.	Swell	--	346,5	--
14.09.2014	12:29:28	1h.36m.25s.	Interrupção	--	--	0
14.09.2014	12:29:28	1h.36m.25s.	Interrupção	0	--	--

Fonte: Wendell William Teixeira

Na Figura 30 estão elucidados os eventos registrados em cada fase, bem como indicados quais desses estão nas regiões com probabilidade de dano de equipamentos eletrônicos, segundo a curva ITIC.

Figura 30 – Eventos da fase A na curva ITIC, quadro QDCA-3



Fonte: Wendell William Teixeira

Os eventos VTCDs que se enquadram fora dos limites da curva ITIC, que apresentam probabilidade de danificar equipamentos eletrônicos sensíveis, estão elucidados na Tabela 9.

Tabela 9 – VTCDs fora dos limites da curva ITIC, quadro QDCA-3

Data Hora	Hora	Duração	Tipo	Fase A (V)	Fase B (V)	Fase C (V)
09.09.2014	16:06:43	0m.5s.268ms.	Interrupção	--	0	--
09.09.2014	16:06:44	0m.4s.893ms.	Interrupção	0	--	--
09.09.2014	16:06:49	2h.1m.25s.	Interrupção	--	--	0
09.09.2014	16:06:49	2h.1m.25s.	Interrupção	--	0	--
14.09.2014	12:29:28	0m.0s.56ms.	Swell	--	346,5	--
14.09.2014	12:29:28	1h.36m.25s.	Interrupção	--	--	0
14.09.2014	12:29:28	1h.36m.25s.	Interrupção	0	--	--

Fonte: Wendell William Teixeira

2.2 QUADRO QDCA-1

2.2.1 Especificações técnicas

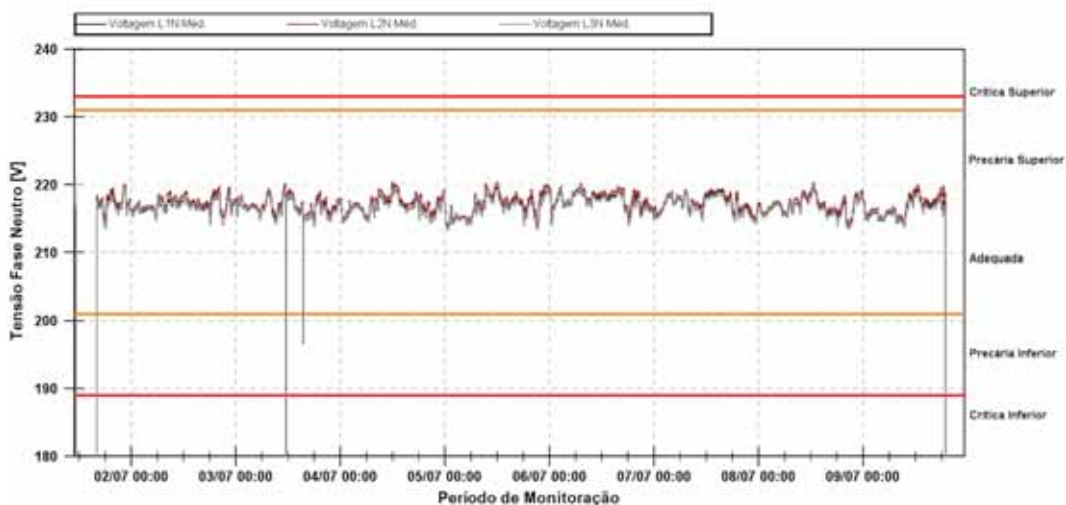
Este quadro é o ponto de acoplamento dos quadros QDCA-2 até o QDCA-5. Os painéis fotovoltaicos e os inversores utilizados nesses quadros são iguais ao QDCA-3 discutido no item 3.1.

No ponto QDCA-1 foram dois os períodos considerados na análise: o período compreendido entre os dias 01/07 a 09/07 de 2014 e o período compreendido entre os dias 10/07 a 12/07.

2.2.2 Tensão em regime permanente

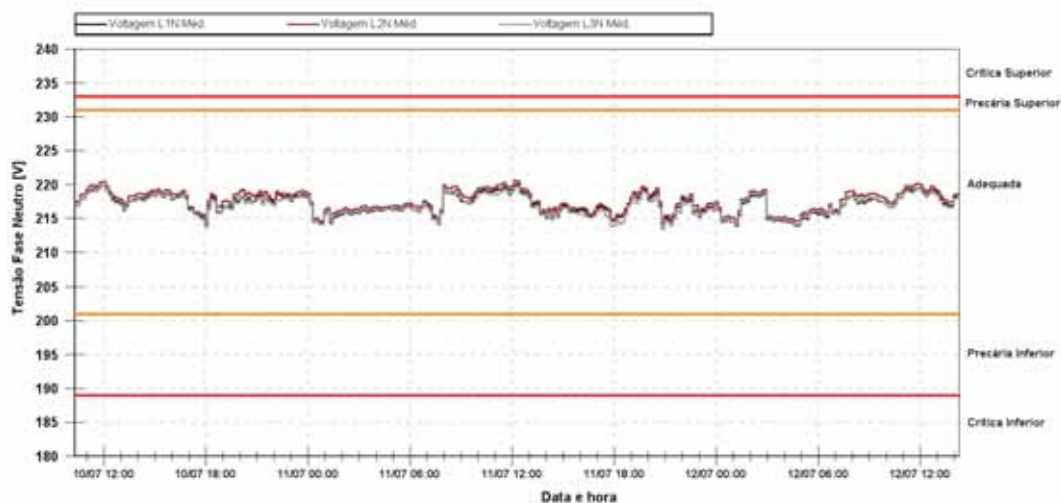
Os perfis das tensões eficazes das 3 fases, coletados durante o período de monitoramento, 01/07 a 09/07 e de 10/07 a 12/07, estão respectivamente elucidados nas Figuras 31 e 32.

Figura 31 – Perfil das tensões eficazes de fase, quadro QDCA – 1, período de monitoramento 01/07 – 09/07.



Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 32 – Perfil das tensões eficazes de fase, quadro QDCA – 1, período de monitoramento 10/07 – 12/07.



Fonte: Wendell William Teixeira

Para a análise das tensões em regime permanente, foram extraídos os dados dos períodos em que ocorreram interrupções de energia e dos períodos contendo a agregação de dados de Variação de Tensão de Curta Duração. Na Quadro 5 estão consolidados os dados contendo os períodos em que ocorreram interrupções de energia, o período de monitoramento do dia 01/07 a 09/07, e igualmente indicado se tais interrupções foram registradas pelo sistema de monitoramento do Smart Integration.

Para o período de 10/07 a 12/07 não foi necessário expurgar dados uma vez que não ocorreram interrupções de energia.

Quadro 5 – Interrupções de energia, quadro QDCA-1, 01/07 a 09/07

Interrupção	Data Hora	Identificados pelo Sistema de Monitoramento da usina?
1	Início	1/7/14 11:15:17
	Término	1/7/14 15:55:17
2	Início	9/7/14 18:55:17
	Término	9/7/14 23:15:17
3	Início	3/7/14 11:25:17
	Término	3/7/14 11:21:40

Fonte: Wendell William Teixeira

Durante o período de monitoramento (01/07 – 09/07) aconteceram 3 interrupções, registradas no quadro QDCA-1.

A Figura 33 apresenta as tensões eficazes das fases A, B e C consideradas para análise das tensões em regime permanente para o período de 01/07 a 09/07.

Figura 33 – Perfil de tensões eficazes de fase, quadro QDCA-1 para análise em regime permanente, período de monitoramento 01/07 – 09/07.



Fonte: Wendell William Teixeira

Foram extraídas as informações sobre os níveis máximos, mínimos, médios e desvios padrões para as tensões monitoradas.

A Tabela 10 fornece uma síntese da monitoração para o período de 01/07 a 09/07 e a Tabela 11 para o período de 10/07 – 12/07.

Tabela 10 – Valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões das tensões RMS, quadro QDCA-1, 01/07 a 09/07

V_{RMS}	V_A [V]	V_B [V]	V_C [V]
Máximo	219,90	220,37	219,89
Mínimo	213,44	213,66	213,23
Médio	216,83	217,31	216,65
Desvio Padrão	1,27	1,32	1,27

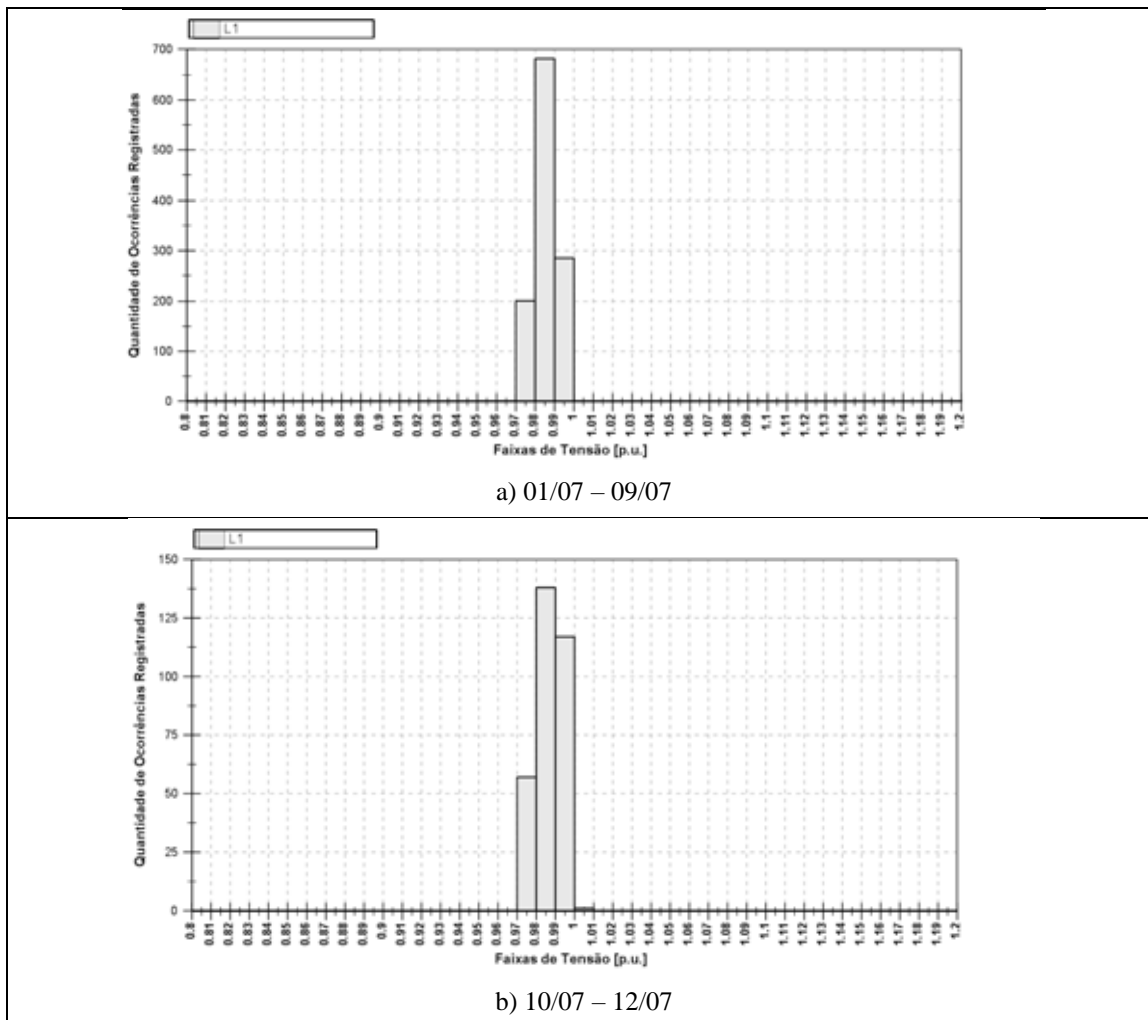
Fonte: Wendell William Teixeira

Tabela 11 – Valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões das tensões RMS, quadro QDCA-1, 10/07 a 12/07

V_{RMS}	V_A [V]	V_B [V]	V_C [V]
Máximo	220,06	220,59	219,90
Mínimo	213,89	214,46	213,44
Médio	217,05	217,57	216,89
Desvio Padrão	1,47	1,51	1,45

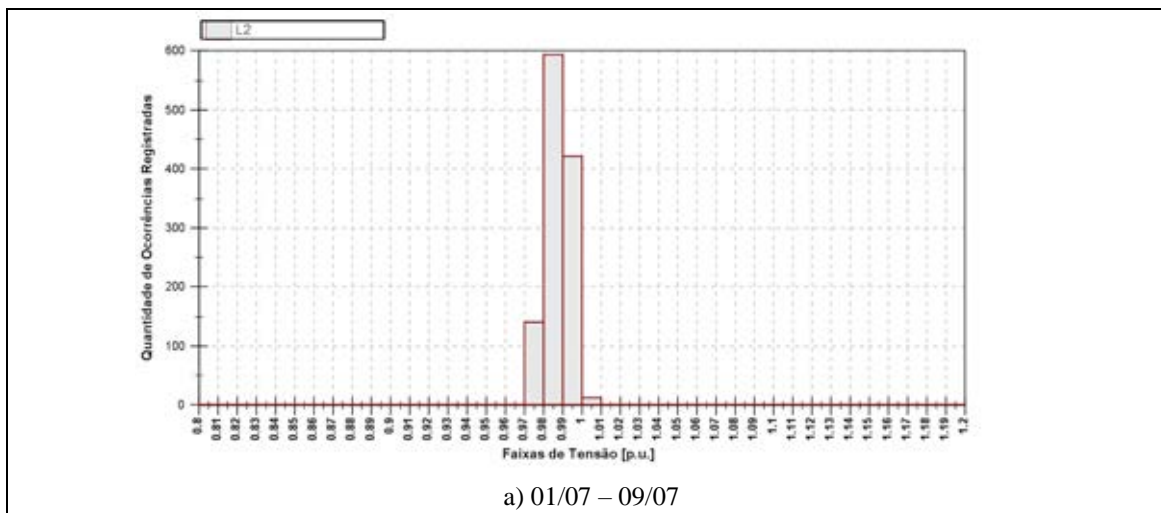
Para uma análise mais detalhada, é apresentado o histograma da tensão de cada fase, conforme as Figuras 34, 35 e 36.

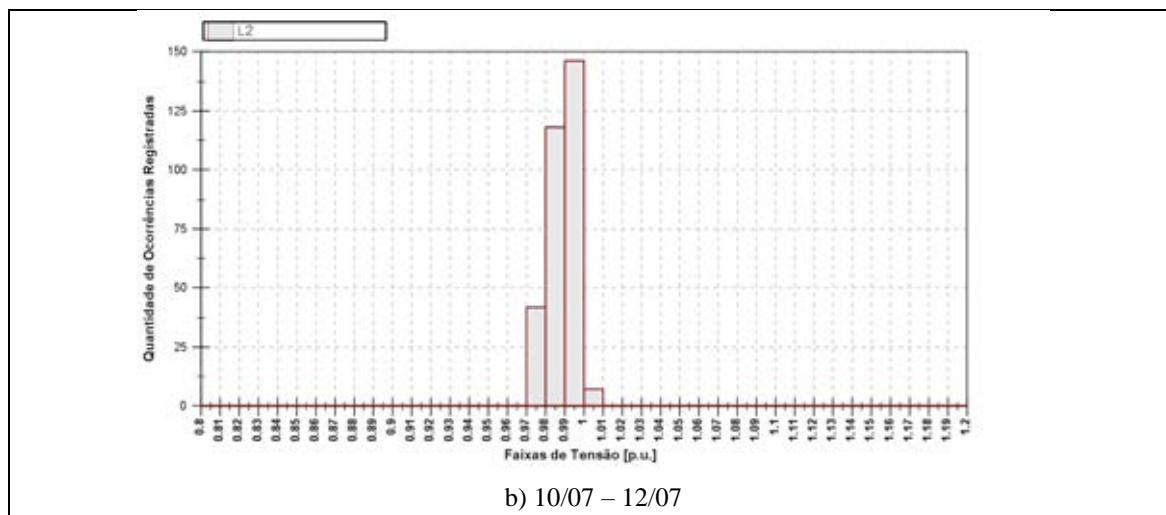
Figura 34 – Histograma de tensão da fase A, quadro QDCA-1



Fonte: Wendell William Teixeira

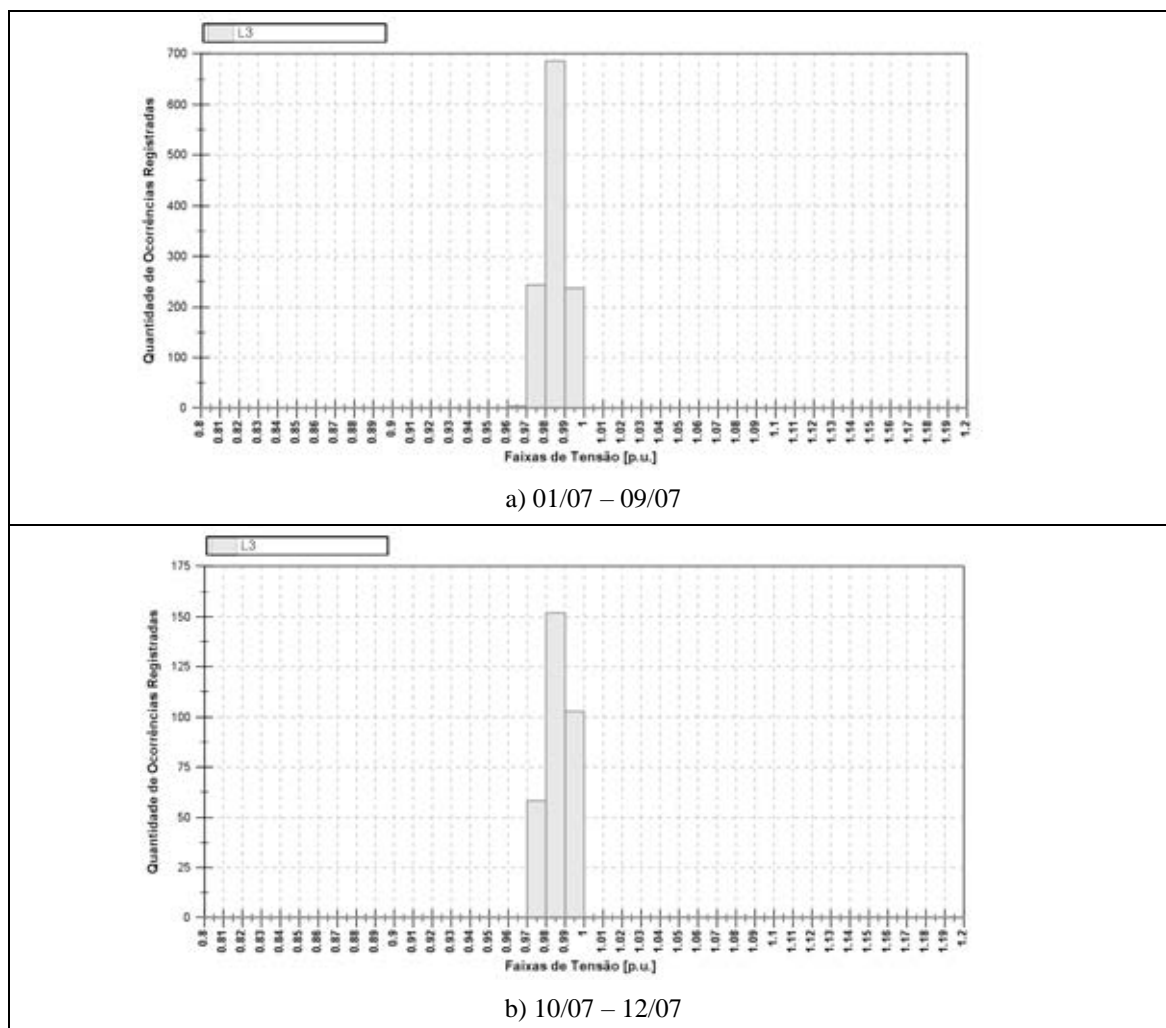
Figura 35 – Histograma de tensão da fase B, quadro QDCA-1.





Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 36 – Histograma de tensão da fase C, quadro QDCA-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

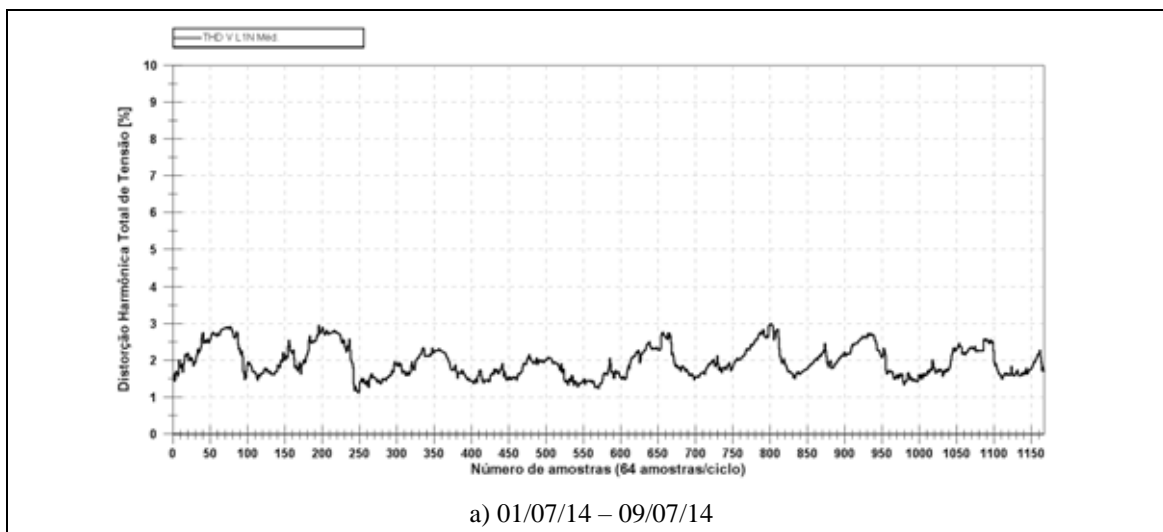
Baseado nos dados obtidos durante o período de monitoramento, a tensão no barramento do quadro QDCA-1 se enquadrou dentro dos limites da região adequada. As análises dos histogramas mostram que os valores de tensão predominantes nas três fases ocupam o intervalo 0,98 – 0,99 pu, em relação à Vfase nominal do barramento de 220V.

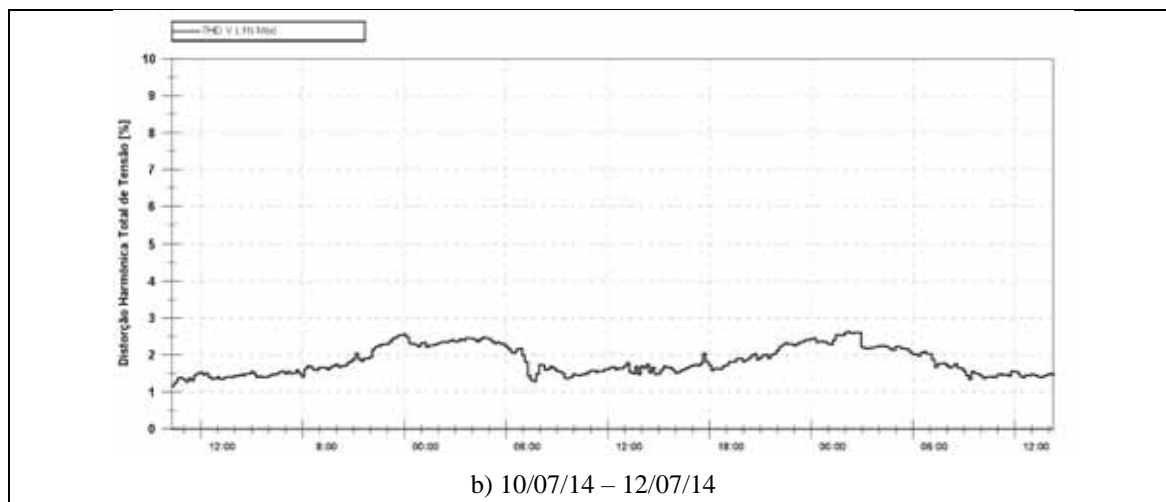
2.2.3 Distorção harmônica total de tensão (DHTv %)

As Figuras 37, 38 e 39 elucidam o comportamento dos perfis de distorção harmônica total das tensões fase-neutro monitoradas entre: a) 01/07/14 a 09/07/14 e b) 10/07/14 a 12/07/14 no barramento do quadro QDCA-1. Nesta análise foram extraídos os dados dos períodos em que ocorreram interrupções de energia e dos períodos contendo a agregação de dados de Variação de Tensão de Curta Duração. O eixo das ordenadas (vertical), indica o valor percentual da distorção ocorrida, em relação ao correspondente valor fundamental.

Observa-se nessas figuras que os níveis de distorção harmônica são inferiores a 10% em conformidade com o PRODIST Módulo 8, e inferiores a 5% em conformidade com a norma IEEE 1547.

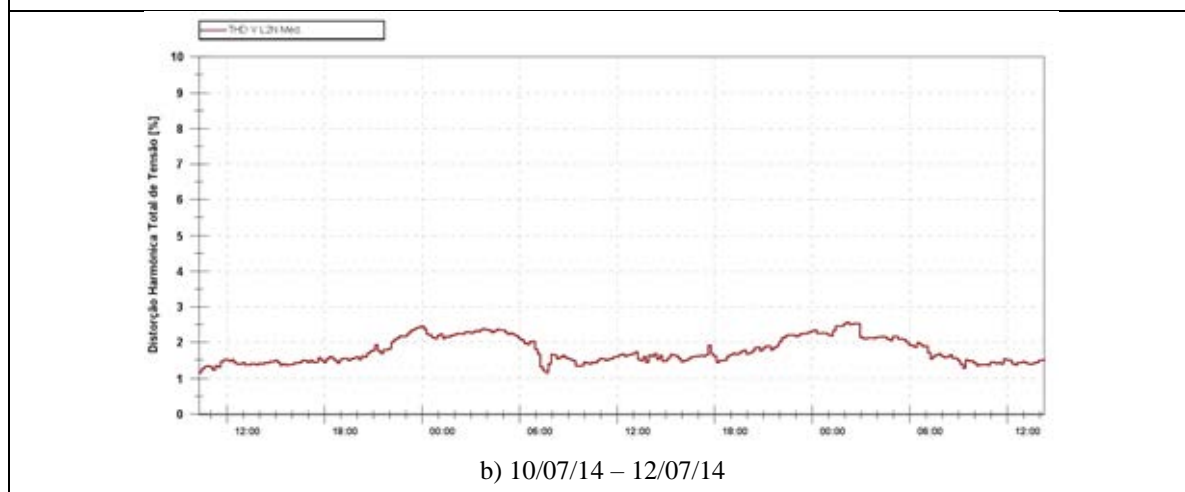
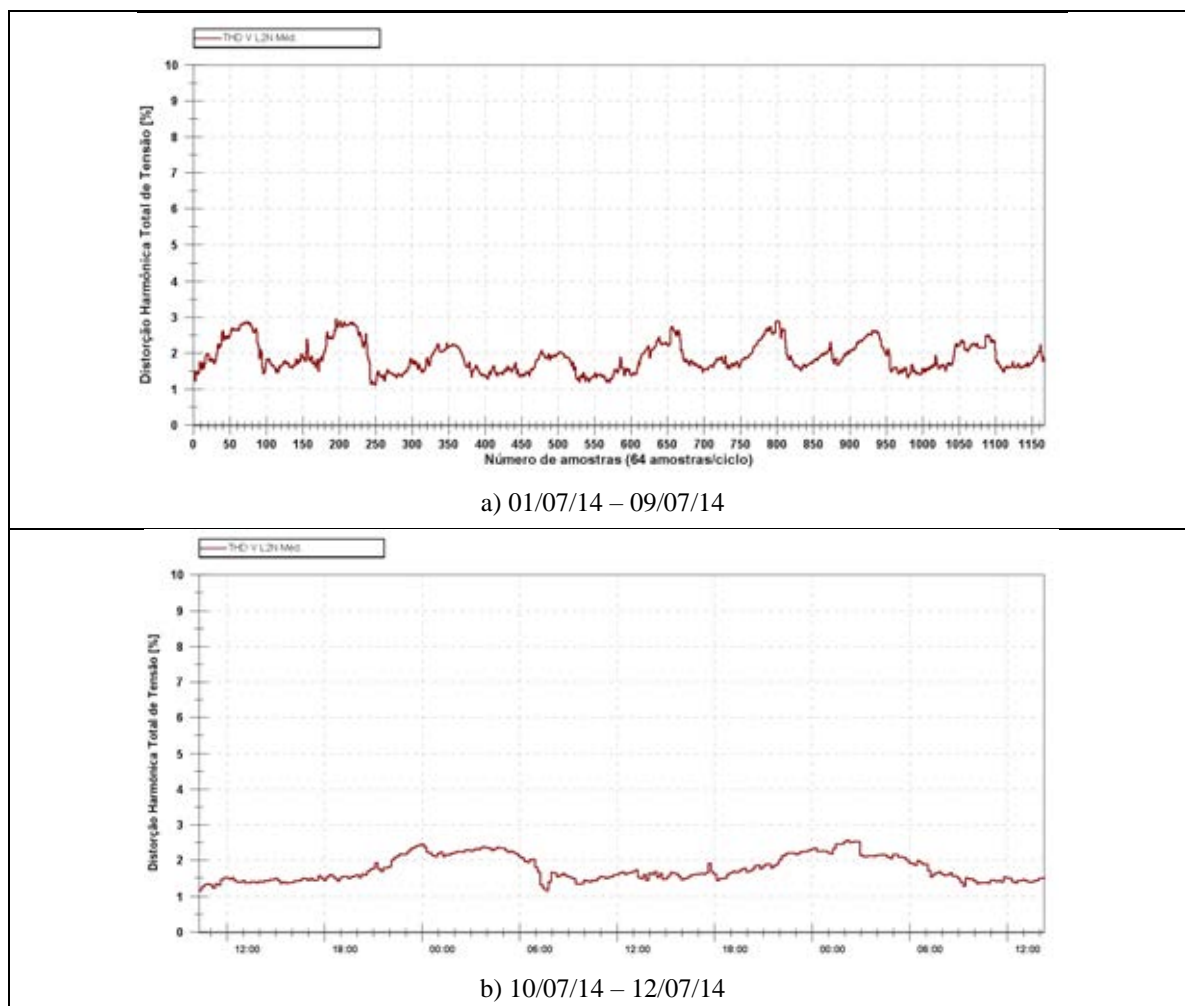
Figura 37 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase A, quadro QDCA-1





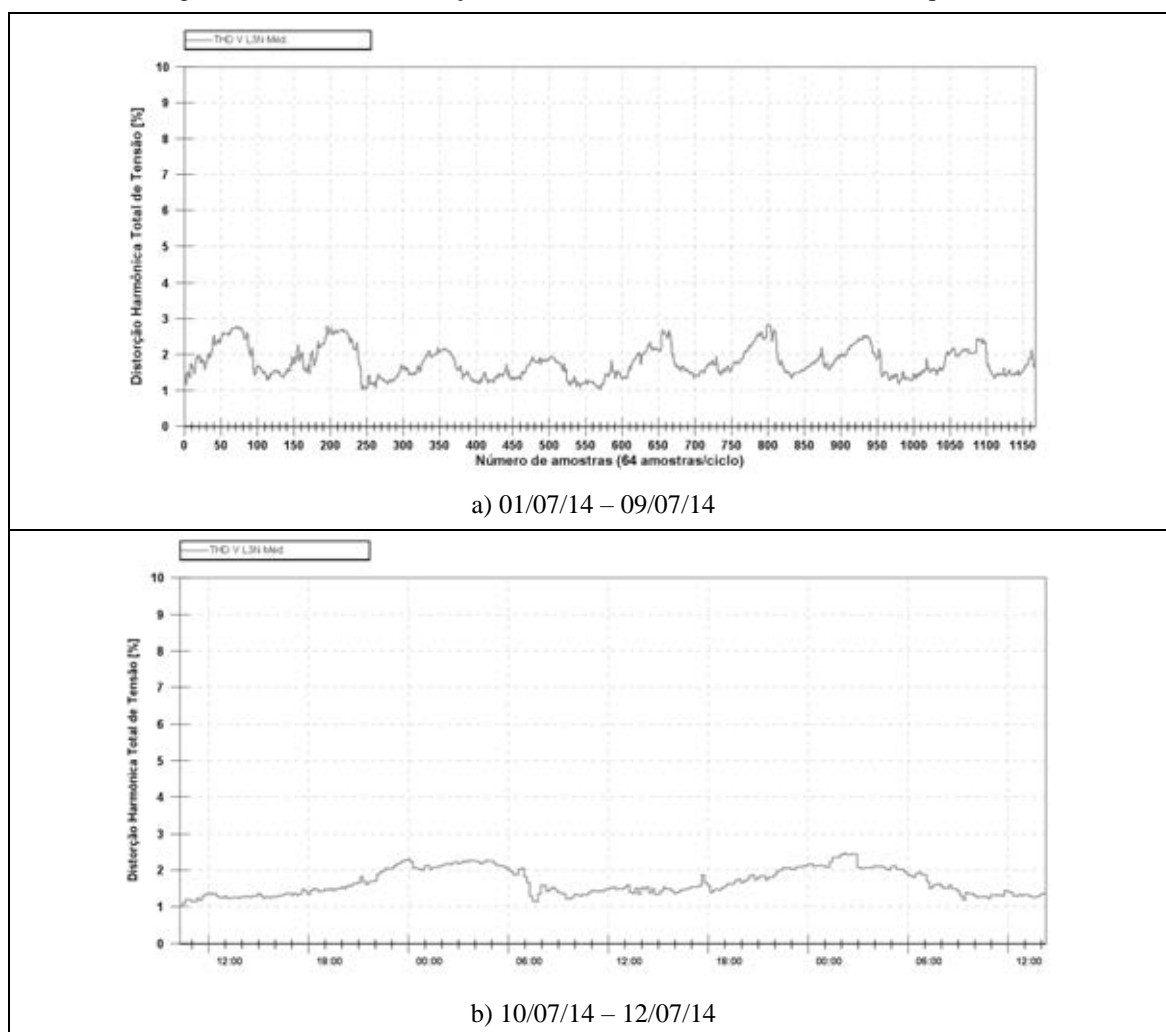
Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 38 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase B, quadro QDCA-1



Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 39 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase C, quadro QDCA-1



Fonte: Wendell William Teixeira

A partir das Figuras 37, 38 e 39, extraíram-se as informações pertinentes aos níveis máximos, mínimos, médios, desvios padrões e P95% para as distorções totais encontradas. As Tabela 12 e 13 fornecem uma síntese dessa monitoração para os períodos indicados.

Tabela 12 – Valores máximos, mínimos, médios, P95% e desvios padrões das DHT de tensão, 01/07/14 – 09/07/14, quadro QDCA-1

	DHTV A [%]	DHTV B [%]	DHTV C [%]
Máximo	2,99	2,94	2,83
Mínimo	1,22	1,12	1,02
Médio	1,96	1,89	1,78
Desvio padrão	0,42	0,42	0,42
P95	2,74	2,70	2,60

Fonte: Wendell William Teixeira

Tabela 13 – Valores máximos, mínimos, médios, P95% e desvios padrões das DHT de tensão, 10/07/14 – 12/07/14, quadro QDCA-1

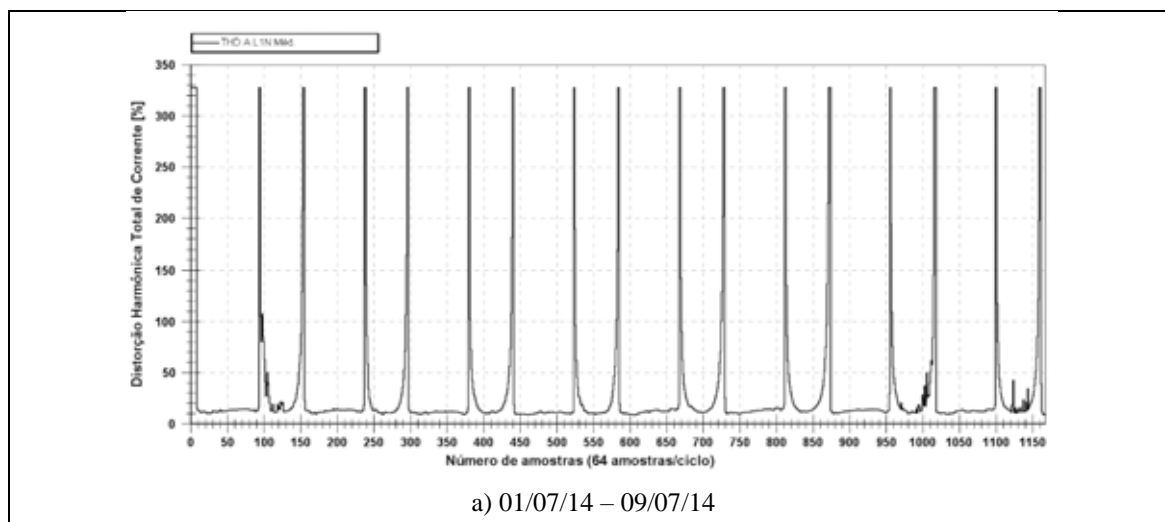
	DHTV _{L1} [%]	DHTV _{L2} [%]	DHTV _{L3} [%]
Máximo	2,63	2,56	2,47
Mínimo	1,15	1,16	1,02
Médio	1,83	1,76	1,66
Desvio padrão	0,38	0,36	0,36
P95	2,45	2,35	2,25

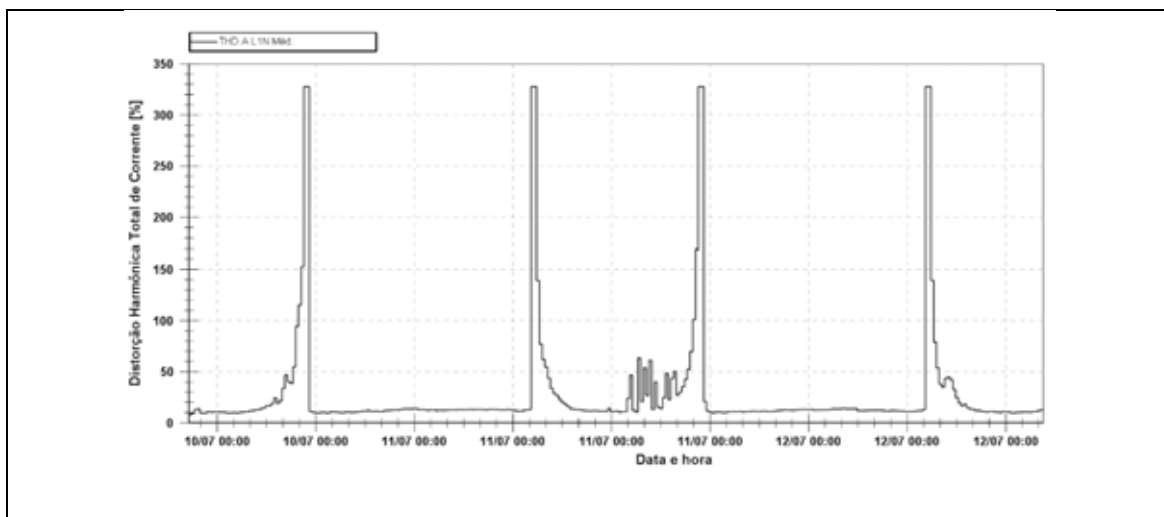
Fonte: Wendell William Teixeira

2.2.4 Distorção harmônica total de corrente (DHTi %)

As Figuras 40, 41 e 42 elucidam o comportamento dos perfis de distorção harmônica total das correntes monitoradas nos dois períodos no barramento do quadro QDCA-1, de 01/07/14 a 09/07/14, e 10/07/14 a 12/07/14. Nesta análise foram extraídos os dados dos períodos em que ocorreram interrupções de energia e dos períodos contendo a agregação de dados de Variação de Tensão de Curta Duração. O eixo das ordenadas (vertical), indica o valor percentual da distorção ocorrida, em relação ao correspondente valor fundamental.

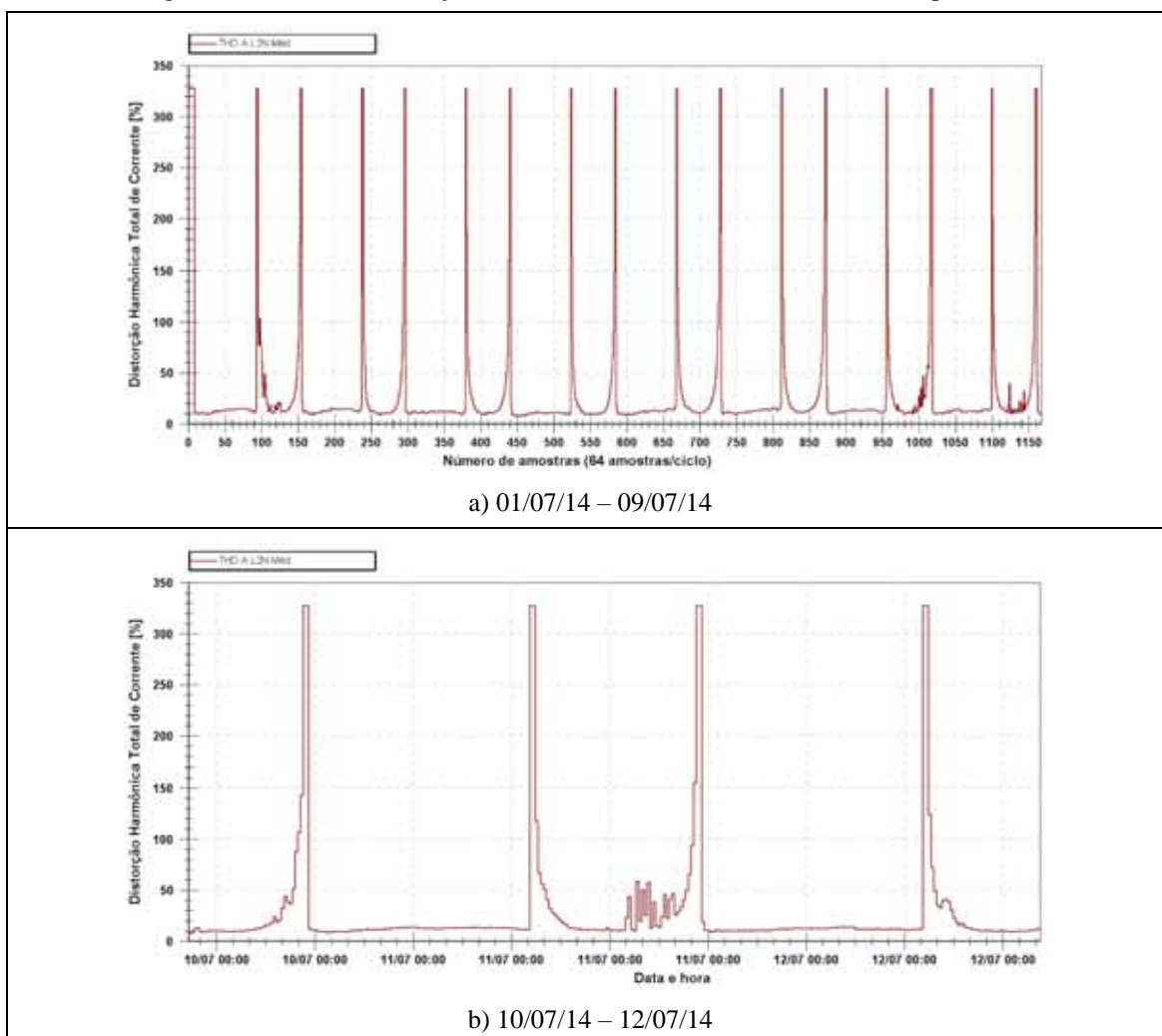
Figura 40 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase A, quadro QDCA-1.





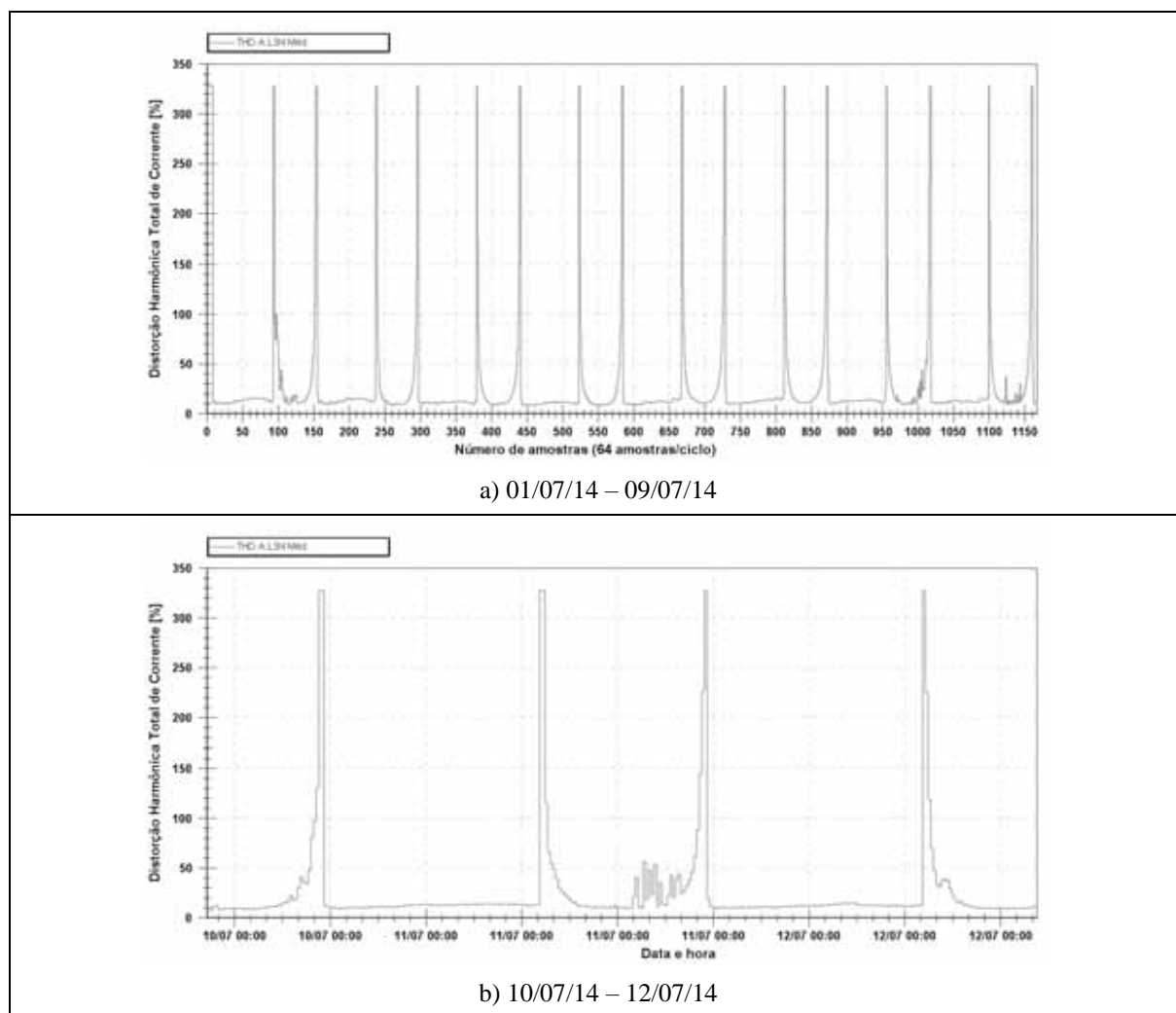
Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 41 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase B, quadro QDCA-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 42 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase C, quadro QDCA-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

A partir das Figura 40, 41 e 42, extraíram-se as informações pertinentes aos níveis máximos, mínimos, médios, desvios padrões e P95% para as distorções totais encontradas.

Tabela 14 – Valores máximos, mínimos, médios, P95% e desvios padrões das DHT de corrente, 01/07/14 – 09/07/14, quadro QDCA-1.

DHTI	DHTI L1 [%]	DHTI L2 [%]	DHTI L3[%]
Máximo	327,67	327,67	327,67
Mínimo	8,56	7,75	7,80
Média	29,70	28,47	27,65
Desvio padrão	60,06	57,79	57,07
P95			

Fonte: Wendell William Teixeira

Tabela 15 – Valores máximos, mínimos, médios, P95% e desvios padrões das DHT de corrente, 10/07/14 – 12/07/14, quadro QDCA-1.

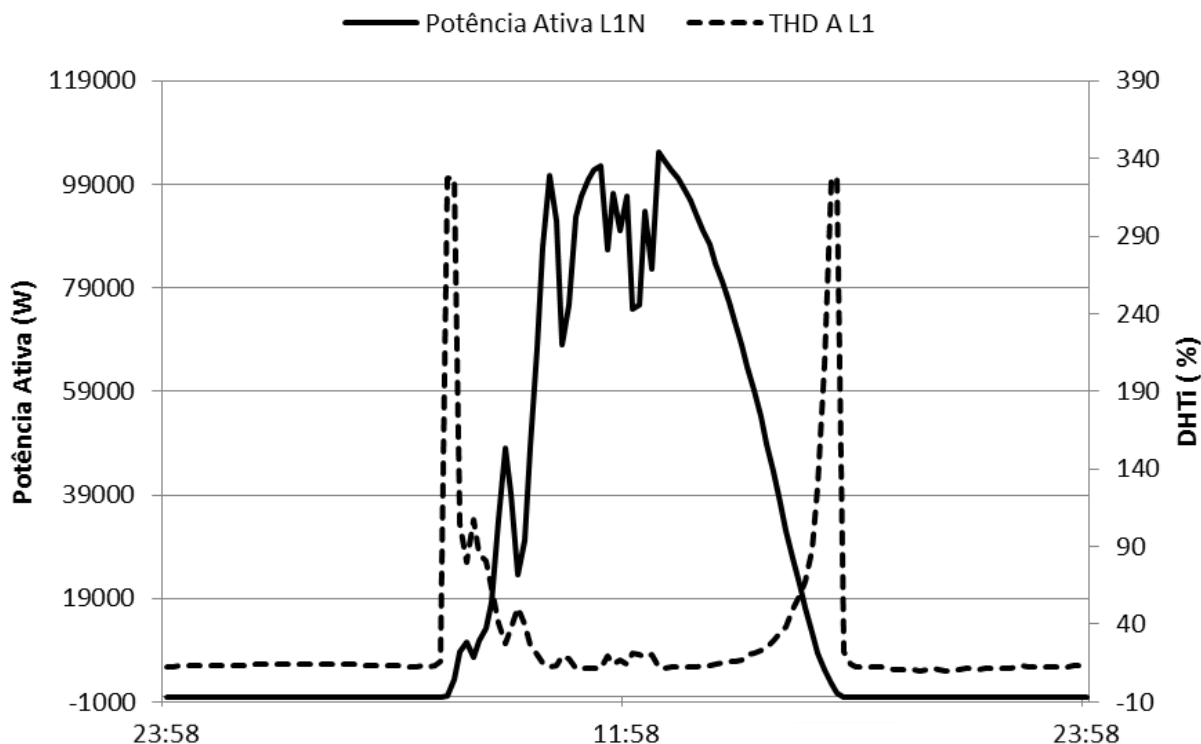
Dhti	DHTI L1 [%]	DHTI L2 [%]	DHTI L3[%]
Máximo	327,67	327,67	327,67
Mínimo	8,12	8,00	7,26
Média	26,83	26,06	24,77
Desvio padrão	26,83	52,43	48,86
P95	77,80	68,98	67,40

Fonte: Wendell William Teixeira

O módulo 8 do PRODIST não estabelece um limite máximo de distorção harmônica total de corrente. Na norma IEEE 1547 esse limite máximo é 5%. A distorção máxima registrada foi de 327,67% e a mínima próxima a 8%, valores superiores ao limite da IEEE 1547, porém em conformidade com a norma brasileira vigente (PRODIST).

A curva de distorção harmônica total de corrente e a curva da potência ativa monitoradas na fase A são elucidadas na Figura 43, para uma melhor análise dos altos valores de DHTi encontrados. O comportamento das fases B e C é semelhante ao apresentado para a fase A.

Figura 43 – Curva de DHTi e Potência dia 02/07/14 , fase A, quadro QDCA-1

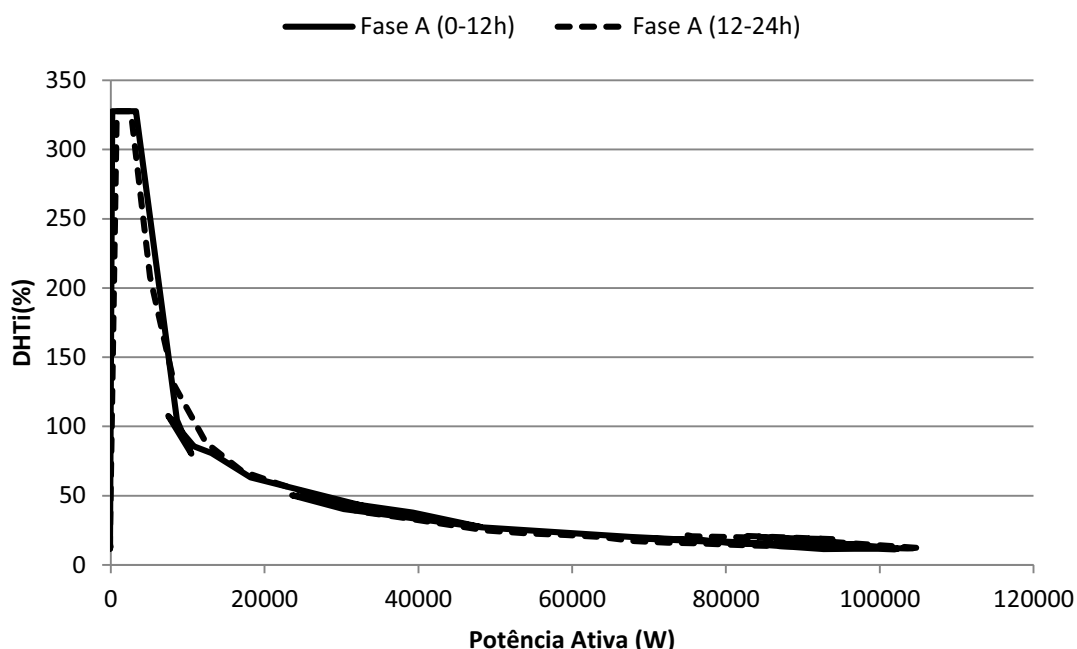


Fonte: Wendell William Teixeira

Os valores máximos de DHTi são observados nos horários em que a variação da potência em relação ao tempo, na saída do inversor, apresenta seu maior valor, ou seja, no instante em que os painéis fotovoltaicos começam a fornecer potência ou deixam de fornecer, seguindo o comportamento da radiação solar diária e as intermitências causadas pela passagem de nuvens.

A Figura 44 elucida a variação da DHTi da fase A, como função da potência ativa monitorada. São apresentadas duas curvas, uma considerando os valores entre 0 e 12 horas, e a outra entre as 12 e as 24 horas. O comportamento das fases B e C são semelhantes ao apresentado para a fase A.

Figura 44 – DHTi função da corrente, fase A, quadro QDCA-1



Fonte: Wendell William Teixeira

Para o quadro QDCA-1, observa-se que a partir do instante em que os painéis fotovoltaicos começam a fornecer potência ativa, a distorção harmônica total de corrente diminui com o aumento da corrente gerada. O comportamento das fases B e C são similares ao comportamento da fase A.

O comportamento de geração harmônica acima apresentado, é encontrado na literatura técnica (CRITES, 2012; SO, 2006; EPE, 2012) com valores de picos de distorção harmônica de corrente entre 60% e 120%. Considerando que os máximos valores de DHTi (%) medidos para o quadro QDCA-1 foram

em instantes de baixa corrente, estes não representam grandes prejuízos para o sistema. Também vale ressaltar que a precisão dos sensores de correntes para baixas correntes é limitada, uma vez que a potência do quadro QDCA-1 é de 500 kW, e, portanto, foi utilizado uma escala maior no sensor de corrente, que foi deixado no local para efetuar o monitoramento.

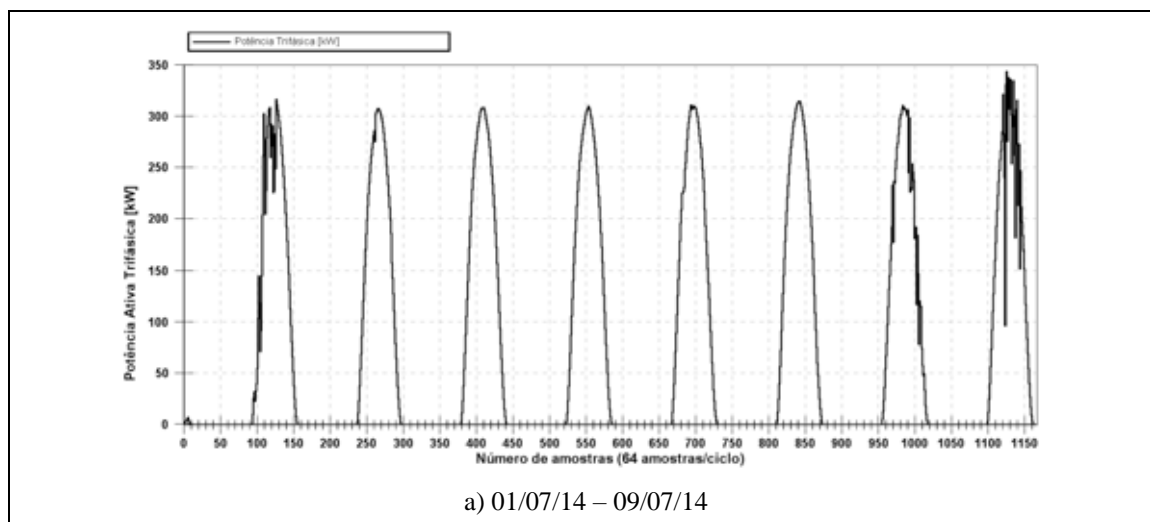
Faz-se necessário um estudo específico para os instantes de baixa potência, no qual é possível utilizar um sensor de corrente de maior precisão para baixas correntes, de forma a quantificar com maior exatidão os valores de correntes harmônicas, afim de melhor avaliar os altos valores de DHTi (%).

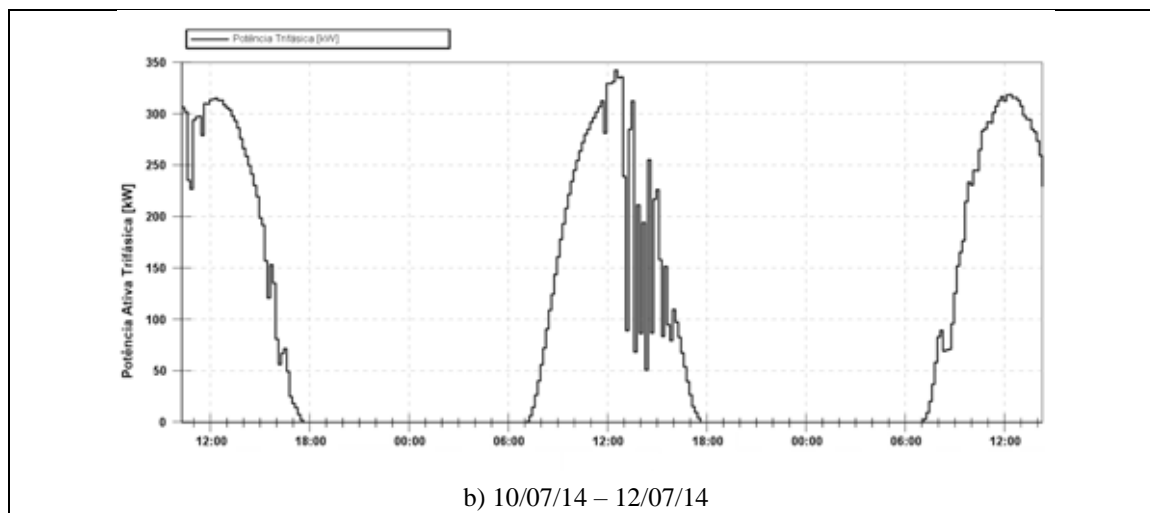
2.2.5 Análises das Potências

Potência ativa

O comportamento da potência ativa monitorada é elucidado pela Figura 45. Na Tabela 16 e Tabela 17 é apresentado o resumo do comportamento da potência ativa para os dois períodos de monitoramento, respectivamente.

Figura 45 – Perfil da potência ativa trifásica no quadro QDCA-1.





Fonte: Wendell William Teixeira

Tabela 16 – Valores máximo, mínimo, médio e desvio padrão da potência ativa trifásica, 01/07/14 – 09/07/14 quadro QDCA-1.

Potência Ativa	P_T [KW]
Máximo	343,60
Mínimo	-0,3
Médio	78,24
Desvio padrão	114,76

Fonte: Wendell William Teixeira

Tabela 17 – Valores máximo, mínimo, médio e desvio padrão da potência ativa trifásica, 10/07/14 – 12/07/14 quadro QDCA-1.

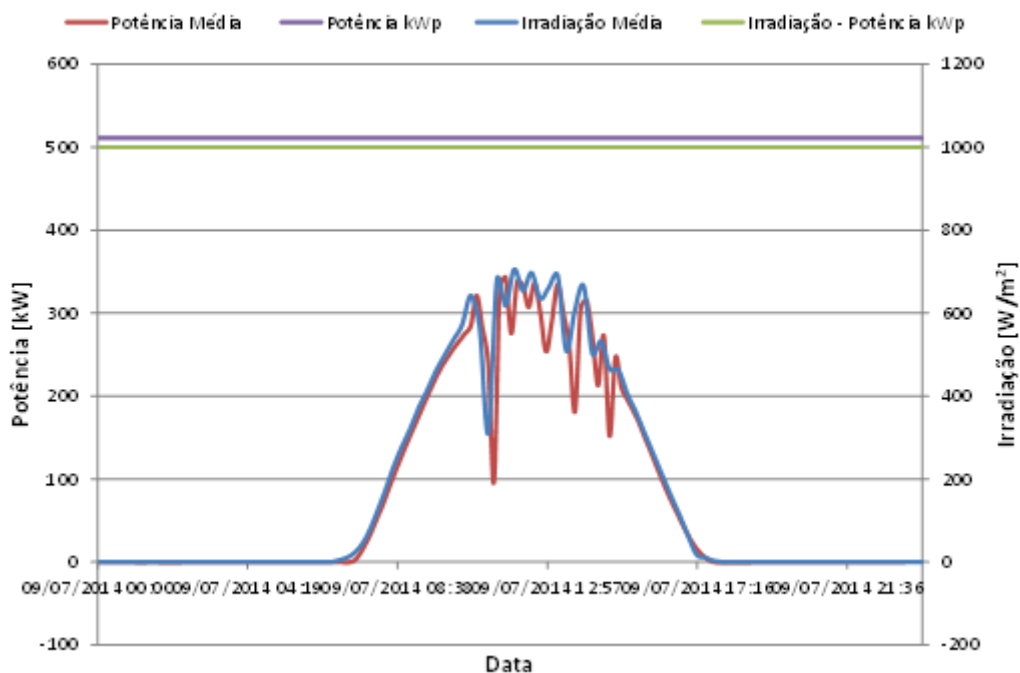
Potência Ativa	P_T [KW]
Máximo	342,30
Mínimo	-0,3
Médio	93,91
Desvio padrão	123,76

Fonte: Wendell William Teixeira

A potência máxima totalizada no QDCA-1 é de 511 kWp, isto para uma irradiação de 1000 w/m². A máxima potência registrada considerando os dois períodos de monitoramento foi de 343,60 kW, registrada o dia 09/07/14 às 11h45.

A Figura 46 apresenta a curva de irradiação solar no local e a curva de potência no dia 09/07/14.

Figura 46 - Curva de irradiação solar e potencia registrada, QDCA-1 09/07/2014



Fonte: Wendell William Teixeira

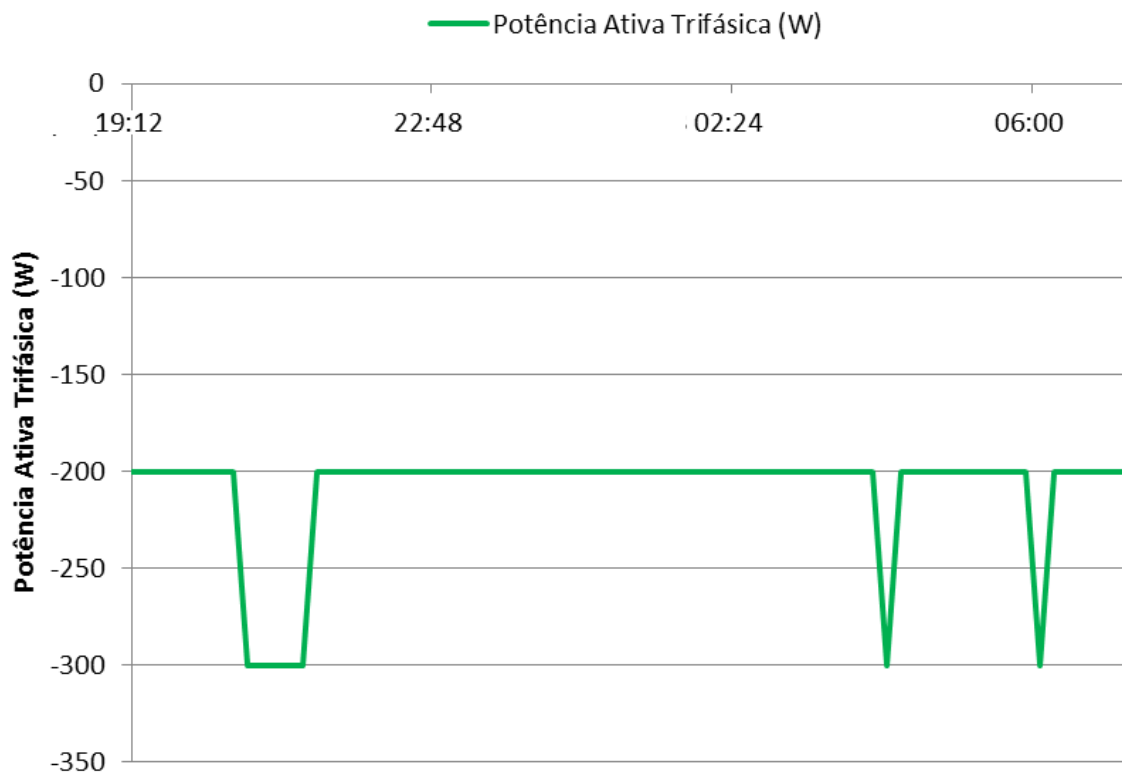
Observa-se que a curva de potencia registrada no Quadro QDCA-1 apresenta um comportamento similar à curva de irradiação solar. Além disso, a máxima insolação registrada no dia foi menor que a insolação de 1000 W/m² o que explica o porquê a produção foi menor que a máxima prevista para o conjunto de painéis (511 kWp).

A máxima potência registrada, 343,6 kW, equivale ao 67,2% de sua capacidade máxima. A irradiação média máxima nesse dia foi de 705,76 W/m² equivalente ao 70,6% da irradiação de 1000 W/m² usada para o cálculo da potencia pico máxima.

Como a temperatura influi diretamente no rendimento dos painéis, faz-se necessário supervisionar este aspecto, que não foi abordado no presente estudo, além das perdas ao longo do sistema.

A potência mínima registrada foi de - 0,3 kW, sinal negativo que indica consumo de potência pelos inversores no período da noite. Na Figura 47 apresenta-se o perfil de potência durante o período das 19h00 às 7h00.

Figura 47 – Perfil de potência no período de 01/07/14 19h00 : 02/07/14 06:00, quadro QDCA-1



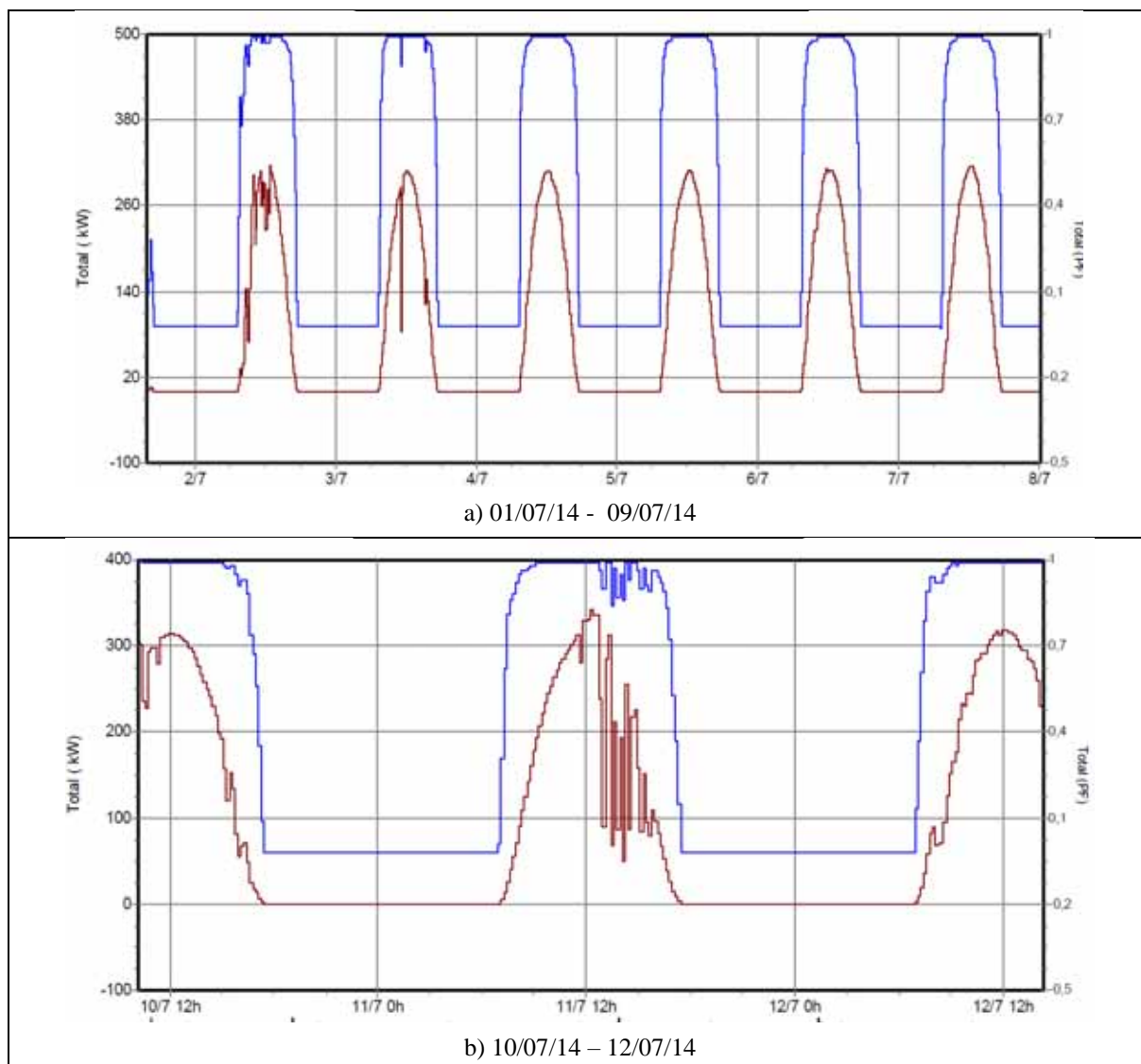
Fonte: Wendell William Teixeira

Fator de Potencia

A Figura 48 apresenta o comportamento do fator de potência e da potência ativa trifásica durante os períodos de monitoramento, 01/07/14 a 09/07/14, e 10/07/14 a 12/07/14.

Na Tabela e 18 e 19 estão apresentados os resumos das análises para os dois períodos de monitoramento, 01/07/14 a 09/07/14, e 10/07/14 a 12/07/14.

Figura 48 – Fator de Potência e perfil de potência ativa trifásica, quadro QDCA-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

Tabela 18 – Valores máximos, mínimos e médios do fator de potência, 01/07/14 a 09/07/14, quadro QDCA-1.

FP	FP _T
Máximo	1,00
Mínimo	-0,03
Média	0,38
Desvio padrão	0,47

Fonte: Wendell William Teixeira

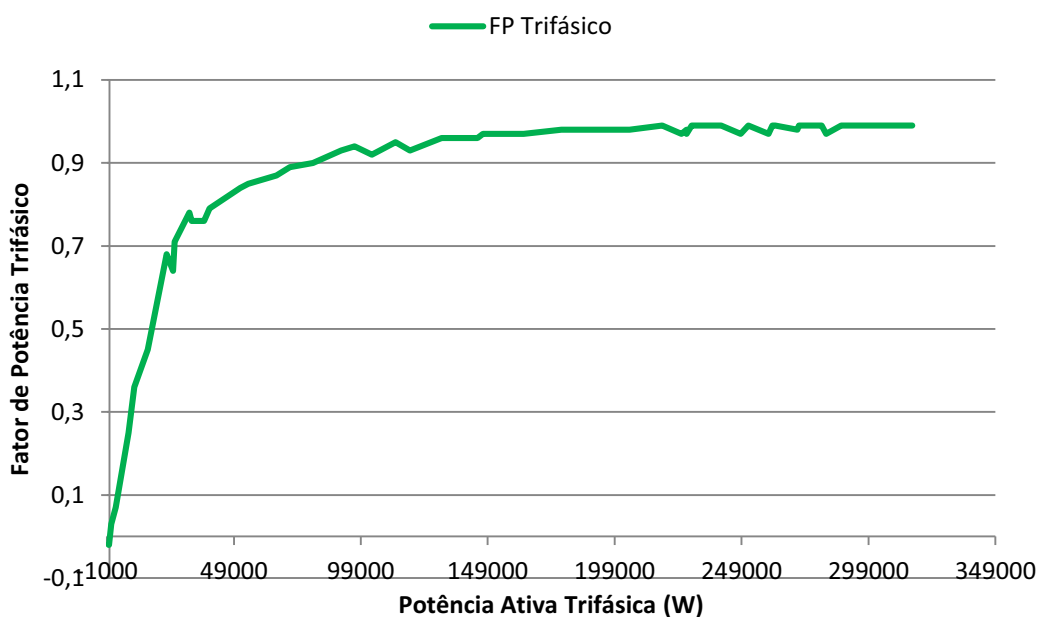
Tabela 19 – Valores máximos, mínimos e médios do fator de potência, 01/07/14 a 09/07/14, quadro QDCA-1.

FP	FP _T
Máximo	1,00
Mínimo	-0,02
Média	0,43
Desvio padrão	0,48

Fonte: Wendell William Teixeira

O máximo valor de fator de potencia medido foi de 1. O valor mínimo encontrado foi de $-0,02$. A Figura 49 apresenta a variação do fator de potência em função da variação da potência ativa monitorada no QDCA-1, para um período específico de 12h00.

Figura 49 – Variação do fator de potência em função da potência ativa no quadro QDCA-1.

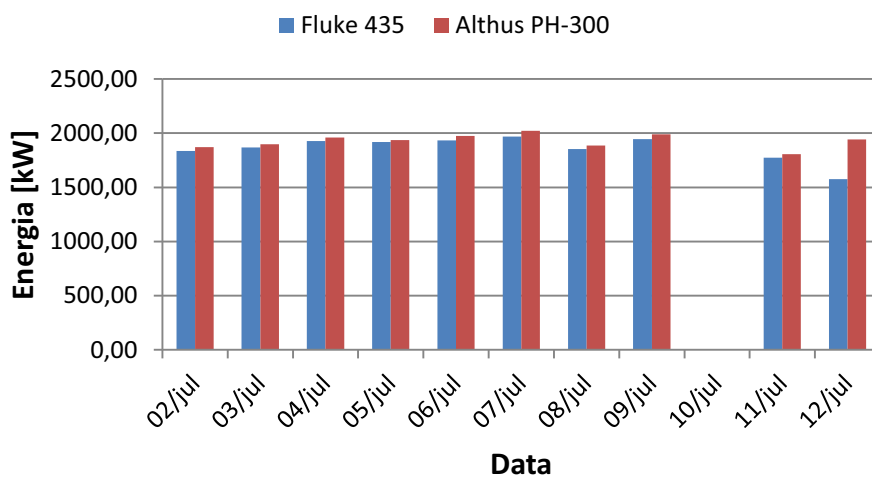


Fonte: Wendell William Teixeira

2.2.6 Energia gerada

A Figura 50 apresenta a curva de energia diária produzida durante os dois períodos de monitoramento.

Figura 50 – Energia diária gerada, monitorada no quadro QDCA-1.

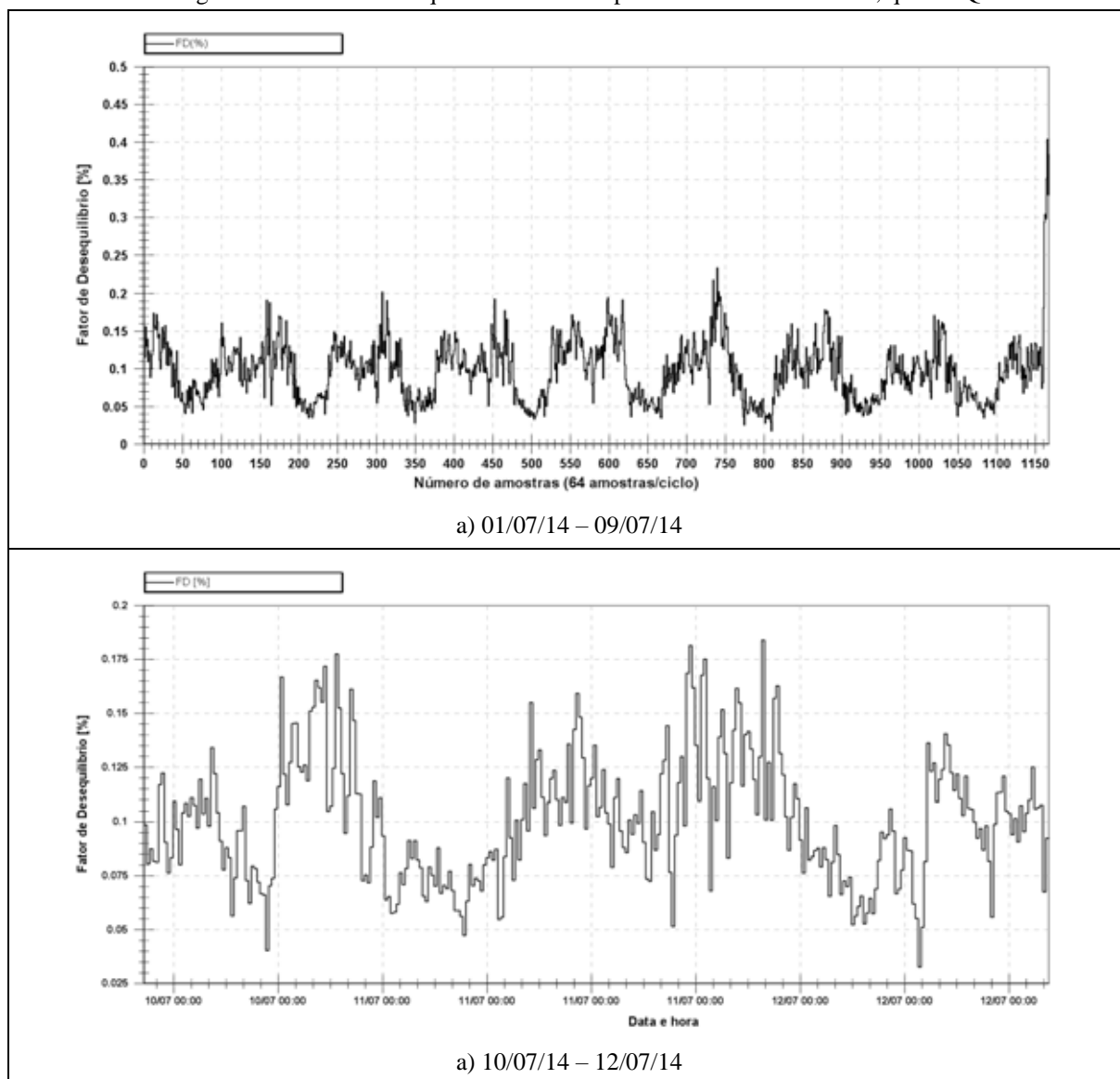


Fonte: Wendell William Teixeira

2.2.7 Desequilíbrio de tensão

A Figura 51 apresenta o fator de desequilíbrio de tensão para os dois períodos de monitoramento, após extração de dados. Os resumos das medições apresenta-se nas Tabelas 20 e 21.

Figura 51 - Fator de desequilíbrio durante o período de monitoramento, quadro QDCA-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

Tabela 20 – Valores máximos, mínimos e médios do fator de desequilíbrio, 01/07/14 – 09/07/14 quadro QDCA-1.

	FD [%]
Máximo	0,40
Mínimo	0,02
Médio%	0,10
Desvio padrão	0,04

Fonte: Wendell William Teixeira

Tabela 21 – Valores máximos, mínimos e médios do fator de desequilíbrio, 10/07/14 – 12/07/14 quadro QDCA-1.

	FD [%]
Máximo	0,18
Mínimo	0,03
Médio%	0,10
Desvio padrão	0,03

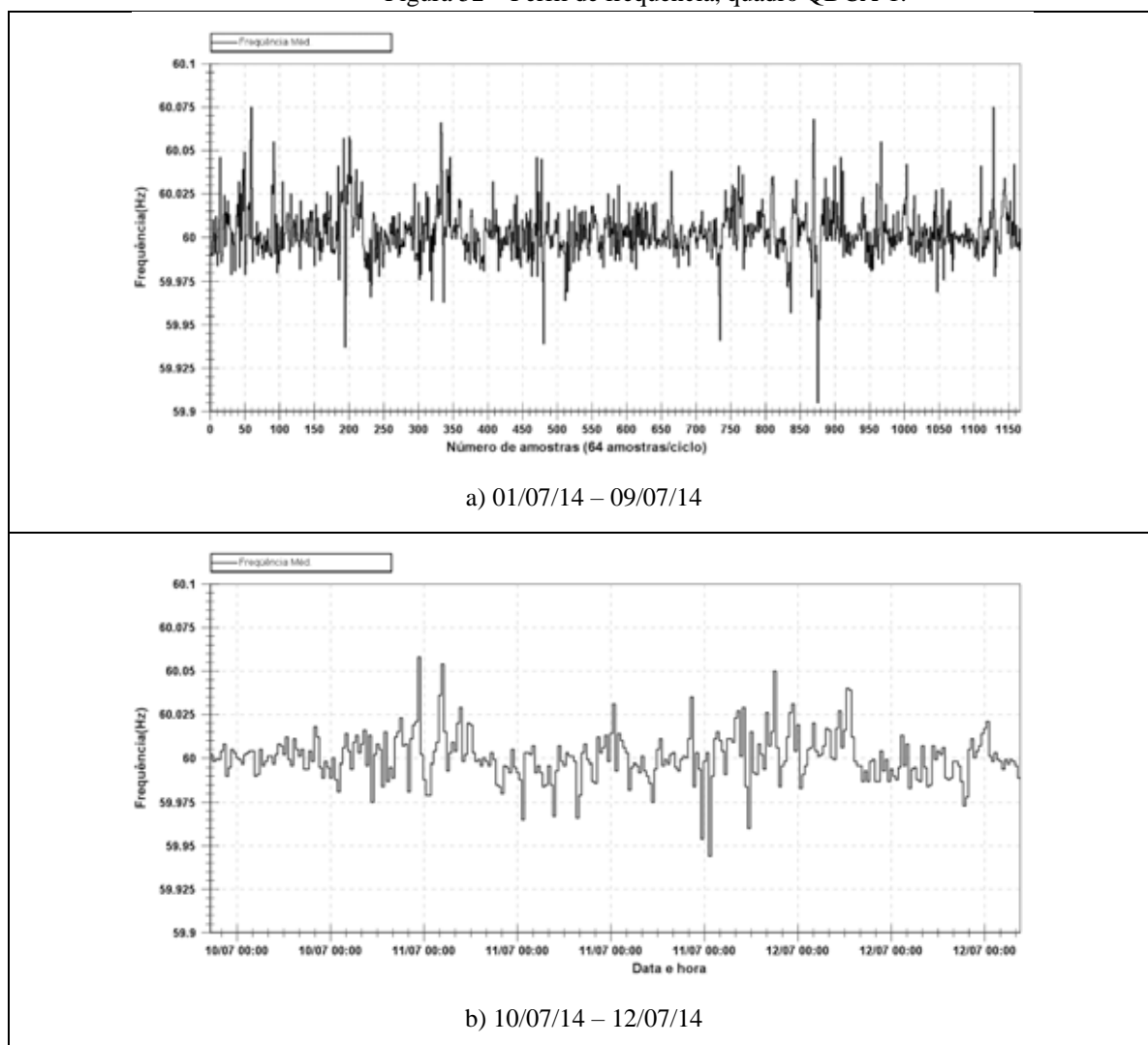
Fonte: Wendell William Teixeira

O valor máximo do fator de desequilíbrio foi de 0,40%.

2.2.8 Variação de Frequência

Na Figura 52 apresenta-se os perfis de frequência no quadro QDCA-1, para os dois períodos de monitoramento.

Figura 52 – Perfil de frequência, quadro QDCA-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

Foram extraídas as informações sobre os níveis máximos, mínimos, médios, desvio padrão e P95% para a frequência monitorada. As Tabelas 22 e 23 fornecem uma síntese da monitoração destacada.

Tabela 22 – Valores máximos, mínimos e médios de frequência, 01/07/14 – 09/07/14, quadro QDCA-1.

Frequência [Hz]	
Máximo	60,7
Mínimo	59,90
Médio%	60,00
Desvio padrão	0,01

Fonte: Wendell William Teixeira

Tabela 23 – Valores máximos, mínimos e médios de frequência, 01/07/14 – 09/07/14, quadro QDCA-1.

Frequência [Hz]	
Máximo	60,06
Mínimo	59,94
Médio%	60,00
Desvio padrão	0,01

Fonte: Wendell William Teixeira

2.2.9 Análises de Variações de Tensão de Curta Duração

A Tabela 24 descreve os eventos registrados durante os dois períodos de monitoração do quadro QDCA-1.

Os eventos são classificados em Dip (Afundamento), Swell (Elevação), e Interrupção de tensão.

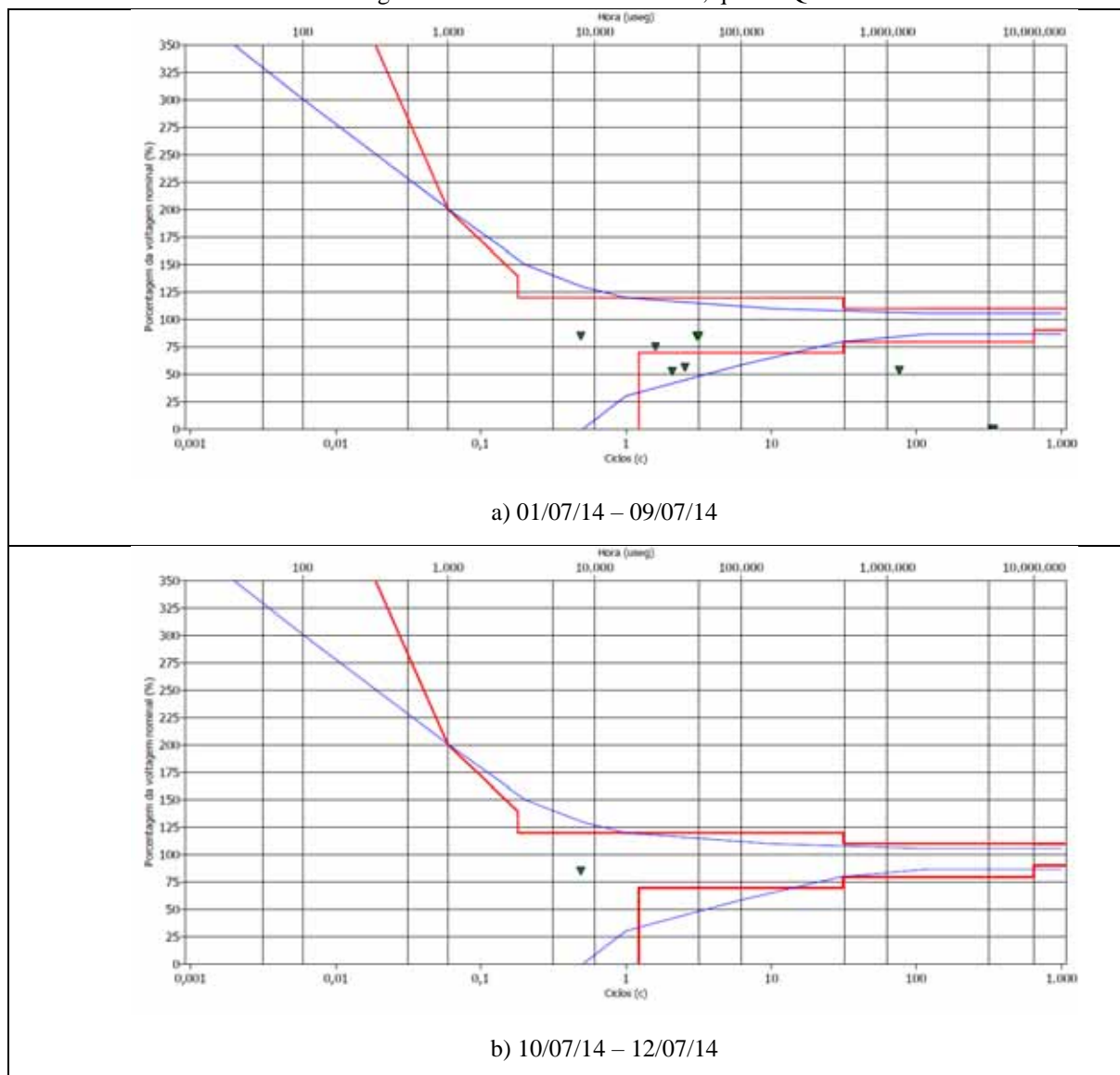
Tabela 24 – VTCDs registrados no quadro QDCA-1

Data	Hora	Duração t[ms]	Tipo	Fase A (V)	Fase B (V)	Fase C (V)
01/07/2014	11:01:05	0m.4s.937ms.	Interrupção	--	0	--
01/07/2014	11:01:11	4h.44m.4s.	Interrupção	--	0	--
01/07/2014	15:48:49	0m.0s.8ms.	Dip	--	196,4	--
03/07/2014	11:08:07	0m.4s.869ms.	Interrupção	0	--	--
03/07/2014	11:08:14	6m.23s.488ms.	Interrupção	--	0	--
03/07/2014	15:10:31	1m.42s.56ms.	Interrupção	--	--	0
07/07/2014	15:08:02	0m.0s.26ms.	Dip	--	--	172,4
08/07/2014	04:08:20	0m.0s.51ms.	Dip	--	--	195,7
08/07/2014	04:10:57	0m.0s.50ms.	Dip	--	--	195,3
08/07/2014	12:20:19	0m.0s.41ms.	Dip	--	129,2	--
09/07/2014	17:22:39	0m.0s.34ms.	Dip	--	122,4	--
09/07/2014	18:35:58	0m.1s.199ms.	Dip	--	124,3	--
10/07/2014	17:53:49	0m.0s.8ms.	Dip	196,1	--	--

Fonte: Wendell William Teixeira

Na Figura 53 estão elucidados os eventos registrados em cada fase, bem como indicados quais desses estão nas regiões com probabilidade de dano de equipamentos eletrônicos, segundo a curva ITIC.

Figura 53 – Eventos na curva ITIC, quadro QDCA-1



Fonte: Wendell William Teixeira

Os eventos VTCDs que se enquadram fora dos limites da curva ITIC, que apresentam probabilidade de danificar equipamentos eletrônicos sensíveis, estão elucidados na Tabela 25.

Tabela 25 – VTCDs fora dos limites da curva ITIC, quadro QDCA-1

Data	Hora	Duração t[ms]	Tipo	Fase A (V)	Fase B (V)	Fase C (V)
01/07/2014	11:01:05	0m.4s.937ms.	Interrupção	--	0	--
01/07/2014	11:01:11	4h.44m.4s.	Interrupção	--	0	--
03/07/2014	11:08:07	0m.4s.869ms.	Interrupção	0	--	--
03/07/2014	11:08:13	6m.23s.488ms.	Interrupção	--	0	--
03/07/2014	15:10:31	1m.42s.56ms.	Interrupção	--	--	0
08/07/2014	12:20:19	0m.0s.41ms.	Dip	--	129,2	--
09/07/2014	17:22:39	0m.0s.34ms.	Dip	--	122,4	--
09/07/2014	18:35:58	0m.1s.199ms.	Dip	--	124,3	--

2.3 QUADRO QGBT - 1

2.3.1 Especificações técnicas de inversor Ingecon Power Max – 275 Vac – 500 kW e do painel YL 280P-35b

Na Quadro 6 e na Quadro 7 são apresentadas as informações técnicas do inversor Ingecon Power Max – 275 Vac – 500 kW, e do painel solar YL 280 P-35b, respectivamente, relevantes para o estudo.

Quadro 6– Especificações técnicas inversor Ingecon Power Max – 275 Vac

DADOS DE ENTRADA	
Faixa de potência recomendada	508,4 – 669,5 KWP
Corrente contínua máxima ($I_{DC\ max}$)	1.170 A
Faixa de tensão contínua de entrada (V_{DC})	460 – 820 V
Tensão máxima de entrada ($V_{DC\ max}$)	1000 V
DADOS DE SAÍDA	
Potência nominal de saída AC ($P_{AC,r}$)	500 KW
Potência aparente máxima de saída	500 KVA
Corrente máxima de saída	1.050 A
Tensão nominal de saída (V_{AC})	275 V
Frequência nominal (f_r)	50 / 60 Hz
Fator de Distorção	< 3%
Fator de Potência ($FP_{AC,r}$)	1
INFORMAÇÕES GERAIS	
Eficiência Máxima	98,3 %
Consumo de potência noturno	90 W
Classe de proteção	NEMA 3R

Fonte: Wendell William Teixeira

Quadro 7– Especificações técnicas do painel solar YL 280 P-35b

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS	CONDIÇÕES PADRÃO DE TESTE (1000 W/M2. 25°)
Potência nominal (P_{MPP})	280 W
Tensão no ponto P_{MPP} (V_{MPP})	35,5 V
Corrente no ponto P_{MPP} (I_{MPP})	7,89 A
Tensão de circuito aberto (V_{OC})	45 V
Corrente de curto circuito (I_{SC})	8,35 A
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO	
Tensão máxima do sistema	1000 VDC
Temperatura de operação	-40 a 85 °C

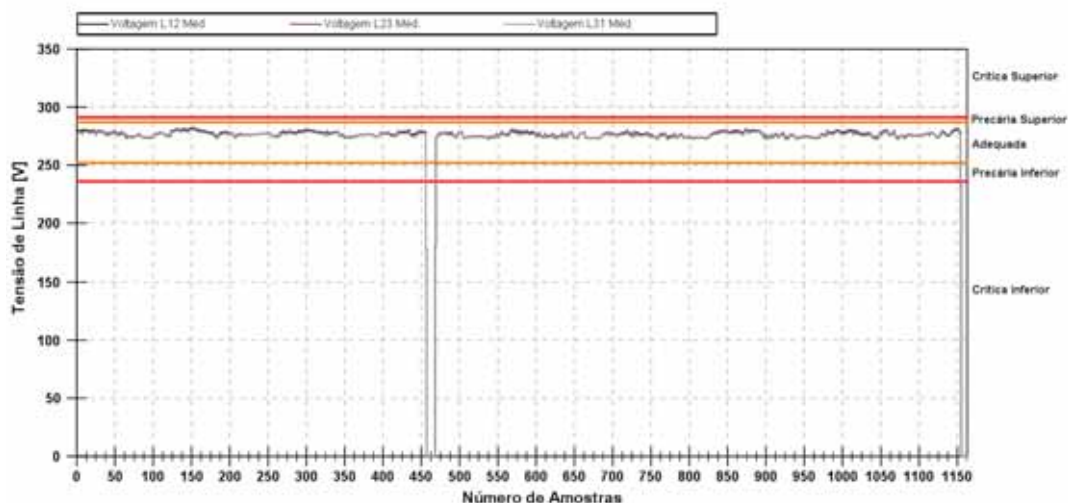
Fonte: Wendell William Teixeira

2.3.2 Tensão em regime permanente

Os perfis das tensões eficazes das 3 fases, coletados durante o período de monitoramento, estão elucidados na Figura 54.

A conexão do inversor Ingecon Power Max com a rede é feita via conexão em estrela sem neutro, desta forma somente foram adquiridos dados das tensões de linha neste ponto.

Figura 54 – Perfil das tensões eficazes na saída do QGBT-1 durante o período monitorado



Fonte: Wendell William Teixeira

Para a análise das tensões em regime permanente, foram extraídos os dados dos períodos em que ocorreram interrupções de energia e dos períodos contendo a agregação de dados de Variação de Tensão de Curta Duração. Na Quadro 8 estão consolidados os dados contendo os períodos em que ocorreram interrupções de energia, e igualmente indicado se tais interrupções foram

registradas pelo logger do inversor Ingecon e/ou pelo sistema de monitoramento do Smart Integration.

Quadro 8– Interrupções de energia, quadro QGBT-1

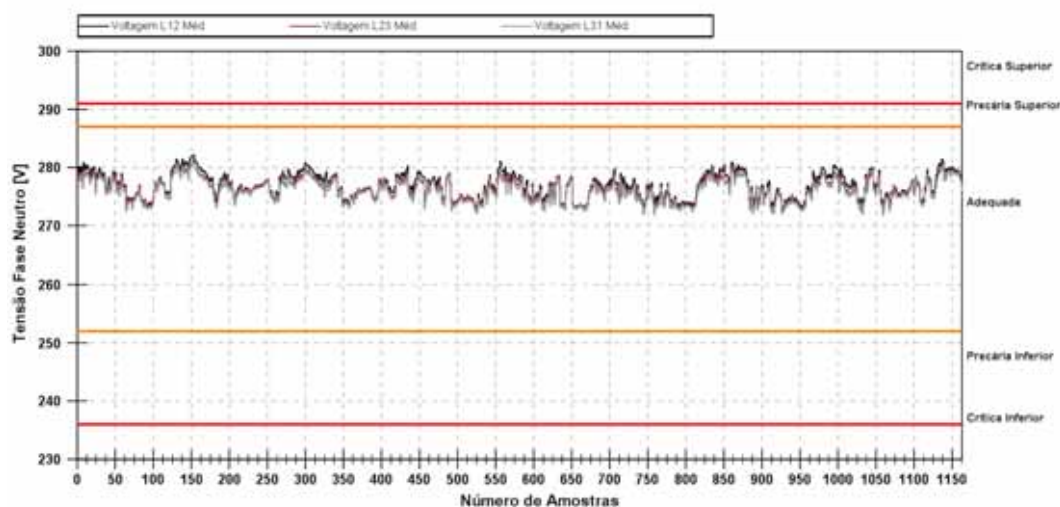
Interrupção	Data Hora	Identificados pelo Sistema de Monitoramento da usina
1	Início	09/09/2014 16:06:50
	Término	09/09/2014 16:06:54
2	Início	09/09/2014 16:06:56
	Término	09/09/2014 18:08:21
3	Início	14/09/2014 12:29:42
	Término	14/09/2014 14:06:07

Fonte: Wendell William Teixeira

Durante o período de monitoramento (06/09 – 14/09) aconteceram 3 interrupções, registradas no quadro QGBT-1.

A Figura 55 apresenta as tensões eficazes de linha fases AB, BC e CA consideradas para análise das tensões em regime permanente.

Figura 55 – Perfil de tensões eficazes, quadro QGBT-1 para análise em regime permanente.



Fonte: Wendell William Teixeira

Foram extraídas as informações sobre os níveis máximos, mínimos, médios, desvios padrões e P95% para as tensões monitoradas. A Tabela 26 fornece uma síntese da monitoração destacada.

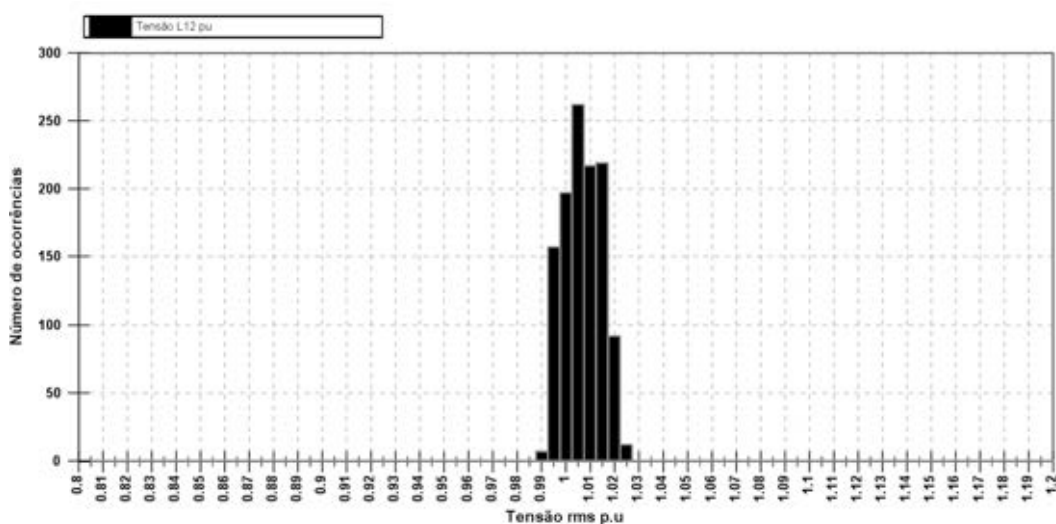
Tabela 26 – Valores máximos, mínimos, médios e desvios padrões das tensões RMS, quadro QGBT-1.

	Tensão AB [V]	Tensão BC [V]	Tensão CA [V]
Máximo	282,15	281,38	280,89
Mínimo	272,65	272,02	271,74
Média	276,87	276,30	275,98
Desvio Padrão	2,09	1,93	1,91
P95%	280,14	279,26	279,02

Fonte: Wendell William Teixeira

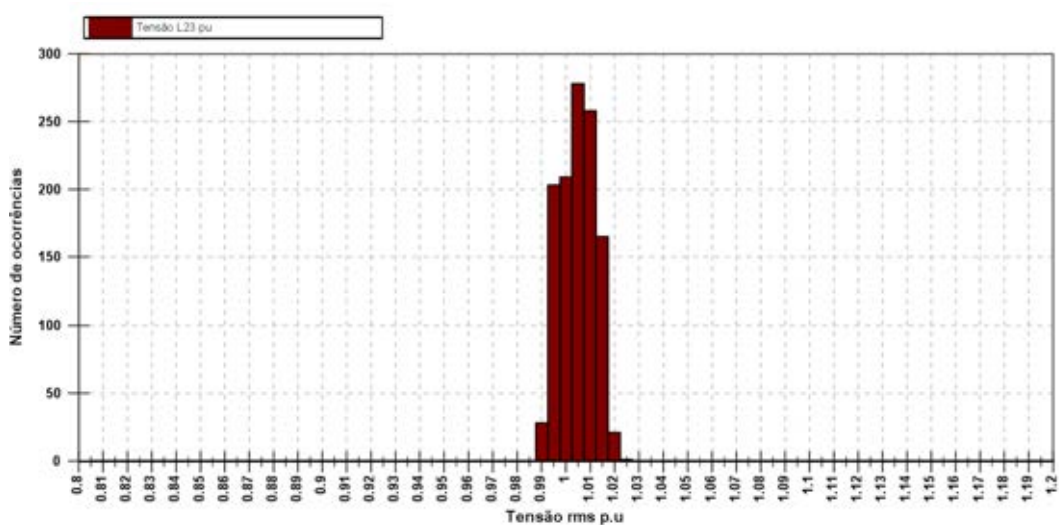
Para uma análise mais detalhada, é apresentado o histograma da tensão de cada fase, conforme as Figuras 56, 57 e 58.

Figura 56 – Histograma de tensão da fase AB, quadro QGBT-1.



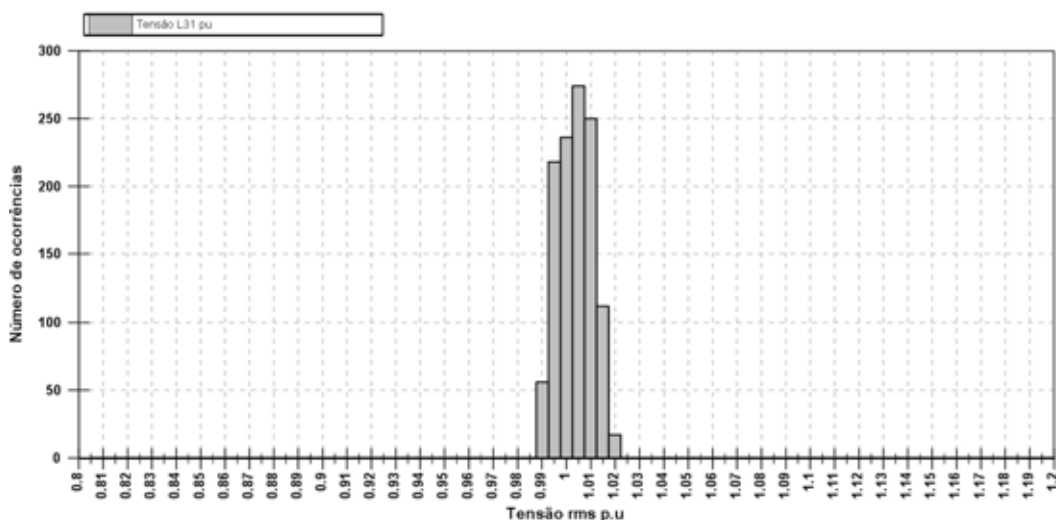
Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 57 – Histograma de tensão da fase BC, quadro QGBT-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 58 – Histograma de tensão da fase CA, quadro QGBT-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

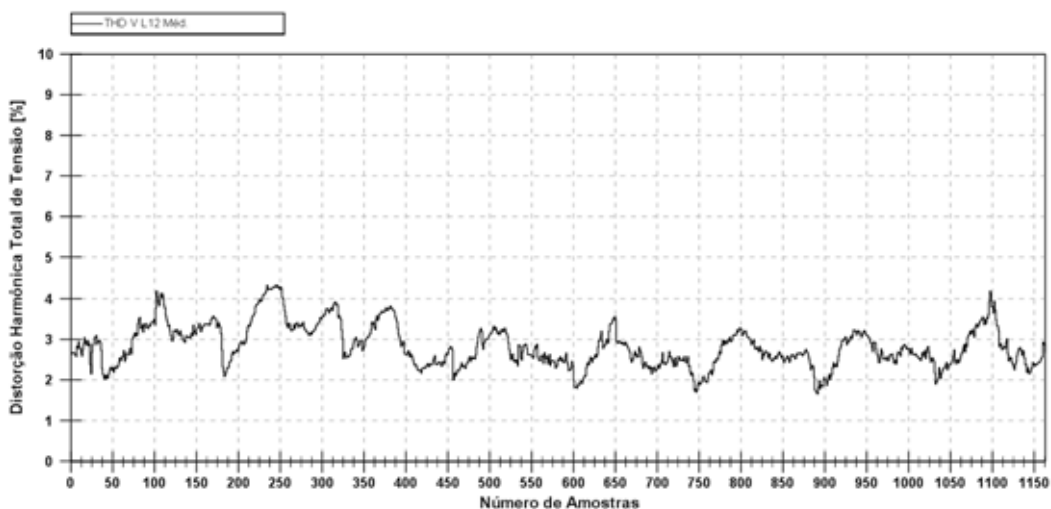
Baseado nos dados obtidos durante o período de monitoramento, a tensão no barramento do quadro QGBT-1 se enquadrou dentro dos limites da região adequada. As análises dos histogramas mostram que os valores de tensão predominantes nas três fases ocupam o intervalo 1,00 – 1,01 pu, em relação à Vlinha nominal do barramento de 275V.

2.3.3 Distorção harmônica total de tensão (DHTv %)

As Figuras 59, 60 e 61 elucidam o comportamento dos perfis de distorção harmônica total das tensões fase-neutro monitoradas entre 06/09/14 e 14/09/14 para o barramento do quadro QGBT-1. Nesta análise foram extraídos os dados dos períodos em que ocorreram interrupções de energia e dos períodos contendo a agregação de dados de Variação de Tensão de Curta Duração. O eixo das ordenadas (vertical), indica o valor percentual da distorção ocorrida, em relação ao correspondente valor fundamental.

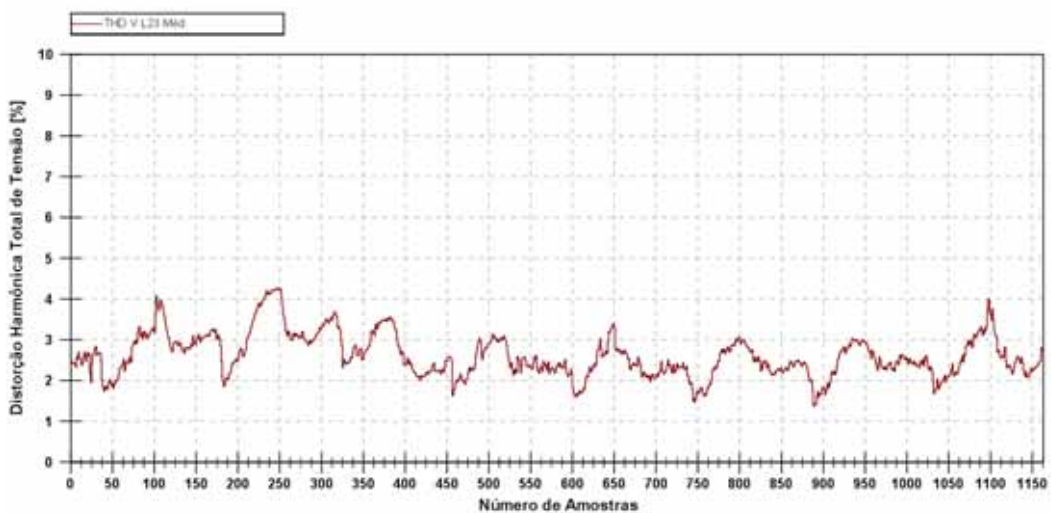
O limite para os níveis de distorção harmônica de tensão apresentados no PRODIST Módulo 8 é de 10% em relação ao valor fundamental, e segundo a norma IEEE 1547 o limite para este quesito é de 5%. Observa-se, a partir das Figuras 59, 60 e 61, que durante todo o período de monitoramento ambos os limites são respeitados, indicando a conformidade com ambas as normas.

Figura 59 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase AB, quadro QGBT-1.



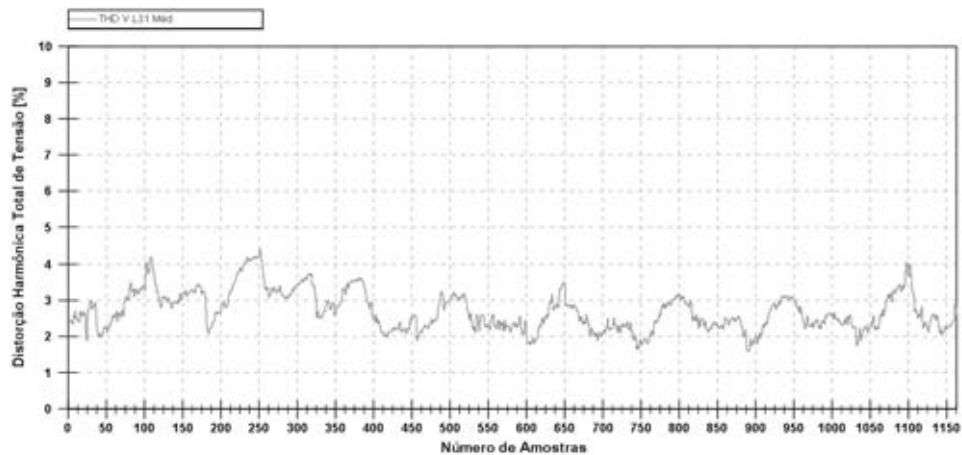
Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 60 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase BC, quadro QGBT-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 61 – Perfil das distorções harmônicas totais de tensão da fase CA, quadro QGBT-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

A partir das Figura 59, 60 e 61, extraíram-se as informações pertinentes aos níveis máximos, mínimos, médios, desvios padrões e P95% para as distorções totais encontradas. A Tabela 27 fornece uma síntese dessa monitoração.

Tabela 27 – Valores máximos, mínimos, médios, P95% e desvios padrões das DHT de tensão, quadro QGBT-1.

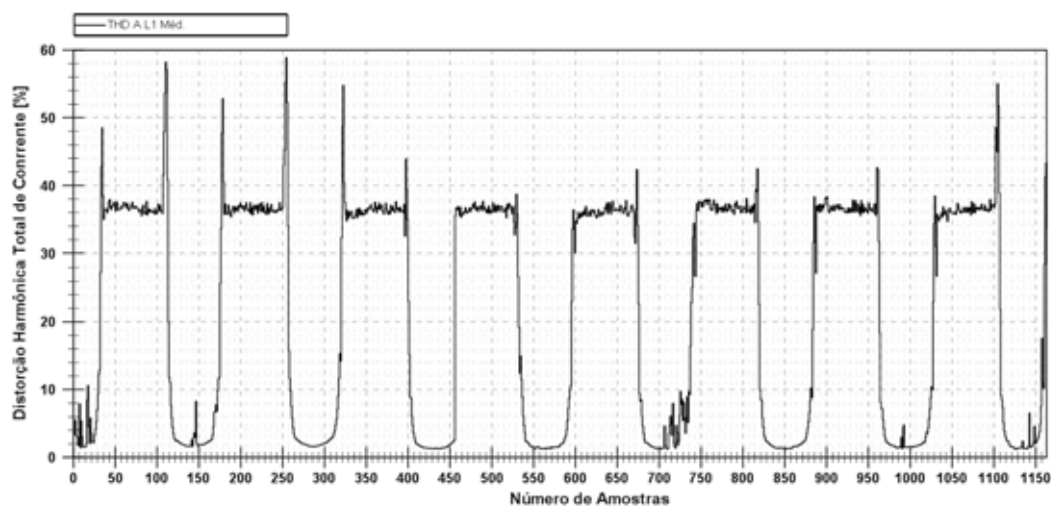
	DHTv AB [%]	DHTv BC [%]	DHTv CA [%]
Máximo	4,34	4,26	4,42
Mínimo	1,66	1,37	1,59
Média	2,82	2,61	2,70
Desvio Padrão	0,51	0,53	0,54
P95%	3,79	3,56	3,69

Fonte: Wendell William Teixeira

2.3.4 Distorção harmônica total de corrente (DHTi %)

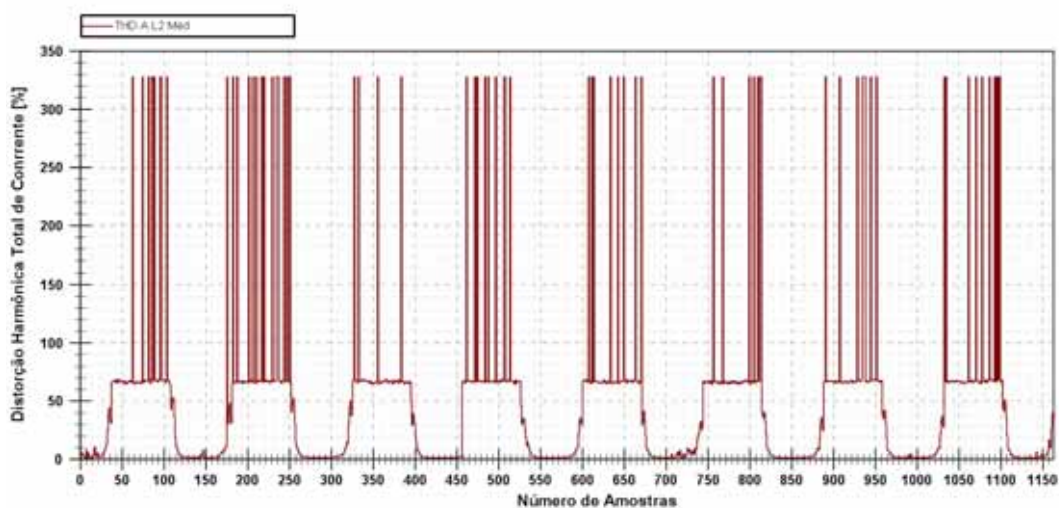
As Figuras 62, 63 e 64, elucidam o comportamento dos perfis de distorção harmônica total das correntes monitoradas entre 06/09/14 e 14/09/14 para o barramento do quadro QDCA-3. Nesta análise foram extraídos os dados dos períodos em que ocorreram interrupções de energia e dos períodos contendo a agregação de dados de Variação de Tensão de Curta Duração. O eixo das ordenadas (vertical), indica o valor percentual da distorção ocorrida, em relação ao correspondente valor fundamental.

Figura 62 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase A, quadro QGBT-1.



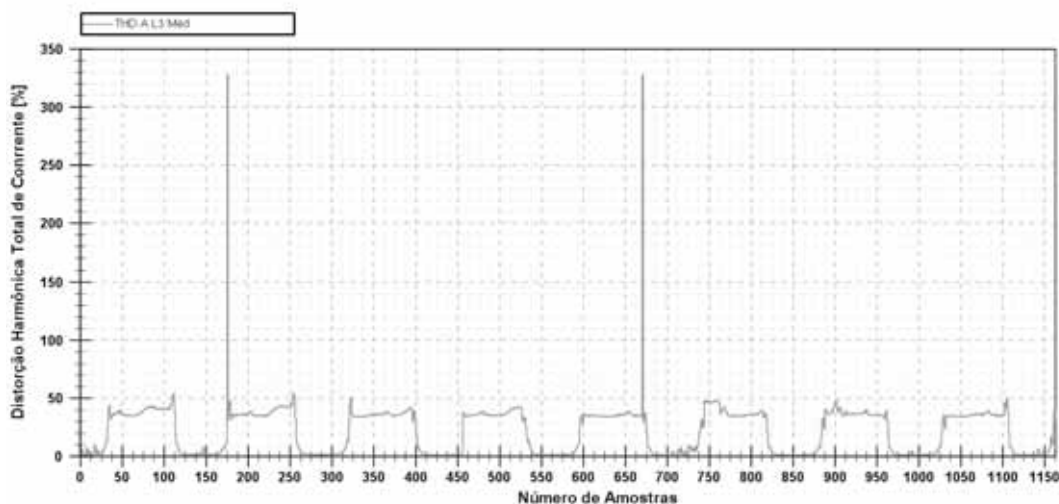
Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 63 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase B, quadro QGBT-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

Figura 64 – Perfil das distorções harmônicas totais de corrente da fase C, quadro QGBT-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

A partir das Figura 62, 63 e 64, extraíram-se as informações pertinentes aos níveis máximos, mínimos, médios, desvios padrões e P95% para as distorções totais encontradas. A Tabela 28 fornece uma síntese dessa monitoração.

Tabela 28 – Valores máximos, mínimos, médios, P95% e desvios padrões das DHT de corrente, quadro QGBT-1.

	DHTi L1 [%]	DHTi L2 [%]	DHTi L3 [%]
Máximo	58,87	327,67	327,67
Mínimo	1,20	0,98	1,13
Média	21,87	52,65	22,41
Desvio Padrão	16,83	77,15	21,33
P95%	37,66	327,67	42,54

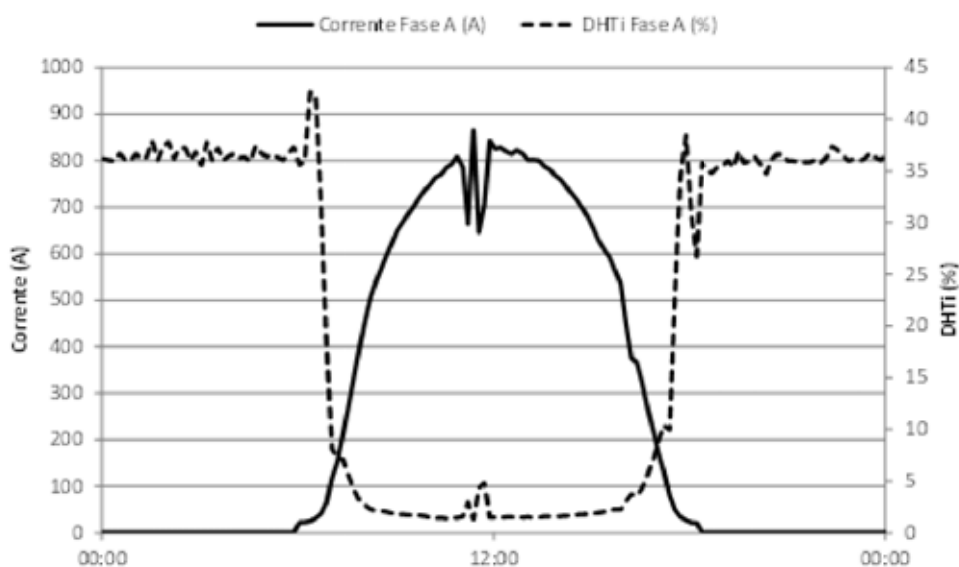
Fonte: Wendell William Teixeira

O módulo 8 do PRODIST, que é a norma a ser obedecida, não estabelece um limite máximo de distorção harmônica total de corrente. A norma IEEE 1547 estabelece o limite máximo de 5%.

A distorção máxima registrada foi de aproximadamente 330% e a mínima próxima a 1%, valores superiores ao limite da IEEE 1547.

A curva de distorção harmônica total de corrente e a curva da potência ativa monitoradas na fase A são elucidadas na Figura 65, para uma melhor análise dos altos valores de DTHi encontrados. O comportamento das fases B e C é semelhante ao apresentado para a fase A.

Figura 65 – Curva de DHTi e Corrente dia 13/09/2014, quadro QGBT-1.

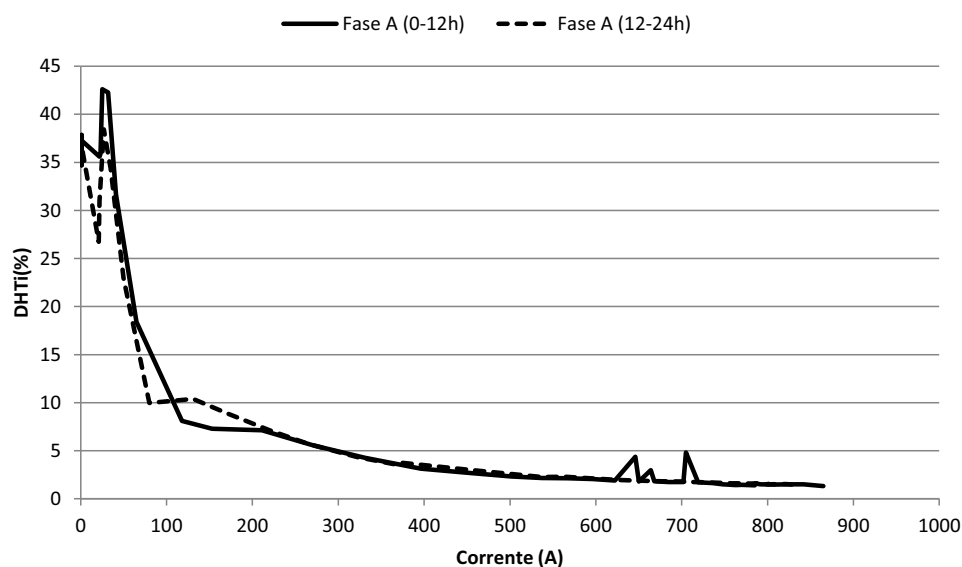


Fonte: Wendell William Teixeira

Os valores máximos de DHTi são observados nos horários em que a variação da potência em relação ao tempo, na saída do inversor, apresenta seu maior valor, ou seja, no instante em que os painéis fotovoltaicos começam a fornecer potência ou deixam de fornecer, seguindo o comportamento da radiação solar diária e as intermitências causadas pela passagem de nuvens.

A Figura 66 elucidada a variação da DHTi da fase A, como função da corrente eficaz monitorada. São apresentadas duas curvas, uma considerando os valores entre 0 e 12 horas, e a outra entre as 12 e as 24 horas. O comportamento das fases B e C são semelhantes ao apresentado para a fase A.

Figura 66 – DHTi função da corrente, quadro QGBT-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

Para o quadro QGBT-1, observa-se que a partir do instante em que os painéis fotovoltaicos começam a fornecer potência ativa, a distorção harmônica total de corrente diminui com o aumento da corrente gerada. O comportamento das fases B e C são similar ao comportamento da fase A.

O comportamento de geração harmônica acima apresentado é encontrado na literatura técnica (CRITES, 2012; SO, 2006; EPE, 2012) com valores de picos de distorção harmônica de corrente entre 60% e 120%. Considerando que os máximos valores de DHTi (%) medidos para o quadro QGBT-1 foram em instantes de baixa corrente, estes não representam grandes prejuízos para o sistema. Também vale ressaltar que a precisão dos sensores de correntes para baixas correntes é limitada, uma vez que a potência do quadro QGBT-1 é de 500 kW, e, portanto, foi utilizado uma escala maior no sensor de corrente.

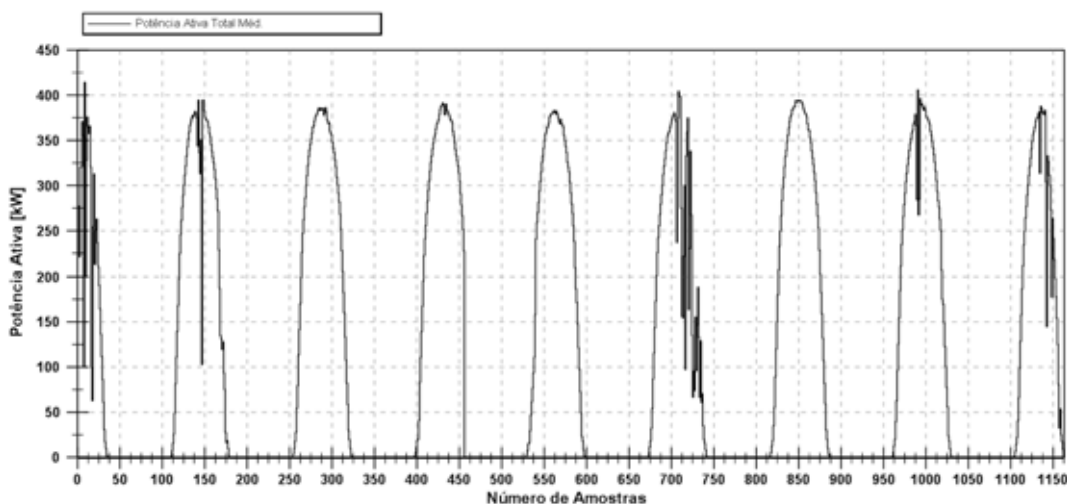
Faz-se necessário um estudo específico para os instantes de baixa potência, no qual é possível utilizar um sensor de corrente de maior precisão para baixas correntes, de forma a quantificar com maior exatidão os valores de correntes harmônicas, afim de melhor avaliar os altos valores de DHTi (%).

2.3.5 Análises das Potências

Potência ativa

A Figura 67 apresenta o comportamento da potência ativa registrada para o período dos dias 06/09/14 a 14/09/14.

Figura 67 – Perfil da potência ativa trifásica no quadro QGBT-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

Na Tabela 29 é apresentado o resumo do comportamento da potência ativa para todo período de medição.

Tabela 29 – Valores máximo, mínimo, médio, desvio padrão e P95% da potência ativa trifásica, quadro QGBT-1.

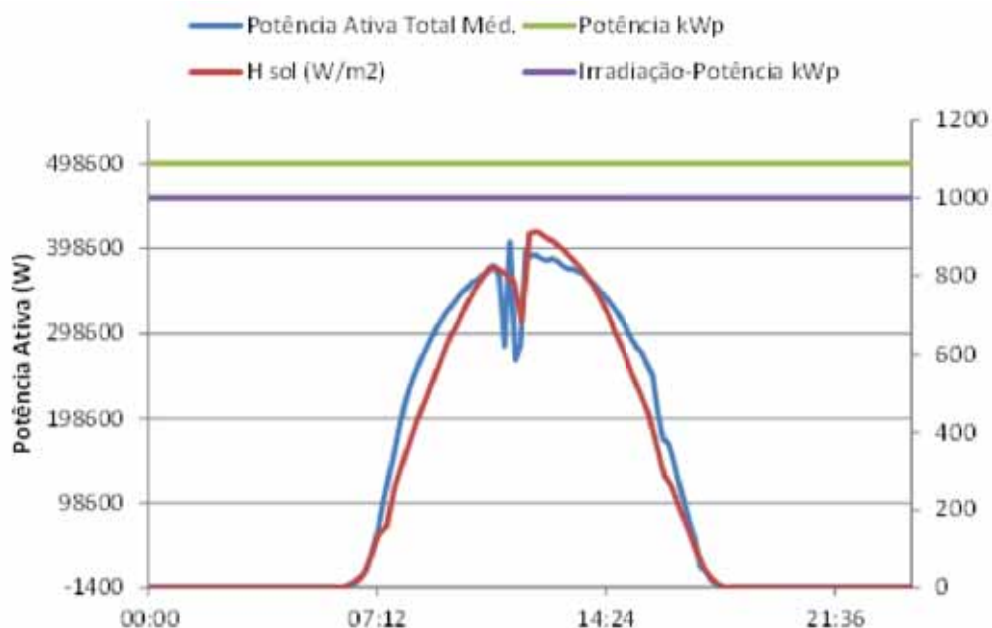
Potência Ativa Total [kW]	
Máximo	414,15
Mínimo	-1,30
Média	121,75
Desvio Padrão	154,42
P95%	380,85

Fonte: Wendell William Teixeira

A potência máxima totalizada no QGBT-1 é de 498,9 kWp, isto para uma irradiação de 1000 w/m². A máxima potência registrada durante o período de monitoramento foi de 414,15 kW, registrado no dia 06/09/14 às 13h32.

A Figura 68 apresenta a curva de irradiação solar no local e a curva de potência no dia 13/09/14, uma vez que a medição no dia 06/09/14 não representa um dia completo, e a segunda maior potência registrada foi de 405,7 kW no dia 13/09/2014, as 11h22.

Figura 68 – Curva de irradiação solar e potencia registrada no quadro QGBT-1 no dia 13/09/2014.



Fonte: Wendell William Teixeira

Observa-se que a curva de potencia registrada no quadro QGBT-1 apresenta um comportamento similar à curva de irradiação solar. Além disso a máxima insolação registrada no dia foi menor que a insolação de 1000 W/m² o que explica o porquê a produção foi menor que a máxima prevista para o conjunto de painéis, 498,9 kWp.

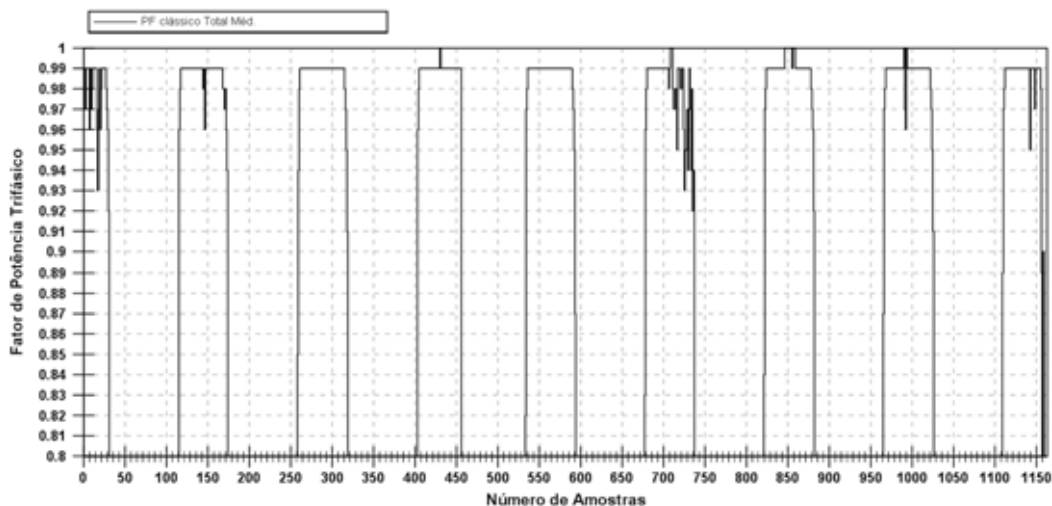
A máxima potência registrada, 405,75 kW, equivale ao 81,32% de sua capacidade máxima. A irradiação média máxima nesse dia foi de 913,79 W/m² equivalente ao 91,3% da irradiação de 1000 W/m² usada para o cálculo da potencia pico máxima dos painéis pelo fabricante.

Como a temperatura influi diretamente no rendimento dos painéis, faz-se necessário supervisionar este aspecto, que não foi abordado no presente estudo, além das perdas ao longo do sistema.

Fator de Potência

A Figura 69 mostra o comportamento do fator de potência e na Tabela 30 é apresentado o resumo da análise.

Figura 69 – Fator de potência calculado no quadro QGBT-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

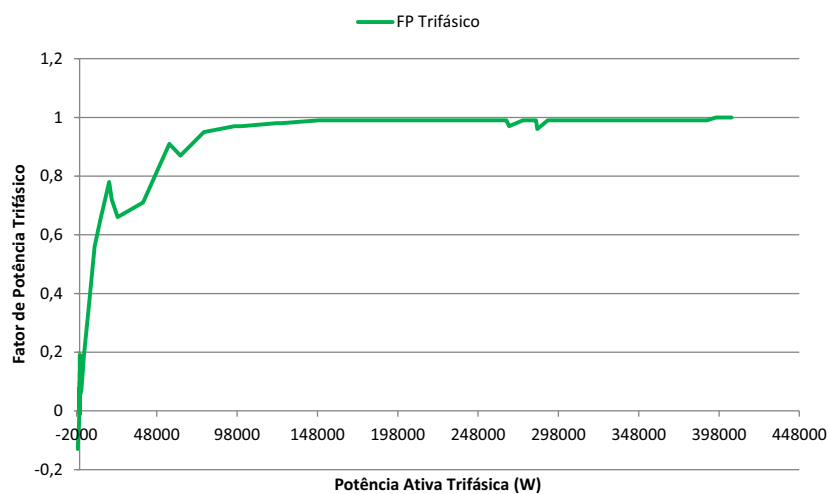
Tabela 30 – Valores máximos, mínimos e médios do fator de potência, quadro QGBT-1.

	PF Total
Máximo	1,00
Mínimo	-0,15
Média	0,47
Desvio Padrão	0,46
P95%	0,99

Fonte: Wendell William Teixeira

O máximo valor de fator de potencia é de 1,00. O valor mínimo foi de -0,15. A Figura 70 apresenta a variação do fator de potência em função da variação da potência ativa monitorada no QGBT-1, para um período específico de 12h00.

Figura 70 – Variação do fator de potência em função da potência ativa no quadro QGBT-1.



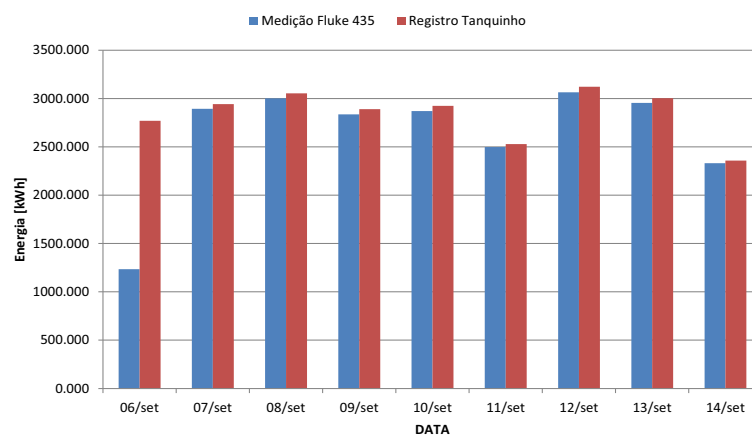
Fonte: Wendell William Teixeira

2.3.6 Energia gerada

A Figura 71 elucida a energia diária gerada durante o período de monitoramento, registrada no quadro QGBT-1. A diferença de geração de energia entre a medição realizada no presente estudo e os registros de tanquinho para o dia 06 de setembro de 2014, justifica-se devido ao fato da monitoração com o Fluke 435 ter iniciado a partir das 12:20h.

Da mesma forma como visto no QDCA-3, os erros entre as medições do Smart Integration e do Fluke 435, podem ser associadas aos erros dos sensores empregados em ambos os equipamentos. O erro está na ordem de 1,2%.

Figura 71 – Energia gerada, quadro QGBT-1.

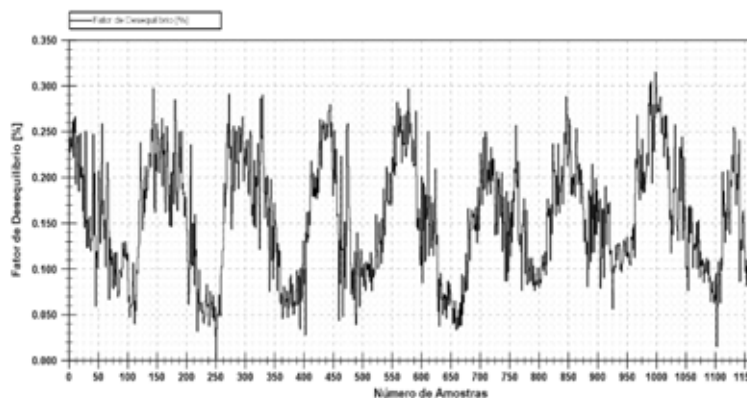


Fonte: Wendell William Teixeira

2.3.7 Desequilíbrio de tensão

O fator de desequilíbrio de tensão monitorado, é elucidado pela Figura 72.

Figura 72 – Fator de desequilíbrio durante o período de monitoramento, quadro QGBT-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

Foram extraídas as informações sobre os níveis máximos, mínimos, médios, desvio padrão e P95% para o desequilíbrio de tensão monitorado. A Tabela 31 fornece uma síntese da monitoração destacada.

Tabela 31 – Valores máximos, mínimos e médios do fator de desequilíbrio, quadro QGBT-1.

Fator de Desequilíbrio [%]	
Máximo	0,31
Mínimo	0,01
Média	0,15
Desvio Padrão	0,06
P95%	0,25

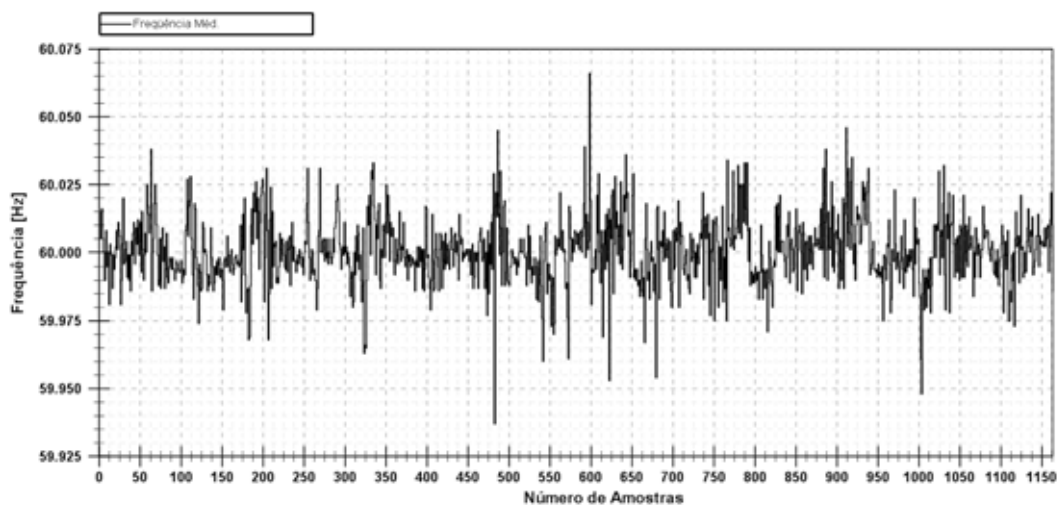
Fonte: Wendell William Teixeira

O valor máximo do fator de desequilíbrio foi de 0,31%.

2.3.8 Variação de Frequência

Na Figura 73 apresenta-se os perfis de frequência no quadro QGBT-1 para o período de monitoramento.

Figura 73 – Perfil de frequência, quadro QGBT-1.



Fonte: Wendell William Teixeira

Foram extraídas as informações sobre os níveis máximos, mínimos, médios, desvio padrão e P95% para a frequência monitorada. A Tabela 32 fornece uma síntese da monitoração destacada.

Tabela 32 – Valores máximos, mínimos e médios, desvio padrão e P95% de frequência, quadro QGBT-1.

	Frequência [Hz]
Máximo	60,07
Mínimo	59,94
Média	60,00
Desvio Padrão	0,01
P95%	60,02

Fonte: Wendell William Teixeira

2.3.9 Análises de Variações de Tensão de Curta Duração

Os eventos registrados durante o período monitoramento no barramento do quadro QDCA-3 estão indicados na Tabela 33.

Os eventos são classificados em Dip (Afundamento), Swell (Elevação), e Interrupção de tensão.

Tabela 33 – VTCDs registrados no quadro QGBT-1

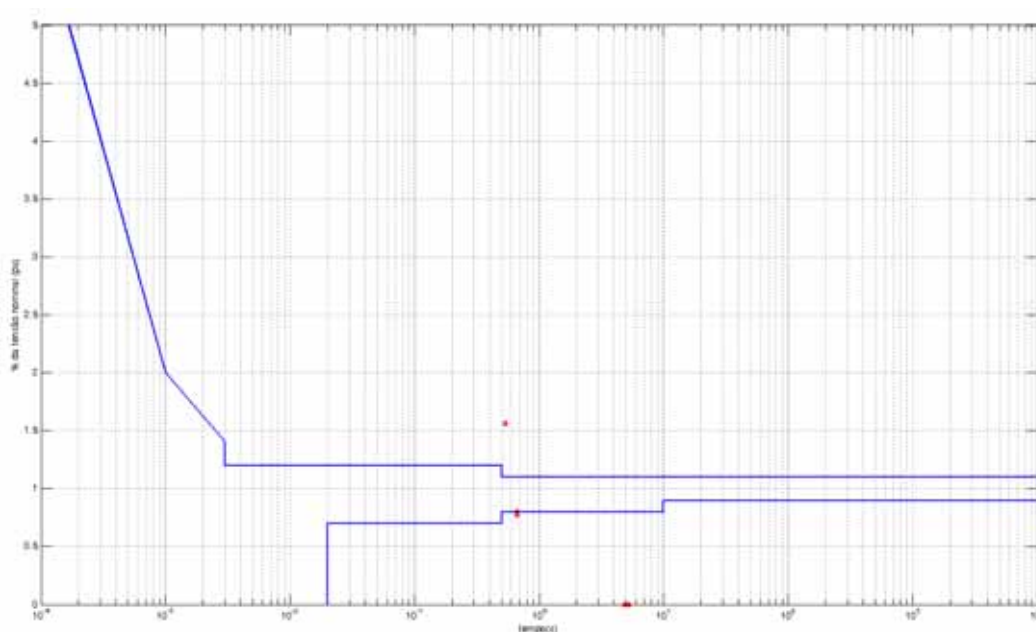
Data	Hora	Duração	Tipo	Fase AB (V)	Fase BC (V)	Fase CA (V)
07/09/2014	13:32:43	0m.0s.67ms.	Dip	--	220.40	--
07/09/2014	13:33:09	0m.0s.67ms.	Dip	--	--	212.50
09/09/2014	16:06:50	0m.5s.280ms.	Dip	--	0	--
09/09/2014	16:06:50	0m.4s.894ms.	Interrupção	0	--	--
09/09/2014	16:06:56	2h.1m.25s.	Dip	--	0	--

09/09/2014	16:06:56	2h.1m.25s.	Interrupção	0	--	--
14/09/2014	12:29:42	0m.0s.54ms.	Swell	429.30	--	--
14/09/2014	12:29:42	1h.36m.25s.	Dip	--	0	--
14/09/2014	12:29:42	1h.36m.25s.	Interrupção	0	--	--

Fonte: Wendell William Teixeira

Na Figura 74 estão elucidados os eventos registrados em cada fase, bem como indicados quais desses estão nas regiões com probabilidade de dano de equipamentos eletrônicos, segundo a curva ITIC.

Figura 74 – Eventos das três fases na curva ITIC, quadro QGBT-1



Fonte: Wendell William Teixeira

Os eventos VTCDs que se enquadram fora dos limites da curva ITIC, que apresentam probabilidade de danificar equipamentos eletrônicos sensíveis, estão elucidados na Tabela 34.

Tabela 34 – VTCDs fora dos limites da curva ITIC, quadro QGBT-1

Data	Hora	Duração	Tipo	Fase AB (V)	Fase BC (V)	Fase CA (V)
07/09/2014	13:33:09	0m.0s.67ms.	Dip	--	--	212.50
09/09/2014	16:06:50	0m.5s.280ms.	Dip	--	0	--
09/09/2014	16:06:50	0m.4s.894ms.	Interrupção	0	--	--
09/09/2014	16:06:56	2h.1m.25s.	Dip	--	0	--
09/09/2014	16:06:56	2h.1m.25s.	Interrupção	0	--	--
14/09/2014	12:29:42	0m.0s.54ms.	Swell	429.30	--	--
14/09/2014	12:29:42	1h.36m.25s.	Dip	--	0	--
14/09/2014	12:29:42	1h.36m.25s.	Interrupção	0	--	--

3 CONCLUSÕES

No presente estudo foram apresentados os resultados e as análises das medições de qualidade de energia elétrica (QEE) do parque solar Tanquinho da empresa CPFL. A análise considerou o desempenho em regime permanente e variações de tensão de curta duração VTCDs, e para tanto foram monitorados o quadro QDCA-3, o quadro QDCA-1e o quadro QGBT-1 da planta solar PV de Tanquinho.

A análise objeto deste estudo foi realizada com o intuito de verificar o atendimento aos requerimentos estabelecidos pelo PRODIST Modulo 8 relativos à qualidade de energia elétrica. No final do estudo conclui-se que as magnitudes de tensão, distorção harmônica total de tensão, desequilíbrio de tensão, estão dentro dos limites estabelecidos por norma.

Já a distorção harmônica total de corrente DHTi superou os limites estabelecidos pelas normas internacionais, porém não consideradas na normatividade brasileira. Vale destacar que os máximo valores de DHTi foram encontrados para os períodos de início e fim da geração diária, ou seja, nos instantes de baixas magnitudes de correntes. Sendo assim, os valores de DHTi encontrados nestes instantes são percentualmente altos, porém não representam problemas para o sistema devido à baixa magnitude das correntes.

Também vale ressaltar que os sensores de corrente utilizados nestas medições não são indicados para faixas de correntes baixas, de forma que a precisão para os instantes de baixa potência é comprometida. Para avaliar precisamente estes valores de DHTi se faz necessário a realização de ensaios específicos nestes instantes de potência baixa, e utilizando sensores de alta precisão.

Como resultado, observou-se igualmente que para os três pontos medidos a DHTi diminuía com o aumento da corrente fornecida pelo sistema fotovoltaico. Outro comportamento que vale a pena destacar nas conclusões é que o fator de potência nos três pontos monitorados aumenta quando a potência fornecida pelos sistemas fotovoltaicos cresce.

Em relação a potencia máxima fornecida pelos sistemas fotovoltaicos durante o período de monitoramento, observou-se que esta correspondeu aproximadamente a 75%, 67% e 81% da capacidade máxima instalada para os quadros QDCA-3, QDCA-1 e QGBT-1 respectivamente. Estes valores

justificam-se através da análise dos dados meteorológicos dos níveis de insolação do parque de Tanquinho, os quais também não chegam ao valor de 1000W/m². As curvas de potência ativa e de insolação diária para cada um dos pontos medidos apresentaram comportamento muito semelhante ao esperado.

A partir da especificação dos painéis solares, foi possível estimar a potência que seria fornecida pelos sistemas fotovoltaicos para os dados de irradiação máxima. A comparação dos valores estimados com os reais apresentaram resultados semelhantes, levando-se em consideração a eficiência do inversor e a queda do rendimento dos painéis em função da temperatura, temas não abordados no desenvolvimento do presente estudo.

Outra característica levantada nas medições realizadas é o consumo noturno para os quadros considerados. Foram apresentadas as curvas de potência dos quadros QDCA-3 e QDCA-1 para o período das 19h00 – 6h00 de um dia de medição, período diário de ausência de irradiação solar, no qual os inversores de potência consomem energia da rede. No caso do quadro do conjunto de inversores instalados no quadro QDCA-3, esse consumo máximo foi de 0,23 kW, já para o quadro QDCA-1, o consumo máximo dos inversores foi de 0,3 kW.

Este consumo noturno dos inversores merece ser melhor investigado pelo fato de poder interferir no rendimento total da planta, mesmo sendo menos de um dígito percentual quando comparado à geração total do sítio.

Analisando os demais aspectos encontrados durante a elaboração deste documento, chega-se às seguintes conclusões:

Os fatores citados no Capítulo 1- Motivações, são alertas sobre o crescimento da demanda por energia elétrica, que no futuro pode alcançar níveis perigosamente altos para o planeta, e que colocam em dúvida nossa capacidade de supri-los, o que fortalece a ideia da diversificação da matriz geradora, e por consequência o investimento e regulação de fontes alternativas como a Solar PV, como apresentado no Panorama Mundial da Geração Solar PV.

Como evidenciado, a utilização desenfreada dos recursos para a geração de energia estão levando nosso planeta à escassez, onde a população sofre com a poluição do ar, em função dos gases lançados na atmosfera, acentuados

pelo uso cotidiano de combustíveis fósseis, o que implica mais uma vez no investimento em uma fonte limpa capaz de suprir, mesmo que em partes, a demanda por energia elétrica, visando mitigar as emissões e melhorar a qualidade de vida.

Não obstante, observa-se o consumo irresponsável e desperdício exacerbado de água, o país sofre hoje com os baixos níveis em seus reservatórios em quase todo o território, seja para consumo humano ou geração de energia a partir de hidroelétricas, elucidando o erro de basear a matriz energética quase que totalmente em um único tipo de fonte geradora (67% da potência instalada são hidroelétricas, Fonte ONS), o que culmina na necessidade de investimentos para garantir a diversificação de nossa matriz geradora, o que vem acontecendo timidamente, baseado nos dados da EPE.

Tendo como alicerce o estudo realizado durante a elaboração do presente trabalho, ficou evidente a falta de normas, regulações e incentivos governamentais no Brasil em relação à matriz solar PV, mostrando a necessidade de criação de normas específicas que tratem dos padrões e diretrizes não só para com os componentes (painéis, inversores, etc.) utilizados na geração solar PV, mas igualmente na conexão destes sistemas à rede, na qualidade da energia por eles gerada, bem como a falta de regulação e incentivos que propiciem a inserção massiva de tal tecnologia no país.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRADEE, Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. *Programa de Benchmarking*. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/abradee/atividades/programa-benchmarking>>. Acesso em 13 de maio de 2014.

ANEEL, PRODIST, *Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica*, Revisão 4, Resolução Normativa nº 469/2011, Fevereiro de 2012.

BENHABIB, M. C., MYRZIK, J.M.A, DUARTE, J.L., *Harmonic effects caused by large scale PV installations in LV network*, 9th International Conference of Electrical Power Quality and Utilisation, Barcelona, 2007.

BORBA, B. S. M. C. *Modelagem Integrada da Introdução de Veículos Leves Conectáveis à Rede Elétrica no Sistema Energético Brasileiro*. Tese de Doutorado. PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2012.

BP GROUP, *Statistical Review of World Energy*, Junho 2013. Disponível em: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statisticalreview/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf>. Acesso em 18 de junho de 2014.

CRITES, C. D., VARMA, R. K., SHARMA, V., MILROY, B., *Characterization of Harmonics in a Utility Feeder with PV Distributed Generation*, IEEE Electrical Power and Energy Conference, 2012.

DOSI, G. (1984). *Mudança Técnica e Transformação Industrial – A Teoria e uma Aplicação à Indústria dos Semicondutores*. Editora Unicamp. Campinas, 2006.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. *Análise da inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira*, EPE Nota Técnica. Rio de Janeiro 2012.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. *Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos*. Rio de Janeiro 2014.

EPIA, European Photovoltaic Industry Association. *Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018*. EPIA, 2013.

GUERREIRO, A.. *Novos paradigmas de consumo – O comportamento do consumidor em 2030 e seus impactos para o setor energético*. In: *Workshop Padrão de Consumo, 1*. Campinas, 2013, São Paulo.

IEA, International Energy Agency. *World Energy Outlook Special Report*. Disponível em <<http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2013/energyclimatemap/RedrawingEnergyClimateMap.pdf>>. Acesso em 10 de junho de 2014.

IEA, International Energy Agency. *World Energy Outlook 2012*. IEA. Paris, 2012.

IEA, International Energy Agency. *World Energy Outlook 2011*. IEA. Paris, 2011.

IEA, International Energy Agency. *World Energy Outlook 2010*. IEA. Paris, 2010.

IEA, International Energy Agency. *Transport, Energy and CO2 – Moving Toward Sustainability*. IEA. Paris, 2009a.

IEA, International Energy Agency. *Technology roadmap: Electric and plug-in hybrid electric vehicles*. IEA. Paris, 2009b.

IEA, International Energy Agency. *From 1st to 2nd – Generation Biofuel Technologies: an overview of current industry and RD e D activities*. IEA. Paris, 2008a.

IEA, International Energy Agency, *Energy Technology Perspectives 2008 – In support of the G8 Plan of Action*. IEA. Paris, 2008b.

IEEE 1547, *IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems*, July 2003.

IEEE 929, *IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems*, January 2000.

IPCC, PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE A MUDANÇA DO CLIMA. *Sumário para os Formuladores de Política – Quarto Relatório de Avaliação do Grupo de Trabalho I do IPCC*. Paris, 2007.

LUCENA, André F. Pereira. et al. *The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil*. *Energy Policy* 37 (2009): 879-889.

MARTINI, J. S. C.. *Novos paradigmas de consumo – o comportamento do consumidor em 2030 e seus impactos para o setor energético*. In: *Workshop Padrão de Consumo, 1* Campinas, São Paulo, 2013.

MATTAR, H. *A vida em 2030: o mundo de Valentina*. In: *Workshop Padrão de Consumo, 1*. Campinas, São Paulo, 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Relatório Smart Grid*. 2010. Disponível em < http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/acoes/Energia/Relatxrio_GT_Smart_Grid_Portaria_440-2010.pdf >. Acesso em: 13 de setembro de 2014.

OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. *Looking to 2060: Long-term global growth prospect*. Novembro de 2012.

ONU, United Nations. *World Urbanization Prospects, The 2011 Revision*. New York, 2012b. Disponível em < <http://esa.un.org/unpd/wup/index.htm> >. Acesso em 18 de junho de 2014.

RIBEIRO, R. *Casa do Futuro*. In: *Workshop Padrão de Consumo, 1*. Campinas, São Paulo, 2013.

ROLAND BERGER STRATEGY CONSULTANTS. *Hot Spots in CEE: The Roland Berger CEE city ranking survey 2009*. Maio de 2009.

ROLAND BERGER STRATEGY CONSULTANTS. *Trend Compendium 2030*. Munique 2011. Disponível em < http://www.rolandberger.com/expertise/trend_compendium_2030/ >. Acesso em 13 de outubro de 2014.

SCHAEFFER, Roberto. et al. *Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil*. Rio de Janeiro: Nova Brasileira, 2008.

SCHNAARS, S. P. *How to Develop and Use Scenarios*. Long Range Planning 20 (1987): 105-114.

SIEMENS AG. *European Green City Index: Assessing the environmental impact of Europe's major cities*. Munique, 2009.

SO, J. H., JUNG, Y. S., YU, B. G., *Performance Results and Analysis of Large Scale PV System*, IEEE Article, 2006.

STANDARD CHARTERED. *The Super Cycle Report*. November, 2010. Disponível em: < https://www.sc.com/id/_documents/press-releases/en/The%20Super-cycle%20Report-12112010-final.pdf >. Acesso em 18 de junho de 2014.

UNEP, United Nations Environment Programme. *The Emissions Gap Report 2012 – A UNEP Synthesis Report*. Nairobi, 2012.

UNESCO, Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura. *Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (WWDR4), Resumo histórico*. Disponível em http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Brasilia/pdf/WWDR4%20Background%20Briefing%20Note_pt_2012.pdf>. Acesso em 18 de junho de 2014.

VAN der HOEVEN, M., apresentação do relatório *Tracking Clean Energy Progress*, 4th Clean Energy Ministerial Delhi, India 17 de abril de 2013.

WISSNER, M., *The Smart Grid - A saucerful of secrets?* Applied Energy, 2011. 88(7): p. 2509-2518.