



Power Quality Analysis Substation the Voltage Level of 13.8 KV

Jandecy Cabral Leite², Manoel S. Santos Azevedo^{1,2}, Rivanildo Duarte Almeida^{1,2}, Ignacio Perez Abril³, Rildo De Mendonça Nogueira², Hudson Freitas Santana⁴, Walter Andres Vermehren Valenzuela^{1,2}

¹Universidade do Estado do Amazonas (UEA);

²Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM)

³Universidad Central “Martha Abreu” de Las Villas (UCLV-CUBA)

⁴Eletróbrás Amazonas Energia

(jandecy.cabral@itegam.org.br, manolazevedo@yahoo.com.br, rivanildo_duarte@yahoo.com.br)

ABSTRACT

This article presents a study of Quality of Electric Power in an electricity concessionaire performed in 2015 at a substation media tension with 13.8 kV voltage level. The purpose of this article is to measure and monitor for a period of seven days the supply of electricity in the CAP (Common Coupling Point) in the electrical system bus of Dealers and analyze what the real situation of electricity supply for the consumer units, based on criteria established by the IEC TR 61000-3-6, IEEE 519-92 and PRODIST / ANEEL. The methodology used for this work was through field measurements. To carry out campaigns of field measurements was used the Quality Analyzer HIOKI PW3198 Power. The results of the obtained analyzes showed that the presented methodology is applicable as the new requirements associated with power quality come into force, among which may be mentioned harmonic distortion, SAG, SWELL, which will be charged to companies power distribution, ie electricity distributors must conform to such requirements by PRODIST / ANEEL, otherwise companies will suffer penalties by large fines.

Keywords: Power Quality , Media voltage power supply

Análise de Qualidade de Energia em Subestação ao Nível de Tensão de 13,8 KV

RESUMO

O presente artigo apresenta um estudo de Qualidade de Energia Elétrica em uma concessionária de energia elétrica realizado no ano de 2015 em uma subestação de media tensão com nível de tensão de 13,8kv. O objetivo deste artigo é medir e monitorar por um período de 7 dias o fornecimento de energia elétrica no PAC (Ponto de Acoplamento Comum) no barramento do sistema elétrico da concessionária e analisar qual a real situação do fornecimento de energia elétrica para as unidades consumidoras, com base nos critérios estabelecidos pelas normas IEC TR 61000-3-6, IEEE 519-92 e PRODIST/ANEEL. A metodologia utilizada para realização deste trabalho foi através de medições em campo. Para realizar as campanhas de medições em campo foi utilizado o Analisador de Qualidade de Energia HIOKI PW3198. Os resultados das análises obtidos mostraram que a metodologia desenvolvida neste trabalho é aplicável à medida que os novos requisitos associados à qualidade da energia entrem em vigência, dentre os quais pode se citar as distorções harmônica, SAG, SWELL, que passarão a ser cobrados às empresas distribuidoras de energia, ou seja, as distribuidoras de energia elétrica deverão se adequar a tais requisitos exigidos pelo PRODIST/ANEEL, caso contrário, as empresas sofrerão penalizações por meio de multas elevadas.

Palavras Chaves: Qualidade de energia, Media tensão, Fornecimento de energia elétrica

I. INTRODUÇÃO

A expressão qualidade, é uma característica ou grupo de características que tem como finalidade distinguir um caso ou evento de outro em relação ao seu grau de excelência, o item qualidade que tem sido desejado por todos os setores, principalmente pelos setores comerciais e industriais. Este conceito tem aplicação no produto energia elétrica, com o objetivo

de qualificar ou certificar que o produto atende os padrões definidos pela agência reguladora, no Brasil [1] e as necessidades dos consumidores [2].

A disponibilidade da energia elétrica representa desenvolvimento na qualidade de vida das pessoas. Em primeiro momento observa-se que ao implantar um sistema de distribuição de energia elétrica, a população local imediatamente passa a contar

com inúmeros recursos e benefícios, seja no conforto, criação de novos postos de trabalho e consequentemente no processo de desenvolvimento global [3].

Com a demanda de energia elétrica planejada para manter um grande parque consumidor surge à preocupação com a continuidade do serviço, ou seja, ter um sistema de geração de energia elétrica capaz de suprir as necessidades dos consumidores e por outro lado, tão importante quanto, a questão da qualidade da energia elétrica, temário do presente artigo [3].

Para a qualidade de serviço de distribuição de energia elétrica temos os Indicadores de continuidade individuais e Indicadores de continuidade de conjunto de unidades consumidoras [2].

Indicadores de continuidade individuais:

- a) DIC = duração de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora;
- b) FIC = frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão, expressa em número de interrupções;
- c) DMIC = duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora;
- d) DICRI = duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora.

Indicadores de continuidade de conjunto de unidades consumidoras:

- a) DEC = duração equivalente de interrupção por unidade consumidora, expressa em horas e centésimos de hora;
- b) FEC = frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora, expressa em número de interrupções e centésimos do número de interrupções;

Para qualidade do produto são considerados os seguintes aspectos, seja em regime permanente ou transitório [2]:

- a) tensão em regime permanente;
- b) fator de potência;
- c) harmônicos;
- d) desequilíbrio de tensão;
- e) flutuação de tensão;
- f) variações de tensão de curta duração;
- g) variação de frequência.

Segundo [2], o monitoramento da qualidade da energia elétrica tanto pela concessionária quanto pelas unidades consumidoras é um serviço essencial com muitas utilidades para os clientes comerciais, industriais e para o próprio sistema de energia elétrica. Devido à tecnologia e software que já está disponível, esse monitoramento pode ser realizado mais precisão e com mais detalhes dos eventos que ocorrem na rede de

distribuição. Problemas de qualidade de energia não são necessariamente limitados ao sistema de energia elétrica. Muitas pesquisas têm mostrado que a maioria dos problemas são localizados dentro das instalações dos clientes [4][5].

Neste artigo foi abordado apenas o ponto de vista de qualidade de produto, analisando os fenômenos de qualidade de energia elétrica de acordo com o [1][2] de 2015. Os aspectos que foram analisados foram: tensão em regime permanente, corrente em regime permanente, potência ativa e potência reativa em regime permanente e distorção harmônica.

Este artigo tem como relevância e contribuição apresentar uma metodologia aplicável para análise diagnóstica de qualidade de energia elétrica em sistemas de energia elétrica.

A subestação selecionada para o desenvolvimento deste artigo foi a SE aparecida 13,8 kV da concessionária Eletrobrás Distribuição Amazonas, localizada no bairro centro da cidade de Manaus.

O objetivo deste trabalho é monitorar a energia no PAC (Ponto de acoplamento comum) fornecida para as unidades consumidoras, por um período de 7 dias corridos e verificar, analisar qual a real situação do fornecimento de energia elétrica neste ponto PAC.

II. MATERIAIS E MÉTODOS APLICADOS

A metodologia adotada para este estudo foi através de campanhas de medições em campo e com essa metodologia foi possível identificar a real condição do ponto monitorado.

O equipamento utilizado para realizar as medições foi o Analisador de Qualidade de Energia HIOKI modelo P3198. Este equipamento é capaz de registrar potências ativas, reativas e aparentes, níveis de tensão, variações de tensão de curta duração, desequilíbrios de tensão, corrente elétrica, fator de potência, frequência da linha, distorções harmônicas totais e individuais de tensão e de corrente e espectro de frequência de distorções harmônicas de tensão e corrente [6][7][8][9][10][11]. Para a medição das correntes foi utilizado um sensor de corrente modelo HIOKI SENSOR 9695-03 de fabricação da HIOKI. Para medições das tensões foi utilizado garras de conexão do tipo jacaré.

Durante a campanha de medição, instalou-se 1(um) analisador de qualidade da energia PW 3198 da HIOKI no secundário do transformador ADTF4-02 da SE Aparecida 13,8kV ilustrado com círculo vermelho na figura 1. Nesse equipamento, configurou-se um intervalo de agregação de 10 minutos tendo em vista que o mesmo é recomendado pelo [2].

As medições ou instalações dos equipamentos foram realizadas com auxílio dos pontos dos secundários dos TCs e TPs na cabine da subestação, permanecendo lá por um período de 7 dias de acordo com o [2][7].

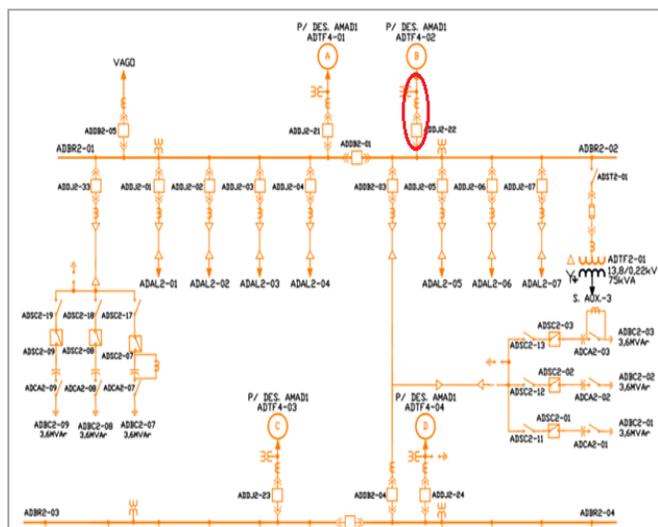


Figura 1 – Diagrama unifilar da Subestação Aparecida.

Os procedimentos adotados tanto para a realização das medições como para as análises dos dados tiveram como base o [1][2], que trata das questões envolvendo a qualidade da energia elétrica.

Nesse trabalho, a análise de qualidade de energia realizada na SE Aparecida possibilitou a construção de um perfil de como está o fornecimento de energia elétrica no ponto monitorado (secundário do TRAFÓ ADF4-02), podendo assim saber qual a qualidade de energia elétrica que é fornecida para as unidades consumidoras atendidas neste ponto. E também como está a contribuição de distorção harmônica total de tensão pelas correntes harmônicas injetadas no sistema de energia elétrica geradas pelas cargas não lineares conectadas a rede elétrica [11].

III RESULTADOS E DISCUSSÕES - ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS DA REDE ELÉTRICA

As análises foram realizadas com medições coletadas no período de 26 de maio de 2015 à 01 de junho de 2015.

Neste período realizou-se uma campanha de medição na SE Aparecida 13,8kV, no secundário do TRAFÓ ADF4-02, no qual instalou-se 1 analisador de qualidade de energia PW 3198 da HIOKI para a realização da medição.

III.1 Análise de Tensão em Regime Permanente

As Figuras 2, 3, 4, ilustram respectivamente os perfis de tensão nas fases A-B-C, para todo o período de medição, registrados neste ponto de medição.

Como pode ser visto, os valores de tensão rms médios se encontram dentro do limite da faixa de tensão considerada adequada pelo [2]. Vale ressaltar que somente em um momento, por volta das 16:50 horas do dia 28/05/2015, a tensão rms mínima

apresentou valor abaixo do limite adequado, alcançando o valor de 0,9476 pu na fase A e o valor de 0,9162 pu, na fase B (Figuras 2 e 3 respectivamente). As Tabelas 1, 2 e 3 mostram os valores máximos, mínimos e médios de tensões registrados neste período.

É importante destacar que, com relação ao perfil de tensão em regime permanente, o [2] leva em consideração somente os valores rms médios.

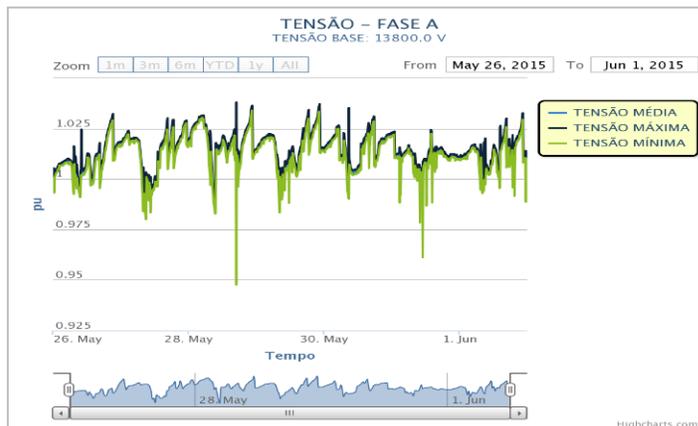


Figura 2 – Valores de tensão rms, Máx e Mín e Médios obtidos para a fase A.

Fonte: Autores, (2016).

Tabela 1 - Valores Máx, Mín e Médios de tensão medidos na fase A

	Valores Mínimos (pu)	Valores Máximos (pu)	Valores Médios (pu)
TENSÃO MÉDIA	0,9838	1,0353	1,0136
TENSÃO MÁXIMA	0,9855	1,0380	1,0152
TENSÃO MÍNIMA	0,9476	1,0340	1,0114

Fonte: Autores, (2016).

Figura 3 - Valores de tensão rms, Máx, Mín e Médios medidos para a fase B.

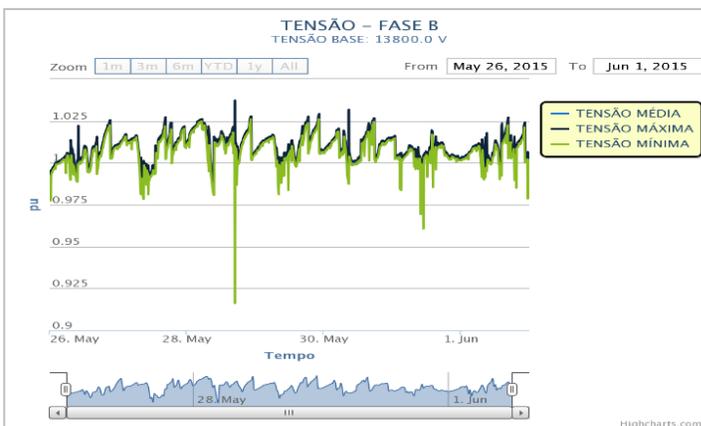


Figura 3 - Valores de tensão rms, Máx, Mín e Médios medidos para a fase B.

Fonte: Autores, (2016).

Tabela 2-Valores Máx, Mín e Médios de tensão medidos fase B.

	Valores Mínimos (pu)	Valores Máximos (pu)	Valores Médios (pu)
TENSÃO MÉDIA	0,9818	1,0275	1,0085
TENSÃO MÁXIMA	0,9838	1,0373	1,0101
TENSÃO MÍNIMA	0,9162	1,0262	1,0063

Fonte: Autores, (2016).

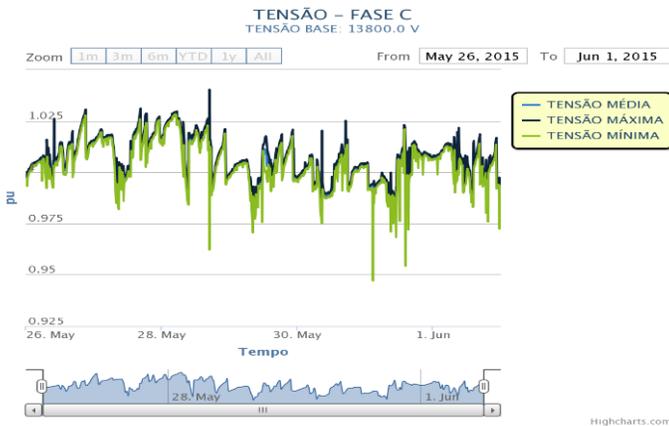


Figura 4 - Valores de tensão rms, Máx, Mín e Médios obtidos na fase C.

Fonte: Autores, (2016).

Tabela 3-Valores Máx, Mín e Médios de tensão obtidos na fase C

	Valores Mínimos (pu)	Valores Máximos (pu)	Valores Médios (pu)
TENSÃO MÉDIA	0,9750	1,0290	1,0059
TENSÃO MÁXIMA	0,9790	1,0402	1,0077
TENSÃO MÍNIMA	0,9471	1,0283	1,0034

Fonte: Autores, (2016).

Na Tabela 4 são apresentados os valores calculados para os índices de Duração Relativa de Transgressão de Tensão Precária (DRP) e Duração Relativa de Transgressão de Tensão Crítica (DRC), que correspondem aos indicadores a serem comparados à norma para fim de avaliação da instalação quanto à tensão em regime permanente. Os índices NLP e NLC presentes nesta mesma tabela representam o maior valor entre as fases do número de leituras (n) situadas nas faixas precárias e crítica, respectivamente.

De acordo com os valores de DRP e DRC apresentados na Tabela 4, pode-se observar que não houve registros de transgressões na tensão em regime permanente neste ponto de medição, estando, portanto, em conformidade com o [3].

Tabela 4 - Valores de DRP e DRC calculados neste ponto de medição.

	n	nlp	DRP (%)	n	nlc	DRC (%)
Fase A	0			Fase A	0	
Fase B	0	0	0	Fase B	0	0
Fase C	0			Fase C	0	

Fonte: Autores, (2016).

Com relação ao desequilíbrio de tensão, o ponto de medição analisado apresentou um valor abaixo do limite de 2% estabelecido pelo [2], como pode ser visto na Figura 4.

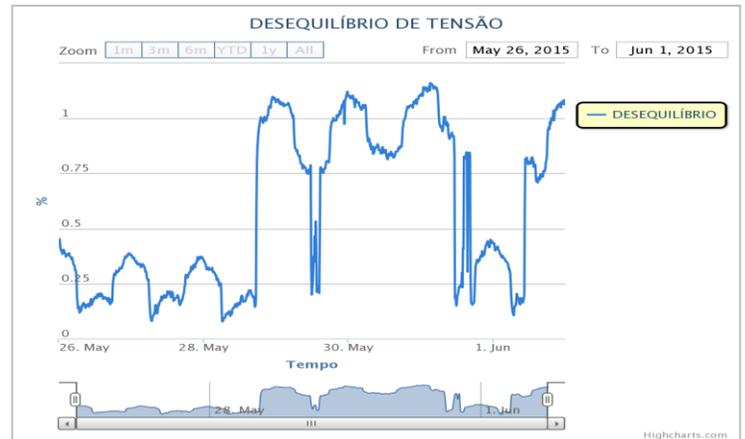


Figura 4 – Desequilíbrio de tensão.

Fonte: Autores, (2016).

III.2 Análise De Corrente Em Regime Permanente

Analisando a Figura 5, pode-se notar uma queda de corrente durante o final de semana, principalmente no domingo, sendo o máximo valor registrado nesse período em torno de 150 A. Durante os dias de semana, constata-se um perfil semelhante, sendo o período compreendido entre às 9:00 horas e às 16:00 horas o de maior carregamento, alcançando um valor máximo de 250 A. A Tabela 5 contém os valores máximos, mínimos e médios de corrente registrados neste período.

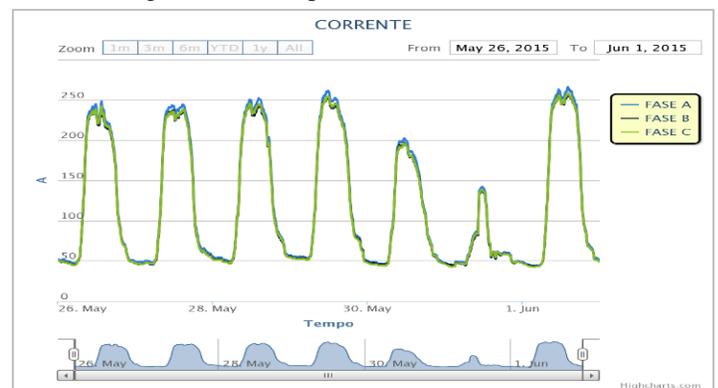


Figura 5 - Valores de corrente rms médios obtidos nas fases A-B-C.

Fonte: Autores, (2016).

Tabela 5-Valores Máx, Mín e médios dos rms médios de corrente.

	Valores Mínimos (A)	Valores Máximos (A)	Valores Médios (A)
FASE A	43,3200	266,3400	120,5005
FASE B	42,5500	257,6300	116,6576
FASE C	41,9800	258,8900	116,9720

Fonte: Autores, (2016).

III.3 ANÁLISE DA POTÊNCIA ATIVA, POTÊNCIA REATIVA E FATOR DE POTÊNCIA EM REGIME PERMANENTE

A Figura 6 apresenta um ciclo semanal do consumo do conjunto de cargas da SE Aparecida. De acordo com essa figura, verificou-se que os dias de semana apresentaram padrões de consumo similares, atingindo valores máximos em torno de 2 MW. Durante o domingo (31/05/2015) o registro das medidas sinaliza que ocorreu uma redução considerável de consumo, em torno da metade quando comparado aos dias de semana.

Figura 6 - Valores de potência ativa médios obtidos para as fases A-B-C.

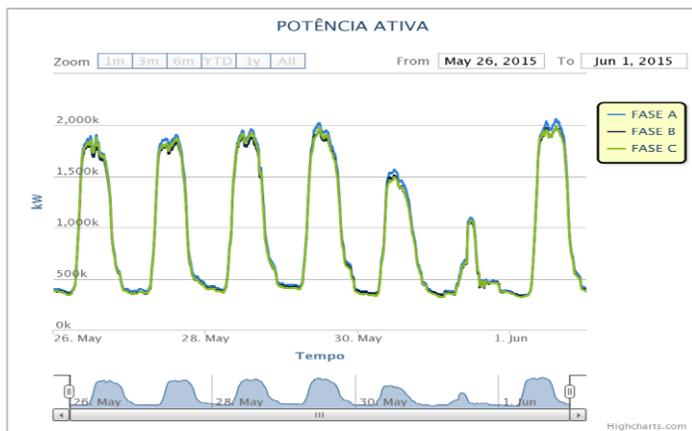


Figura 6 - Valores de potência ativa médios obtidos para as fases A-B-C.

Fonte: Autores, (2016).

Como pode ser visto na Figura 7, onde estão ilustrados os valores registrados de potência reativa, pode-se verificar que durante o período de menor carregamento do sistema, para o caso em questão (22:00 horas às 7:00 horas) o sistema apresenta uma potência reativa capacitiva em torno de 100 kVAR.

Fato este também verificado na Figura 8, onde estão apresentados os valores de fator de potência para o referido ponto de medição, sendo os valores próximos de 1 durante o período de alto carregamento e próximo de -1 durante o período de baixo carregamento.

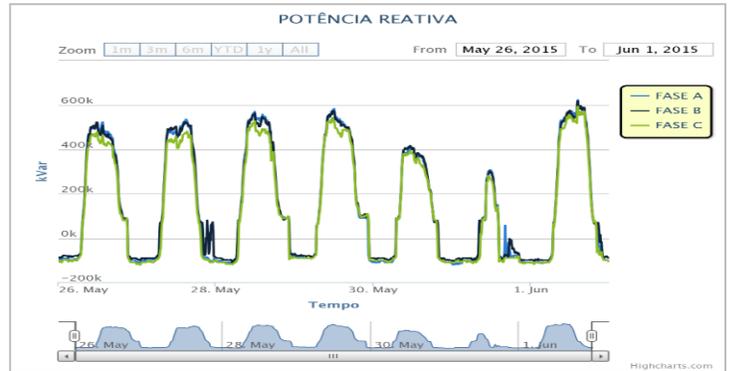


Figura 7 - Valores de potência reativa médios obtidos para as fases A-B-C.

Fonte: Autores, (2016).

Figura 8 - Valores de FP médios obtidos para fases A-B-C.

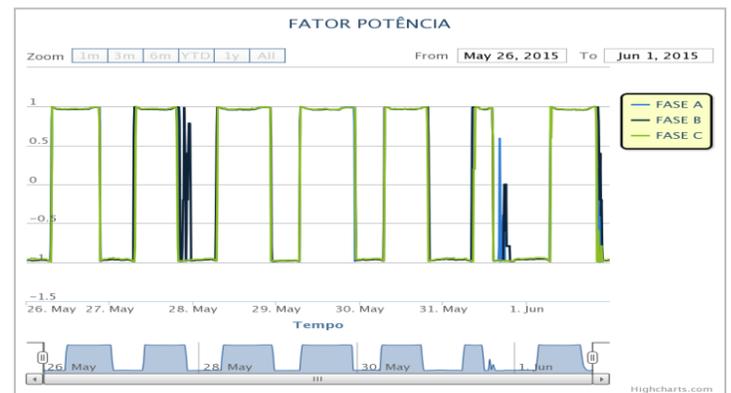


Figura 8 - Valores de FP médios obtidos para fases A-B-C.

Fonte: Autores, (2016).

III.4 ANÁLISE E DISCUSSÕES DE DISTORÇÕES HARMÔNICAS

Verificando a tabela 6 abaixo, a taxa de distorção harmônica total de tensão (DHTv) das três fases da SE Aparecida (13,8 kV) durante o período de medição considerado, observou-se que os valores de DHT de tensão ficaram abaixo do valor limite de 8%, portanto, em conformidade com o limite estabelecido pelo [3]. A Tabela 6 contém os valores reais de DHTv máximos, mínimos, médios e percentis de 95% das distorções harmônicas totais de tensão, registrados neste período.

Tabela 6 – Valores Máx, Mín, médios e percentis de 95% de DHTv.

	Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores Médios	Percentil (0.95)
FASE A	1,2660	5,1800	2,7396	4,1128
FASE B	0,9830	4,8850	2,3555	3,7109
FASE C	1,0210	5,5490	2,6291	4,2456

Fonte: Autores, (2016).

Verificando a tabela 7, a taxa de distorção harmônica total de corrente (DHTi) das três fases da SE Aparecida, observou-se que os valores de DHT de corrente apresentaram valores elevados, sendo os percentis de 95% iguais a 11,05% na fase A, 11,75% na fase B e 10,05% na fase C. A Tabela 7 contém os valores reais máximos, mínimos, médios e percentis de 95% das distorções harmônicas totais de corrente, registrados neste período.

Tabela 7 – Valores máximos, mínimos, médios e percentis de 95% de DHTi médios medidos.

	Valores Mínimos	Valores Máximos	Valores Médios	Percentil (0.95)
FASE A	0,5950	46,2110	11,0436	23,9742
FASE B	0,6410	50,6830	10,9589	23,3417
FASE C	0,6270	48,3880	11,6552	25,3368

Fonte: Autores, (2016).

Vale ressaltar que não houve registros de eventos, como afundamentos ou elevações de tensão, desequilíbrios de tensão, etc.

IV. CONCLUSÃO

O estudo realizado sobre a QEE agregou um conhecimento importante sobre os fundamentos da QE, seus indicadores, bem como na delimitação dos tipos de distúrbios inerente a QEE. De acordo com os resultados obtidos das análises das medições realizadas na SE Aparecida.

Desta forma conclui-se que a proposta tem sua relevância, pois é aplicável à medida que os novos requisitos associados à QE entrem em vigência, dentre os quais pode se citar as distorções harmônicas, SAG e SWELL [12] que passarão a ser cobrados às concessionárias de energia elétrica, ou seja, as distribuidoras de energia elétrica deverão se adequar a tais requisitos exigidos pelo [1], obedecendo aos limites dos indicadores de qualidade de energia elétrica estabelecidos pelo [1][2], caso contrário, as empresas sofrerão penalizações por meio de elevadas multas.

V. AGRADECIMENTOS

Ao ITEGAM, UFPA, EST/UEA, UCLV-CUBA e a Eletrobrás Distribuição Amazonas pelo apoio a pesquisa.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica.** V.6. Data de vigência: 01/01/2015.

[2] NOGUEIRA, Rildo de Mendonça. **Análise dos Impactos Harmônicos em uma Indústria de Manufatura de Eletroeletrônicos utilizando Árvores de Decisão.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Pará (UFPA), 2015.

[3] GONÇALVES, Benevaldo Pereira. **Metodologia para diagnosticar a qualidade de energia elétrica referente à distorção harmônica em sistema trifásico de baixa tensão utilizando lógica fuzzy.** Pará: UFPA, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Pará (UFPA), 2010.

[4] AZEVEDO, M. S. S; ABRIL, I. P; LEITE, J.C; MEDEIROS, A. B de; MORAES, Nadime M.; REIS, Ana Maria. **Localização de banco de capacitores em circuitos de distribuição considerando restrições de distorção harmônica.** Revista SODEBRAS – Volume 10. N° 120. Dezembro/ 2015.

[5] CIRINO, Weverson dos Santos. **Aplicação de filtro harmônico em sistemas elétricos de baixa tensão utilizando lógica fuzzy.** Pará: UFPA, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará (ITEC), Pará, 2010.

[6] IOKI INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE ENERGIA. **Manal de operação do analisador de qualidade de energia HIOK.** HIOKI E.E. CORPORATION, 2012.

[7] GRANDI, André Luís Zago de. **Metodologia para avaliação de distorção harmônica de corrente em transformadores de distribuição.** São Paulo: USP, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

[8] IEC TR 61000-3-6 – **“Electromagnetic compatibility (EMC) –Part 3-6: Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems”**, Edition 2.0, 2008-02.

[9] IEEE Std. 100-2000. **The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms Seventh Edition.** December, 2000.

[10] IEEE *Std. 519-* - **Institute of Electrical and Electronics Engineers. Harmonic limits discussion.** 1992.

[11] LEITE, J.C. ABRIL, Ignácio Perez; AZEVEDO, Manoel Socorro Santos, NASCIMENTO, Manoel Henrique Reis do; MORAES, Nadime Mustafa; REIS, Ana Maria. **Projeto multicritério de filtros harmônicos passivos para instalações industriais utilizando técnicas de computação evolucionária.** ITEGAM-Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications. (ITEGAM-JETIA). Vol.01, No. 03, pp.52-60. Setembro, 2015.

[12] SOUZA Wyrllen Everson de. **Análise das distorções harmônicas de tensão a partir de características dos transformadores e de dados de consumo.** Paraná: UFPR, 2008.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.