

Medição Amostral de Harmônicas de Tensão nos Consumidores Secundários da Celesc

E. Ignatowicz – CELESC, R. Braz – CELESC

E_mail: estefanoi@celesc.com.br

Palavras-chave – harmônicas, qualidade, conformidade.

Resumo - O trabalho tem a finalidade de apresentar o resultado e avaliação das medições de harmônicas de tensão, por tempo sustentado tomados como limite permissível e horário durante o dia, medidos nos pontos de entrega dos consumidores secundários da Celesc.

Os principais fatores geradores das medições de harmônicas de tensão, foi de conhecer o nível de harmônicas presentes nos circuitos secundários de distribuição tomados no ponto de entrega do consumidor e de conhecer o nível de harmônicas em cada período horário definido.

Foi utilizada uma amostra de 200 consumidores, selecionados através de um planejamento amostral em função do número de consumidores secundários atendidos pela Celesc, sendo que, a quantidade de medição que coube a cada Regional da Celesc, por sorteio, foi proporcional ao número de consumidores existentes em cada Regional.

Todas as medições foram realizadas durante o período de maio até agosto de 2001, utilizando-se de equipamentos de medição eletrônicos, de memória de massa, durante 7 dias consecutivos, tomados minuto a minuto.

Mostra o resultado e a avaliação das harmônicas de tensão presentes no ponto de entrega do consumidor secundário através da média de violações, em cada hora, por consumidor com violação durante o período do tempo estabelecido, tempo médio de permanência e a proporção dos consumidores que sofreram violação de harmônicas de tensão da amostra selecionada.

1. INTRODUÇÃO

Nas redes de baixa e média tensão, a quantidade de cargas não lineares é crescente, o que torna o nível de harmônicas bastante significativo. Caso exemplo de medição e análise de situação considerando os distúrbios provocados por harmônicas, temos os consumidores ligados nas redes públicas de baixa tensão.

E embora a medição individualizada de harmônicas por unidade consumidora ou centrada em um ponto da rede tem sido um método consagrado para avaliar as harmônicas de rede, ainda é pequeno o emprego de medição e análise de harmônicas utilizando-se de métodos envolvendo um planejamento amostral, tendo

como base um modelo matemático estabelecido e medições registradas através de medidores eletrônicos providos de memória de massa.

2. HARMÔNICAS DE TENSÃO EM CONSUMIDORES SECUNDÁRIOS

Do fundamento básico das harmônicas, podemos dizer que quando se aplica uma tensão senoidal a uma carga linear, toda a corrente flui na frequência fundamental do respectivo sistema de fornecimento em corrente alternada. Deste modo, ocorre a existência de uma relação linear entre tensão e corrente.

Porém, essa situação é diferente quando se trata de cargas não lineares. O desenvolvimento de correntes harmônicas a partir de uma carga não linear é resultado da aplicação de uma onda de tensão desenvolvendo, por conseguinte, a onda de corrente não senoidal, resultando na existência de uma corrente não linear entre tensão e corrente [1].

Nas instalações residenciais e comerciais, os harmônicos tem origem, principalmente, nas fontes dos equipamentos eletrônicos. Microcomputadores e impressoras, equipamentos de som, relógios digitais, aparelhos de fax, copiadoras, starters eletrônicos e outros, são alguns dos equipamentos existentes nos consumidores ligados nos circuitos secundários de distribuição em baixa tensão, no caso da Celesc, em 220V fase-neutro. Nas redes de energia comerciais, já são frequentes os problemas associados à grande concentração de equipamentos eletrônicos que introduzem níveis de distorção harmônicas nos circuitos elétricos. Geralmente nas redes de energia elétrica de concessionárias a quantidade de correntes harmônicas é pequena. No entanto, o conteúdo harmônico é em geral desenvolvido pelos processos dos próprios consumidores.

Qualquer carga não linear também gera tensões harmônicas nos sistemas, basicamente devido à circulação de correntes pelas impedâncias dos condutores elétricos. Como a tensão harmônica é produzida devido à impedância do sistema, a tensão resultante, é propagada para todos os pontos a jusante, a partir daquelas impedâncias. Isto significa que irão circular correntes harmônicas pelas cargas lineares conectadas nesses pontos, uma vez que, agora, as correntes serão alimentadas por tensões não senoidais. As cargas não lineares, também vão gerar correntes harmônicas em

proporções diferentes e, provavelmente, também em frequências diferentes do que se fossem alimentadas por tensões senoidais.

Essa análise, abrange a maioria dos consumidores ligados nas diversas tensões de fornecimento. Normalmente, os estudos de harmônicas é direcionado para consumidores de porte considerado, e a medição é feita de forma individualizada, analisando as condições de trabalho do consumidor através da relação causa e efeito que as harmônicas possam estar comprometendo o meio produtivo. Preocupação quanto a qualidade do fornecimento, e, portanto também sujeitos a problemas de interferência, estão os consumidores de médio e pequeno porte, do tipo residencial e comercial, que possuem cargas sensíveis a problemas de harmônicas em suas unidades consumidoras.

Como dito, os trabalhos voltados a harmônicas, normalmente, dizem respeito às medições e análise individualizada por unidade consumidora ou centrada em ponto de rede, normalmente centralizados nas harmônicas de corrente por se manifestarem em pontos localizados, que se justificam, pois os sistemas das concessionárias, normalmente, fornecem tensões próximas a senoidas desprovidas de componentes harmônicos severos.

Medições em consumidores secundários ligados na baixa tensão, e conseqüente análise em cada unidade consumidora seria honerosa e de pouco proveito frente aos diferentes tipos de circuitos e cargas ligados. No entanto, pouco se conhece o comportamento das harmônicas, principalmente, quantos às harmônicas de tensão presentes no ponto de entrega de energia elétrica de consumidores ligados em baixa tensão envolvendo todos os consumidores numa visão centrada no plano amostral.

A forma alternativa encontrada, foi de conhecer o nível de harmônicas de tensão presentes nos circuitos secundários de distribuição, tomados nos pontos de entrega das unidades consumidoras, estratificando o nível de harmônicas em cada período horário definido, utilizando-se de um planejamento amostral, envolvendo todos os consumidores da Celesc na análise do comportamento das harmônicas de tensão tomados para limites permissíveis.

3. METODOLOGIA APLICADA

A metodologia aplicada foi baseada em um modelo matemático que leva-se a bom termo a análise do comportamento das harmônicas de tensão no ponto de entrega de consumidores secundários, cadastrados na Celesc como Grupo “B”, através de medições de harmônicas utilizando-se de instrumentos de medição existentes na Celesc.

3.1. Tamanho e Seleção da Amostra

A metodologia para a definição da amostra, aplicada neste artigo, está baseada no modelo matemático apresentado no Anexo I da minuta da Portaria n. 163/93, coordenado pelo DNAEE, versão 4.0, de 01/98 [2] que tinha como propósito, na época de sua elaboração, de estabelecer procedimentos de coleta, tratamento, formatação dos dados de índices de qualidade do fornecimento de Energia Elétrica. A qualidade do fornecimento avaliada na minuta da Portaria n. 163, deu-se através de quatro atributos, dentre os quais, à da conformidade que foi traduzida como a capacidade do sistema elétrico de fornecer aos consumidores energia com tensão e frequência isentas de distorções e flutuações harmônicas.

A amostra medida, forma de coleta e apuração dos dados, citado no Anexo 1 da minuta, considerou em termos de planejamento amostral para a definição do tamanho da amostra a estimativa em função da proporção de consumidores que sofreram violação com o número total de consumidores da amostra. O dimensionamento amostral levou em consideração a nível máximo de aleatoriedade, contemplando varias situações de influência própria de distribuição de consumidores ligados a sistemas elétricos urbanos e rurais.

Do Anexo 1 da Portaria n. 163, foi aproveitado a parte que orienta e descreve de forma científica, a metodologia de análise de indicadores de conformidade, utilizando-se de amostra com erro fixado em função do tamanho da amostra escolhida.

O tamanho da amostra selecionado para as medições de harmônicas de tensão nos consumidores secundários do grupo “B” da Celesc, de acordo com a metodologia aplicada, foi estipulado em 7% de erro desejado, fixando em 95% de grau de confiança. Desta forma, para um universo de 1.720.000 consumidores do grupo “B” atendidos pela Celesc (agosto de 2001), o tamanho da amostra foi de 200 consumidores escolhidos para medições de harmônicas de tensão.

A seleção da amostra, fixado em 7%, representa o erro máximo para a estimativa da proporção de consumidores que tiveram os valores de harmônicas medidos fora dos limites estabelecidos pelos 200 consumidores da amostra escolhida.

Procurou-se selecionar a amostra de tal forma que fosse totalmente aleatória e que a quantidade de medição que coubesse a cada Regional da Celesc fosse proporcional ao número de consumidores existentes em cada Regional. Foi utilizado para a seleção da amostra do seguinte artifício:

- do cadastro de consumidores foi sorteado o primeiro consumidor;
- após foi selecionado um consumidor a cada intervalo específico, em série, sucessivamente até completar 200 consumidores, obedecendo a proporção entre o número total de consumidores secundários da Celesc e a quantidade requerida pela amostra. Foi arranjado

para que todos os consumidores tivessem a mesma chance de participar da amostra.

- Duração e frequência de interrupção individual (DIC e FIC).

3.2. Período de Leitura

Os valores registrados de harmônicas de tensão de cada consumidor selecionado compreendeu um ciclo de 7 dias contínuos (168 horas), a contar das 00:00 hora do primeiro dia até o sétimo dia correspondente ao calendário de medições.

As medições foram realizadas durante o período de 03 de maio até 10 de agosto de 2001, totalizando 100 dias de medições. A fim de garantir total aleatoriedade, a amostra foi dividida igualmente pelos dias da semana, alocando cada consumidor selecionada o início das medições a um dia qualquer da semana de forma aleatória por sorteio. Desta forma, dos 200 consumidores, um fez parte para início das medições no dia 03 de março de 2001, outro para dia 04 e assim sucessivamente até o dia 10 de agosto. Os 100 consumidores restantes, foram alocados também por sorteio, iniciando novamente no dia 10 de março até 10 de agosto de 2001.

3.3. Ponto de Tomada do Registro

Todas as medições foram feitas utilizando-se da estrutura das áreas operacionais das Regionais da Celesc, tomados no ponto de entrega do consumidor ou no primeiro ponto possível de medição após o ponto de entrega.

Foi utilizado para as medições e análise dos valores registrados o Registrador Eletrônico MARH-V da RMS Sistemas Eletrônicos. O aparelho foi programado para registrar intervalos entre medidas de 1 minuto.

Para ligações monofásicas a medição foi entre fase-neutro, e para ligações trifásicas as medições foram entre as três fases e neutro considerando para efeito de banco de dados a pior situação fase-neutro encontrado.

3.4. Medidor Eletrônico MARH-V da RMS utilizado

O Medidor Eletrônico MARH-V da RMS (Figura 1) é um multimedidor e registrador em tempo real para análise em sistemas elétricos monofásicos, bifásicos e trifásicos em baixa tensão provido de software analisador de grandezas medidas e registradas (Figura 2). Dispõe de 4 teclas e display alfanumérico de 32 caracteres para visualização simultânea de várias grandezas.

3.4.1. Aplicações:

- Medição e análise de violações de tensão secundária em consumidores, visando atender determinações da Aneel;
- Atendimento a reclamações de tensão de consumidores;
- Verificação da qualidade do fornecimento;
- Determinação do desequilíbrio de tensão pelas normas IEC e NEMA;
- Função distribuição de tensão;



Figura 1. Medidor Eletrônico MARH-V da RMS

RMS: ()	hVa(%)
27/11/01 TER	
18:02	3.6
18:03	3.6
18:04	3.7
18:05	4.1
18:06	4.2
18:07	4.3
18:08	4.2
18:09	4.1
18:10	4.1
18:11	4.1
18:12	4.1
18:13	4.1
18:14	4.1

Figura 2. Relatório de medição de harmônicas de tensão

3.4.2. Características:

- Mede valor real eficaz, com amostras de todos os ciclos da rede;
- Mede e registra, a cada intervalo, o maior e o menor valor eficaz das tensões (1/2 ciclo);
- Intervalos de integração (registro em memória) a partir de 1 minuto;
- 512 kBytes ou 1024 kBytes de memória RAM;
- Programa aplicativo em ambiente Windows;
- Gravação de arquivos em formato público ASCII;

- Programação pelo PC, ou direto pelo teclado do registrador.

3.4.3. Circuitos de medição:

- Exatidão, classe 0,5 (IEC 348);
- Consumo TP, 1,0VA por entrada (máximo em 300 Vrms);
- Tensões, 0 a 300 Vrms direto ou 999,9 kVrms, via TP.

3.4.4. Característica de Medição e Registro:

- Intervalo de registro, de 1 até 60 minutos;
- Grandezas medidas:

.. **DHT de tensão** – a cada segundo, um dos ciclos de cada fase medida é amostrado. Para cada período de integração, o valor do DHT de tensão corresponde à média quadrática dos valores obtidos para os diversos DHT de tensão de cada ciclo, até a harmônica de ordem 25;

.. 3 tensões médias no intervalo. Valores True RMS;

.. tensão máxima e mínima para cada intervalo.
(valor eficaz de meio ciclo);

.. 64 amostras por ciclo de medição;

.. frequência;

.. sequência de fase e tempo de registro.

4. VIOLAÇÃO DE HARMÔNICAS DE TENSÃO

Violação de harmônicas de tensão, entendidos neste trabalho, é todo valor medido em que o valor percentual total de harmônicas de tensão (DHT%), tenha valor superior a 6%. Este valor é tomado como limite permissível de acordo com o documento “Critérios e Procedimentos para o Atendimento a Consumidores Especiais”, GCOI/GCPS, para tensões abaixo de 69kV.

Nas medições, foi adotado o intervalo entre os valores medidos de 1 minuto definido para caracterização dos registros contínuos no tempo e para o tratamento estatístico das medições. Ao término do intervalo de 1 minuto o resultado indicativo representou o nível de distorção harmônica total de tensão para cada intervalo de medição [3].

A duração do período de observação adotado foi de 7 dias (168 horas) consecutivos, incluindo sábados, domingos e feriados, de forma a poder conhecer o comportamento do sistema elétrico medido ao longo de uma semana ininterrupto.

Para a quantificação dos valores medidos, foram

agrupados todos os valores medidos, minuto a minuto, durante os 7 dias consecutivos, totalizando 10.080 valores medidos para cada consumidor pertencente a amostra. Repetindo a totalização para os 200 consumidores selecionados tendo-se mais de 2.000.000 de valores medidos.

Do total de valores medidos, foram selecionados para a análise da violação de harmônicas de tensão, todos os valores medidos, minuto a minuto, separando os consumidores que não sofreram em nenhum instante de tempo valores inferiores ou igual a DHT% de 6% dos consumidores que sofreram pelo menos 1 violação durante os 7 dias (168 horas) medidos de DHT% superiores a 6%. Dos consumidores que sofreram violação, foram separados em tabela própria de forma a poder saber os horários que ocorreram cada violação medida.

4.1. DEVharm - Duração Equivalente de Violação de Harmônicas de Tensão

Duração Equivalente de Violação de Harmônicas de Tensão (tempo de permanência), é definido como a média da soma de todos os tempos de ultrapassagem de cada consumidor da amostra que tiveram os valores medidos com o valor percentual total de harmônicas de tensão (DHT%) maior que 6%, pelo número de consumidores que sofreram violação da amostra.

$$DEV_{harm} = \frac{\sum \sum d_{vu}}{C_v} \quad (1)$$

Onde:

Dvu = tempo de permanência de violação do consumidor considerado;

Cv = número de consumidores que tiveram pelo menos uma violação.

4.2. FEVharm - Frequência Equivalente de Violação de Harmônicas de Tensão

Frequência Equivalente de Violação de Harmônicas de Tensão (quantidade), representa a proporção de consumidores que tiveram os valores medidos com o valor percentual total de harmônicas de tensão (DHT%) maior que 6%, pelo número de consumidores da amostra.

$$FEV_{harm} = \frac{C_v}{C_{an}} \quad (2)$$

Onde:

Can = número de consumidores da amostra.

5. TRATAMENTO DOS DADOS

Foi utilizado o ambiente do Microsoft Access para a quantificação e o tratamento dos dados registrados de harmônicas de tensão para cada medição individualmente considerada e da amostra total.

Foram selecionados para a análise da violação de harmônicas de tensão, todos os valores medidos, minuto a minuto, separando os consumidores que não sofreram em nenhum instante de tempo valores inferiores ou igual a DHT% de 6% dos consumidores que sofreram pelo menos 1 violação durante os 7 dias (168 horas) medidos de DHT% superiores a 6%. Dos consumidores que sofreram violação foram separados em tabela própria de forma a poder saber os horários que ocorreram cada violação medida.

A separação por horário em que ocorreram as violações de harmônicas de tensão, visou saber a duração (DEVharm) em horas que o sistema permaneceu em violação.

A separação dos consumidores que sofreram violação de harmônicas de tensão dos consumidores que não sofreram em nenhum instante violação, visou saber a proporção de consumidores (FEVharm) que sofreram pelo menos uma violação durante todo o tempo medido.

Os dados foram agrupados através de 4 faixas horárias:

- das 08:00 às 18:00 hs;
- das 18:00 às 22:00 hs;
- das 18:00 às 08:00 hs;
- e das 24 horas do dia.

Da tabela dos valores medidos com violação de harmônicas de tensão ($DHT\% > 6\%$), foram calculados os valores médios e desvio padrão para cada faixa horária agrupada.

Os valores medidos de harmônicas de tensão, foram agrupados através de 5 faixas de tempo sustentado (consecutivos) durante a qual os valores permaneciam em violação, isto é, durante a formatação dos dados foram totalizados a quantidade de vezes que os valores permaneciam em violação com DHT% maior que 6%, até o momento em que um valor de DHT% encontrar-se abaixo de 6% tomado como limite permissível:

- de 1 minuto com $DHT\% > 6\%$;
- maior que 1 minuto até 5 minutos sustentados com $DHT\% > 6\%$;
- maior que 5 minuto até 10 minutos sustentados com $DHT\% > 6\%$;
- maior que 10 minuto até 15 minutos sustentados com $DHT\% > 6\%$;
- maior que 15 minuto sustentados com $DHT\% > 6\%$.

6. RESULTADOS ALCANÇADOS

6.1. Resultado do FEVharm - Frequência Equivalente de Violação de Harmônicas de Tensão

Da equação (2), a proporção de consumidores que tiveram os valores medidos fora dos limites estabelecidos ($DHT > 6\%$) em relação ao número total de consumidores da amostra representado pelo FEVharm foi de 0,423.

Do indicador FEVharm de tensão, percebemos que 42,3% dos consumidores da amostra da Celesc, medidos durante o período de 03/05 até 10/08/2002, tiveram ao menos uma violação de harmônicas de tensão, com duração maior ou igual a 1 minuto, durante o ciclo de 168 horas (7 dias de medição).

6.2. Resultado do DEVharm - Duração Equivalente de Violação de Harmônicas de Tensão

Da equação (1), a média da soma de todos os tempos de ultrapassagem de cada consumidor da amostra que tiveram os valores medidos com violação em relação ao número de consumidores que sofreram violação da amostra representado pelo DEVharm foi de 714,18 minutos, ou seja 11:54hs

Do indicador DEVharm de tensão, percebemos que dos consumidores que tiveram violação de harmônicas de tensão, com duração maior ou igual a 1 minuto, a média de tempo de violação foi de 11:54h para cada consumidor durante o ciclo de medição de 168 horas (7 dias de medição), ou, média de 01:42h para 1 dia de medição. Durante o período das 22:00 até às 08:00, ocorrem menores quantidades de harmônicos, porém de maior severidade.

6.3. Resultado dos Valores Médios e Desvios Padrão

	Média Simples (DHT tensão >6%)	Desvio Padrão (DHTtensão >6%)
08:00 até às 18:00h	8,67%	2,63%
18:00 até às 22:00h	8,77%	2,30%
22:00 até às 08:00h	9,34%	3,30%
18:00 até às 08:00h	9,05%	3,14%

Os valores médios e desvios padrão, referem-se à relação da soma de todos os valores percentuais de harmônicas que sofreram violação com a soma de todos os minutos em que ocorreram a violação de harmônicas.

6.4. Resultado da Média de Violação, em cada hora por consumidor

A análise das médias de violação dos harmônicas de tensão, presentes nos circuitos medidos, é resultado do aproveitamento das medições utilizadas para a análise do DEVharm e do FEVharm para uma amostra de 200 consumidores com erro fixado em 7%, utilizando-se de uma amostra aleatória baseado na metodologia aplicada no anexo 1 da minuta da Portaria 163 (1988) [2].

A média de violação de harmônicas de tensão, em cada hora, por consumidor com violação, por período medido, conforme mostrado nos Gráficos I e II, foi formatada a partir das medições de todos os consumidores que sofreram pelo menos uma violação de DHT% superior a 6%.

Da amostra medida, encontramos um FEVharm de 42,3%, representando 84 consumidores que sofreram em algum instante violação de harmônicas de tensão.

Do total de valores medidos, representado pela população que sofreu pelo menos uma violação, os valores médios de violação, em cada hora, foram segmentados através de quatro faixas horárias do dia.

Para cada uma das quatro faixas horária do dia, as violações foram quantificadas e separadas por faixa de tempo sustentado (consecutivos) durante a qual os valores permaneciam em violação, ou seja, foram totalizados a quantidade de vezes que os valores permaneciam em violação com DHT% maior que 6%, até o momento em que um valor de DHT% encontrar-se abaixo de 6% tomado como limite permissível.

Para o cálculo da média de violação, em cada hora, por consumidor que sofreu a violação durante a faixa horária do dia, foi utilizado a equação (3).

$$Mv = \frac{Qvts}{Qhfh} \quad (3)$$

Onde:

Mv = média de violação por faixa horária;

Qvts = quantidade violação do tempo sustentado;

Qhfh = quantidade horas da faixa horária.

Os Gráficos I e II, mostram a média de violações de harmônicas de tensão, em cada hora, por consumidor com violação para cada faixa horária do dia.

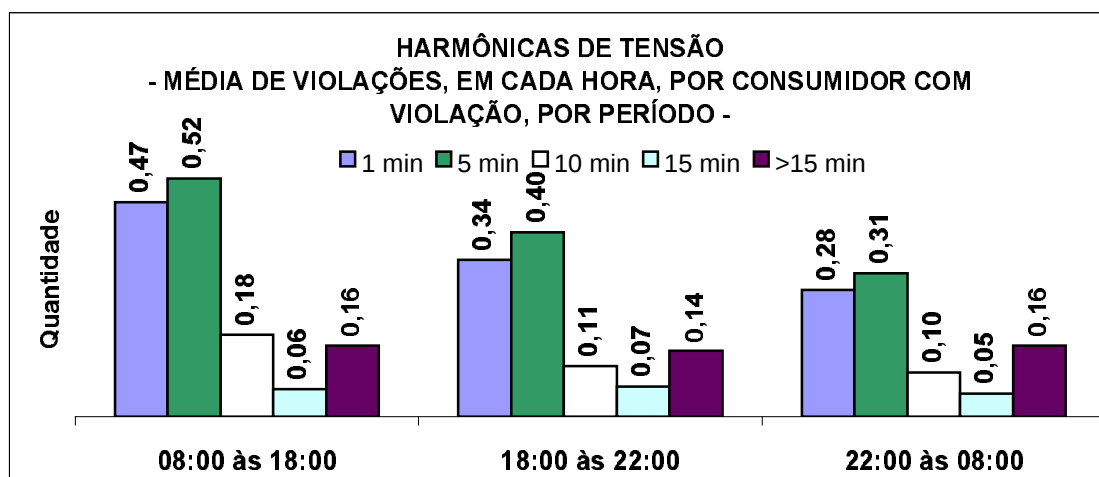


GRÁFICO I – Média de violações de harmônicas de tensão, em cada hora, por consumidor com violação, durante os períodos de: 08:00 às 18:00, 18:00 às 22:00 e 22:00 às 08:00 horas.

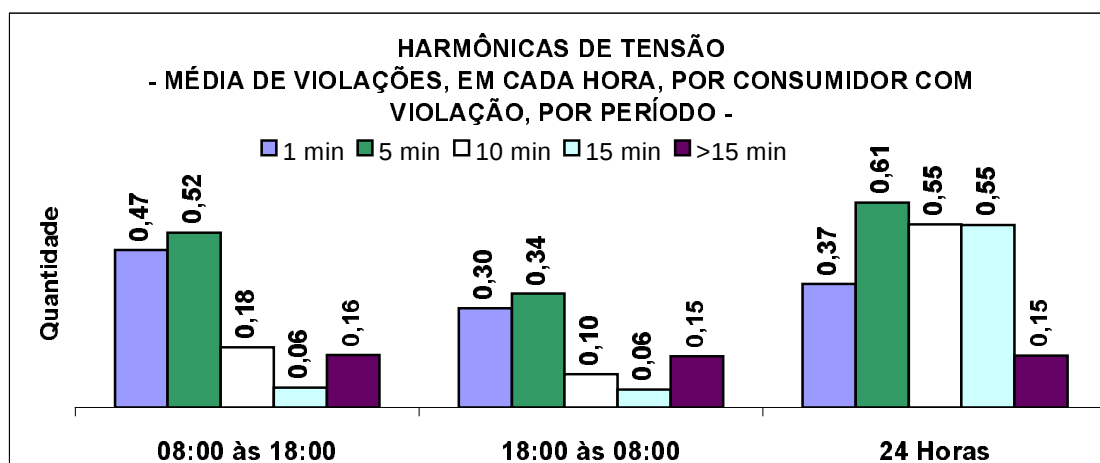


GRÁFICO II – Média de violações de harmônicas de tensão, em cada hora, por consumidor com violação, durante os períodos de: 08:00 às 18:00, 18:00 às 08:00 e 24 horas do dia.

Onde, na sequência das barras da esquerda para a direita temos:

- Primeira barra = de 1 minuto com $DHT\% > 6\%$;
- Segunda barra = maior que 1 minuto até 5 minutos sustentados com $DHT\% > 6\%$;
- Terceira barra = maior que 5 minuto até 10 minutos sustentados com $DHT\% > 6\%$;
- Quarta barra = maior que 10 minuto até 15 minutos sustentados com $DHT\% > 6\%$;
- Quinta barra = maior que 15 minuto sustentados com $DHT\% > 6\%$.

6.4.1. Comentário do Resultado da Média de Violação, em cada hora, por Consumidor

Através dos Gráficos I e II, percebemos que a média de violação de harmônicas de tensão, em cada hora, por consumidor que sofreu violação, são maiores durante o período das 08:00 até às 18:00 horas.

Percebemos também, que a média de violação de harmônicas de tensão, durante o período das 18:00 até às 22:00 horas (gráfico 1), é menor em se comparado ao período das 08:00 até às 18:00 horas. Convém comentar, que mesmo durante o horário de pico, as harmônicas de corrente geradas nos consumidores residenciais não incrementam harmônicos de tensão. Este fenômeno pode, também, estar relacionado às cargas comerciais geradoras de correntes harmônicas ligadas nos circuitos secundários durante o período das 08:00 às 18:00 horas.

Quanto a duração das violações de harmônicos de tensão, percebe-se que a maior média de violação de harmônicas ocorre na faixa de tempo de medição “maior que 1 minuto até 5 minutos sustentados”, em todas as faixas horárias analisadas. Sendo que durante o período das 08:00 até às 18:00 horas ocorreram 0,52 violações de harmônicas de tensão, em cada hora, por consumidor que sofreu violação.

Do resultado desta análise, podemos dizer que para cargas típicas de consumidores do grupo “B”, as medições efetuadas das 08:00 até às 18:00 horas, com intervalos de 5 minutos, são suficientes para quantificar as distorções harmônicas de tensão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Harmônicas de Corrente e Tensão: O que Você quer Saber, Warren h. Lewis, EM abril de 1998;
- [2] Versão 4.0, Anexo 1 do Manual de Implantação e Programa para Coleta de Dados e Cálculo dos Índices de Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica, janeiro de 1998, do Grupo de Implantação Global – Objeto da Portaria DNAEE n. 163/93 (extinta);
- [3] José C. B. de Andrade e outros, Índices de Conformidade e Protocolos de Medição de Distorção Harmônicas, IV SBQEE, pag 333 até 336, agosto de 2001.