

XV SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - SENDI 2002

Impactos Harmônicos em Redes de Distribuição de Energia Oriundos da Iluminação Pública

M. E. L. Tostes, C. C. M. Moura, A. T. Yokoyama, A. L. Luz, U. H. Bezerra e P. S. J. Gama - UFPA

E-mail: tostes@ufpa.br

Palavras-chave – Distorção harmônica, Iluminação pública, Lâmpadas de descarga, Qualidade de energia.

Resumo - O Sistema de iluminação pública tem como principal característica a sua incidência maciça no horário de ponta do sistema elétrico, e deve-se ressaltar que em alguns locais dos centros urbanos a concentração da iluminação pública é comparável ao restante da carga do circuito, o que torna a qualidade da energia nestas áreas de interesse sob os enfoques da concessionária e do consumidor. Neste artigo propõe-se verificar o nível de distorção harmônica de corrente que as lâmpadas utilizadas na iluminação pública geram e analisar os efeitos da penetração harmônica oriunda deste tipo de carga na rede de distribuição, com enfoque nas formas de onda de tensão e de corrente quando da utilização agregada dessas lâmpadas.

1. INTRODUÇÃO

A iluminação pública da cidade de Belém passou por um processo de reforma em seus principais logradouros visando melhorar aspectos como: segurança, eficiência e economia. No sistema de iluminação antigo predominavam lâmpadas com baixo rendimento (pouco fluxo luminoso e grande consumo de energia), o que resultava no iluminamento insuficiente das vias e praças. A fim de solucionar os problemas provocados pelo fluxo luminoso deficiente (acidentes, atropelamentos e assaltos, entre outros) um novo sistema de iluminação pública foi projetado. Os procedimentos adotados envolveram entre outros aspectos a troca de luminárias e lâmpadas antigas por conjuntos melhores e mais eficientes (maior e melhor distribuição do fluxo luminoso, menor consumo) e a adoção de equipamentos auxiliares de fator de potência mais elevado.

Essas medidas reduziram o consumo de energia elétrica em até 75% e alcançaram os objetivos propostos de maior e melhor distribuição do fluxo luminoso nas praças e vias de tráfego mais intenso da cidade. No entanto, levando-se em consideração que as estatísticas mostram que no Brasil o consumo de energia a partir dos sistemas urbanos e rurais de iluminação pública representa 3,5% do consumo nacional de energia elétrica [4], os diversos tipos de lâmpadas e seus equipamentos associados merecem atenção especial quando se trata dos aspectos relacionados à qualidade da energia, pois esses

componentes geram correntes harmônicas que circularão no sistema elétrico abastecedor, e dependendo das proporções carga/ sistema/ fonte, as conseqüências tais como correntes desequilibradas circulando pelo neutro, sobrecarga nos condutores e grande distorção da forma de onda na fonte, podem acarretar em perdas excessivas no sistema e de vida útil de equipamentos.

Neste artigo propõe-se verificar os níveis de distorção harmônica oriundos deste tipo de carga na rede de distribuição, tomando como base as medidas coletadas no próprio sistema de iluminação. Como resultados preliminares serão apresentadas algumas medições envolvendo os principais tipos de lâmpadas utilizados na iluminação pública individualmente e em duas importantes vias de tráfego da cidade de Belém. Os resultados das medidas e suas análises poderão servir como contribuição ao monitoramento do próprio sistema e de subsídios a novos projetos, a fim de solucionar problemas como interferência nos sistemas de controle, comando, proteção e de telecomunicações que possam vir a ocorrer em função da circulação de correntes harmônicas na rede de distribuição de energia.

2. AVALIAÇÃO HARMÔNICA DA CORRENTE GERADA PELAS LÂMPADAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

As lâmpadas utilizadas em iluminação pública são em sua grande maioria lâmpadas de descarga. Existem vários tipos de lâmpadas de descarga, que são diferenciadas em geral pelo tipo do gás contido no bulbo e pela potência. As mais utilizadas em iluminação pública são as de vapor de sódio, vapor de mercúrio e vapor metálico. Neste item será realizada uma breve introdução teórica a respeito do funcionamento das lâmpadas de descarga e também uma análise quanto à geração harmônica nos principais tipos e potências de lâmpadas de iluminação pública da cidade de Belém.

2.1. Lâmpadas de Descarga

As lâmpadas de descarga passaram a ter maior relevância nos estudos relacionados a Qualidade de Energia a partir da implementação do Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica (PROCEL) e das

campanhas promovidas por esse órgão do governo no sentido de incentivar a utilização de equipamentos com maior eficiência energética (Gerenciamento pelo Lado da Demanda – GLD e atuação no uso final da energia). Entre as propostas elaboradas a fim de atingir as metas de diminuição do consumo de energia elétrica podem ser destacadas [3, 6]:

- A utilização de inversores para controlar a velocidade de motores de corrente alternada.
- A troca de lâmpadas incandescentes por lâmpadas de descarga.
- A instalação de bancos de capacitores para correção do fator de potência.
- A utilização de reatores eletrônicos que proporcionam o controle do fluxo luminoso produzido pelas lâmpadas (*dimmer*).
- A troca de lâmpadas de Vapor de Mercúrio por lâmpadas de Vapor de Sódio nos sistemas de iluminação pública (IP).

As lâmpadas de descarga são compostas por um tubo de arco onde se produzirá o efeito luminoso. A radiação luminosa é provocada pelo choque entre os elétrons e os átomos dos gases que compõem a lâmpada, formando um arco elétrico entre os eletrodos instalados nas suas extremidades. A energia luminosa liberada depende da pressão interna da lâmpada, da natureza do gás ou da presença de partículas metálicas ou halógenas no seu interior. O tubo que envolve a lâmpada pode ser revestido internamente com material fosforescente para melhorar a reprodução das cores. Entre as suas principais características estão a elevada eficiência luminosa e a vida útil prolongada, representando grandes vantagens em termos de economia de energia.

Por outro lado, a proliferação das lâmpadas de descarga em ambientes residenciais, comerciais, industriais e na iluminação pública, a despeito de significarem uma diminuição no consumo de energia elétrica, representa a introdução de distorções harmônicas significativas nas redes dos Sistemas de Energia Elétrica. A utilização de lâmpadas de descarga diminui o fator de potência do circuito e aumenta a taxa de distorção harmônica. O problema relacionado com a utilização dessas lâmpadas está associado à não-linearidade do processo de geração do fluxo luminoso, que envolve a operação dos reatores utilizados para prover a ignição do arco elétrico.

Com exceção das lâmpadas de luz mista, todas as lâmpadas de descarga necessitam de reator para auxiliar na partida. Algumas também necessitam de outro dispositivo auxiliar: o ignitor, que provoca o degrau inicial de tensão no reator, que o transfere para as extremidades da lâmpada. A não-linearidade, portanto, conferem às lâmpadas de descarga características que podem comprometer os níveis de qualidade de energia de um sistema.

2.2. Avaliação Harmônica das Lâmpadas de Iluminação Pública (IP)

Os principais tipos de lâmpadas de iluminação pública utilizados na rede metropolitana de Belém são:

- Lâmpadas a vapor de sódio nas potências de 400W, 250W, 150W e 70W;
- Lâmpadas a vapor de mercúrio nas potências de 400W, 250W, 125W e 80W;
- Lâmpadas de multi-vapores metálicos nas potências de 400W, 250W, 150W e 70W.

Algumas dessas lâmpadas de descarga foram testadas em laboratório utilizando-se o Analisador de Qualidade de Energia FLUKE 43 e o Registrador MARH-21/993 da RMS Sistemas Eletrônicos [5, 10]. Para essas medidas, a tensão de alimentação a vazio apresentou o $THD_V\%$ (Distorção Harmônica Total de Tensão) em torno de 2,44%, como mostrado no espectro harmônico da figura 1. Com as lâmpadas acesas os níveis de distorção harmônica variaram entre 2% e 6%, sendo o harmônico de quinta ordem nos dois casos o mais significativo.

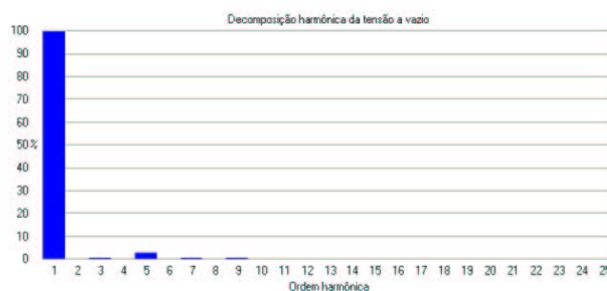


Figura 1- Decomposição harmônica da tensão de alimentação das lâmpadas a vazio.

2.2.1. Lâmpadas a Vapor de Sódio

- *Lâmpada a Vapor de Sódio de 400W*

A figura 2 mostra que o nível de $THD_I\%$ (Distorção Harmônica Total de Corrente) gerado por esse tipo de lâmpada alcançou 33,59%. As componentes harmônicas mais relevantes foram de terceira, quinta e sétima ordem (15,6%, 27,8% e 7,7%, respectivamente). O fator de potência registrado no momento da medição, conforme mostra a figura 3, foi de 0,72 e o fator de deslocamento foi de 0,77.

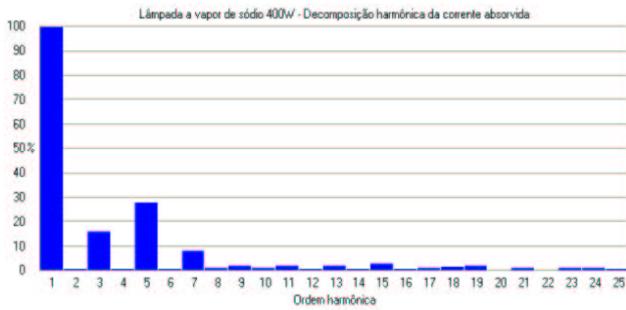


Figura 2- Lâmpada a vapor de sódio de 400W - decomposição harmônica da corrente.



Figura 3- Lâmpada a vapor de sódio de 400W - potências ativa, aparente e reativa, fator de potência e fator de deslocamento.

▪ *Lâmpada a Vapor de Sódio de 250W*

Para este tipo de lâmpada o THD_i% foi da ordem de 37,8%, sendo que os harmônicos de terceira, quinta e sétima ordem foram os mais significativos, alcançando 16%, 31,5% e 7,5%, respectivamente. A decomposição harmônica da corrente é mostrada na figura 4. A figura 5 mostra o perfil das potências ativa, aparente e reativa, bem como o fator de potência e o fator de deslocamento verificados no momento da medição.

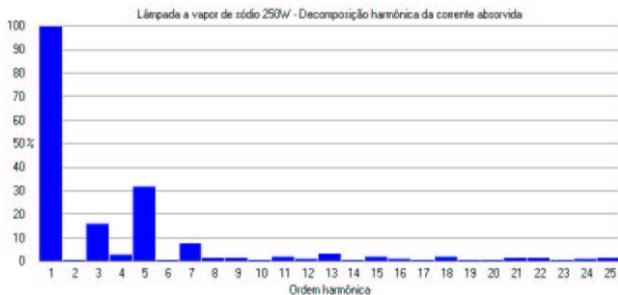


Figura 4- Lâmpada a vapor de sódio de 250W - decomposição harmônica da corrente.



Figura 5- Lâmpada a vapor de sódio de 250W - potências ativa, aparente e reativa, fator de potência e fator de deslocamento.

▪ *Lâmpada a Vapor de Sódio de 150W*

Este tipo de lâmpada apresentou nível de THD_i% da ordem de 40,10%, sendo mais significativos os harmônicos de terceira, quinta e sétima ordem. A figura 6 apresenta as formas de onda de tensão e corrente no momento da medição juntamente com as potências ativa, aparente e reativa e o fator de potência e de deslocamento.

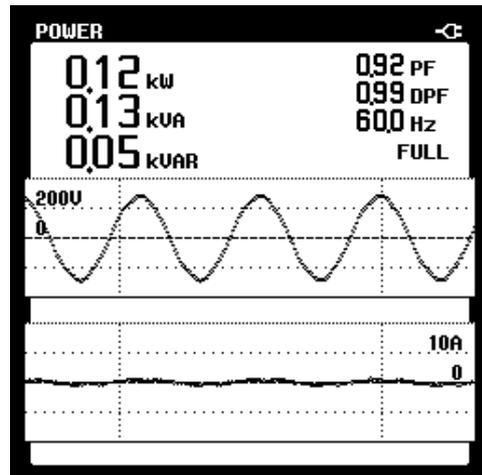


Figura 6- Lâmpada a vapor de sódio de 150W - potências ativa, aparente e reativa, fator de potência e fator de deslocamento.

▪ *Lâmpada a Vapor de Sódio de 70W*

A figura 7 apresenta os valores de potência ativa, aparente e reativa e o fator de potência e de deslocamento obtidos para a lâmpada de vapor de sódio de 70W. Na figura, também aparecem as formas de onda de tensão e de corrente no momento da medição.



Figura 7- Lâmpada a vapor de sódio de 150W - potências ativa, aparente e reativa, fator de potência e fator de deslocamento.

2.2.2. Lâmpadas a Vapor de Mercúrio

▪ Lâmpada a Vapor de Mercúrio de 400W

O nível de THD_i% gerado por este tipo de lâmpada atingiu 16,61%, como mostra a figura 8, que apresenta o espectro harmônico de corrente até a 25^a harmônica. Nesse caso, destacaram-se as harmônicas de terceira, quinta e sétima ordem, que atingiram 12,2%, 9,4% e 2,5%, respectivamente. O fator de potência do conjunto lâmpada-reator foi de 0,95 e o fator de deslocamento igual a 0,97, como mostra a figura 9.

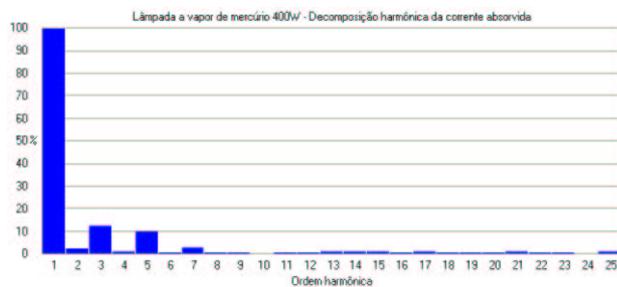


Figura 8- Lâmpada a vapor de mercúrio de 400W – espectro harmônico de corrente.



Figura 9- Lâmpada a vapor de mercúrio de 400W – potências ativa, aparente e reativa, fator de potência e fator de deslocamento.

▪ Lâmpada a Vapor de Mercúrio de 250W

A figura 10 apresenta o espectro harmônico de corrente obtido nas medições com a lâmpada de vapor de mercúrio de 250W, onde o THD_i% atingiu 16,64%. As componentes mais significativas foram a de 3^a ordem, que atingiu 9,6% e a de 5^a ordem, com 9,4%. A figura 11 apresenta o perfil de tensão, corrente, potência e de fator de potência verificados no momento da medição para esse tipo de lâmpada.

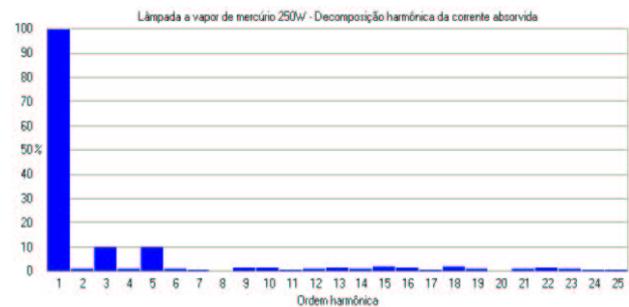


Figura 10- Lâmpada a vapor de mercúrio de 250W – espectro harmônico de corrente.



Figura 11- Lâmpada a vapor de mercúrio de 250W – potências ativa, aparente e reativa, fator de potência e fator de deslocamento.

- *Lâmpada a Vapor de Mercúrio de 125W*

Para a lâmpada de vapor de mercúrio de 125W foi verificado um $THD_1\%$ de 30,49%, com maiores contribuições dos harmônicos de terceira e quinta ordem. A figura 12 apresenta o perfil da potência ativa, aparente e reativa consumida por este tipo de lâmpada no momento das medições de laboratório, além de seu fator de potência, do fator de deslocamento e da frequência do sistema.



Figura 12- Lâmpada a vapor de mercúrio de 125W – potências ativa, aparente e reativa, fator de potência e fator de deslocamento.

2.2.3. Lâmpadas a Vapor Metálico

- *Lâmpada a Vapor Metálico de 400W*

A figura 13 apresenta o espectro harmônico da corrente absorvida pela lâmpada a vapor metálico de 400W utilizada nas medições de laboratório. Seu $THD_1\%$ foi de 21,06%. As componentes harmônicas mais relevantes geradas por este tipo de lâmpada foram de terceira, quinta e sétima ordem, que no momento das medições atingiram 19,4%, 4,9% e 3,2%, respectivamente.

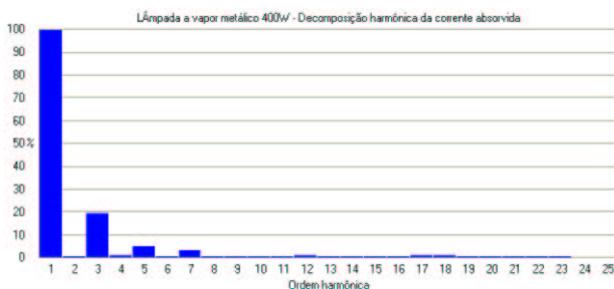


Figura 13- Lâmpada a vapor metálico de 400W – espectro harmônico de corrente.

Na figura 14 é apresentado o perfil de potências verificado para essa lâmpada no momento da medição.

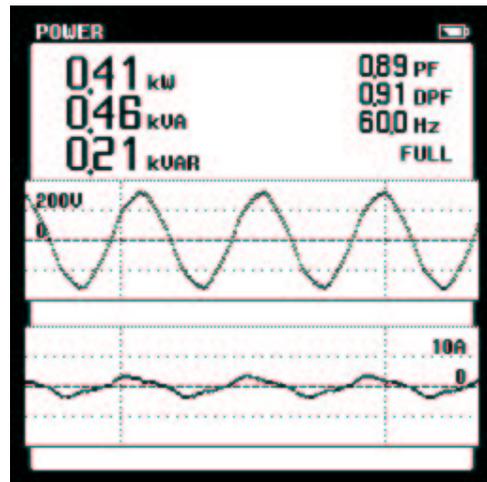


Figura 14- Lâmpada a vapor metálico de 400W – potências ativa, aparente e reativa, fator de potência e fator de deslocamento.

- *Lâmpada a Vapor Metálico de 250W*

O $THD_1\%$ verificado para esse tipo de lâmpada foi de 30,50%, como mostra a figura 15. As componentes harmônicas mais relevantes geradas por este tipo de lâmpada foram de terceira, quinta e sétima ordem, que no momento das medições atingiram os valores de 19,4%, 20,9% e 5,2%, respectivamente.



Figura 15- Lâmpada a vapor metálico de 250W – espectro harmônico de corrente.

A figura 16 apresenta o perfil de tensão, corrente, potência e de fator de potência verificados no momento das medições para a lâmpada a vapor metálico de 250W.



Figura 16- Lâmpada a vapor metálico de 250W – potências ativa, aparente e reativa, fator de potência e fator de deslocamento.



Figura 17- Foto tirada na Avenida Almirante Barroso mostrando o transformador de distribuição onde foram realizadas as medidas, e um dos postes de quatro pétalas ao fundo.

3. IMPACTO PROVOCADO PELAS LÂMPADAS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Para a avaliação do impacto da geração harmônica na rede metropolitana de Belém empregou-se a metodologia de selecionar transformadores de distribuição utilizados exclusivamente na iluminação pública e realizar, através de medição direta, análises de geração de harmônicos de corrente no momento em que as lâmpadas entram no sistema, verificando a variação da tensão da rede antes e durante a entrada das lâmpadas e depois que as lâmpadas entram em regime. Considerando-se a necessidade mundial de conservação de energia, o procedimento geral adotado para os sistemas de iluminação pública tem sido a troca das lâmpadas de vapor de mercúrio por lâmpadas de vapor de sódio, principalmente em função da elevada eficiência energética apresentada por essas últimas. Em virtude do exposto foram escolhidas inicialmente duas vias iluminadas por lâmpadas a vapor de sódio para as análises propostas no presente trabalho.

As medições foram realizadas nos sistemas de IP da Avenida Almirante Barroso e da Travessa 25 de Setembro, com o Analisador de Qualidade de Energia FLUKE 43 e com o Registrador MARH-21/993 da RMS [5, 10].

3.1. Medidas Coletadas na Avenida Almirante Barroso

O novo sistema de iluminação da Avenida Almirante Barroso inclui postes de concreto de 13,5m de altura instalados no canteiro central da Avenida (figura 17). O espaçamento entre eles varia entre 38 e 45m. Os transformadores exclusivos de alimentação do sistema central de iluminação pública são de 30kVA e alimentam 15 postes com quatro lâmpadas de vapor de sódio de 400W cada um.

A figura 18 apresenta o perfil de potência ativa, potência reativa, potência aparente e de fator de potência e fator de deslocamento verificados no momento da medição para um dos transformadores do sistema de iluminação pública da Avenida Almirante Barroso. Essa figura mostra também as formas de onda de tensão e de corrente num instante de medição.

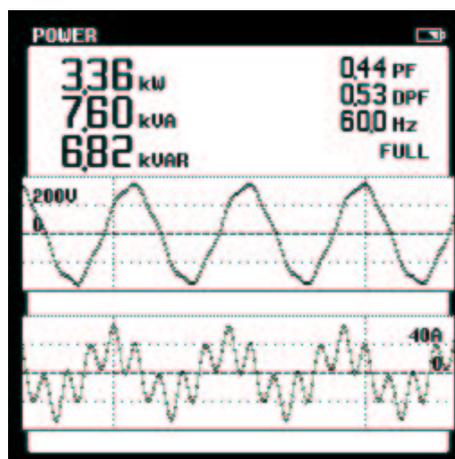


Figura 18- Av. Almirante Barroso – potências ativa, aparente e reativa, fator de potência e fator de deslocamento.

A figura 19 mostra a forma de onda da corrente solicitada pelas lâmpadas. A figura 20 apresenta o espectro harmônico produzido pela forma de onda da figura 19, onde se verifica um THD_r% de 59,37%, sendo a distorção proveniente da quinta harmônica igual a 73,2%, da terceira harmônica igual a 2% e da sétima harmônica igual a 7,6%.

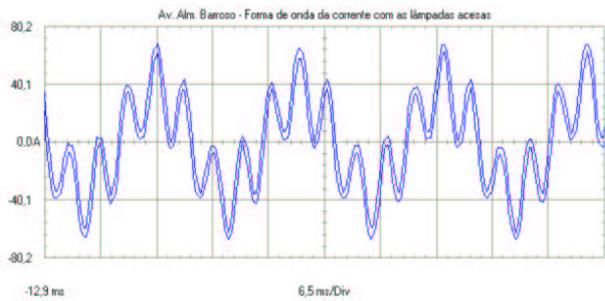


Figura 19- Forma de onda de corrente do transformador de distribuição exclusivo de iluminação pública, na Av. Almirante Barroso, com as lâmpadas acesas.



Figura 20- Espectro harmônico de corrente obtido após as lâmpadas de iluminação pública entrarem em regime.

A figura 21 mostra a distorção harmônica total de corrente ocorrida em cada uma das três fases (a, b e c). As medidas de 1 a 7 correspondem ao período antes da entrada das lâmpadas. Após a entrada das lâmpadas no sistema observou-se um acréscimo no $DHT_1\%$, que refletiu no perfil de distorção de tensão mostrado nas figuras a seguir.

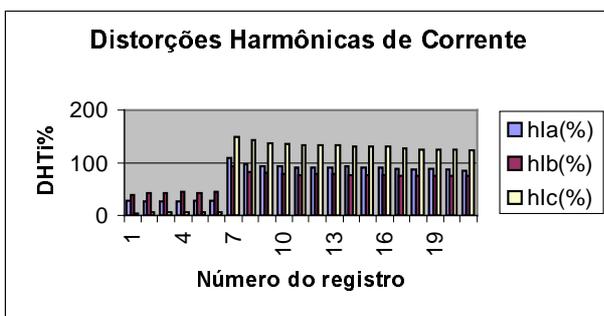


Figura 21- Distorção Harmônica Total de Corrente nas três fases do transformador de IP da Av. Almirante Barroso.

As figuras 22 e 23 mostram a variação da tensão da rede antes e durante a entrada das lâmpadas e depois que as lâmpadas entram em regime, respectivamente. Na figura 22 nota-se que a distorção de tensão existente nos bornes do transformador antes das lâmpadas de IP acenderem está em torno 4%, e que logo após a entrada do sistema de IP passa um certo tempo (aproximadamente cinco minutos) em torno de 8%.

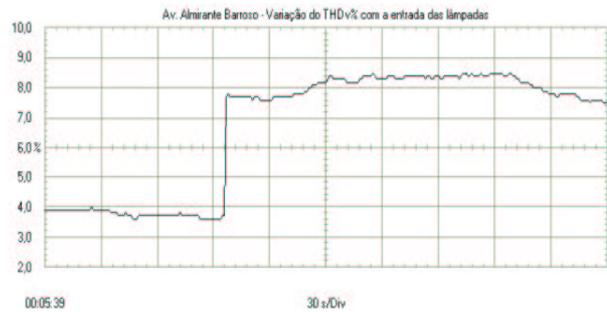


Figura 22- Variação do $THD_v\%$ antes e durante a entrada das lâmpadas no transformador de IP da Av. Almirante Barroso.

Na figura 23 verifica-se que o $THD_v\%$ estabiliza-se em 6% após a entrada em regime das lâmpadas, encontrando-se acima dos limites permitidos em norma [7, 8].

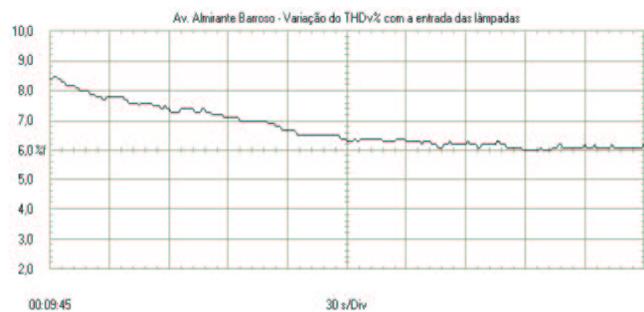


Figura 23- Variação do $THD_v\%$ com a entrada das lâmpadas no transformador de IP da Av. Almirante Barroso.

A figura 24 mostra a distorção harmônica total de tensão ocorrida em cada uma das três fases (a, b e c). A figura mostra que antes da entrada das lâmpadas (o que corresponde às medidas de 1 a 7) o $DHT_v\%$ era inferior a 5%. Após a entrada das lâmpadas no sistema o $DHT_v\%$ ultrapassou o limite permitido em normas [7, 8], atingindo 13% na fase c.

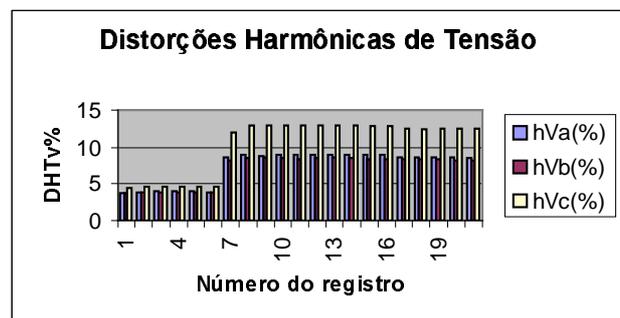


Figura 24- Distorção Harmônica Total de Tensão nas três fases do transformador de IP da Av. Almirante Barroso.

As figuras 25 e 26 mostram a variação da tensão RMS ocorrida durante a entrada das lâmpadas de iluminação pública medida no lado de baixa tensão do transformador. Essa começa em torno de 233,5V, desce por alguns segundos para 225V e depois estabiliza por volta de 232,5V.



Figura 25- Variação da tensão RMS com a entrada das lâmpadas no transformador de IP da Av. Almirante Barroso.



Figura 26- Variação da tensão RMS com a entrada das lâmpadas no transformador de IP da Av. Almirante Barroso.

3.2. Medidas Coletadas na Travessa 25 de Setembro

O sistema de iluminação antigo da Travessa 25 de Setembro incluía 54 luminárias com uma lâmpada de vapor de mercúrio de 400W cada uma, totalizando 25.826VA de potência. Com a mudança passou-se a ter instalados 18 postes de ferro curvo duplo com duas luminárias contendo uma lâmpada de vapor de sódio de 250W cada uma, totalizando 36 luminárias que, gerando o mesmo nível de iluminação, com melhor distribuição, utilizam 10.760VA.

Os postes de ferro estão instalados no canteiro central da travessa, possuindo 10m de altura e espaçamento médio de 30m entre eles. O transformador de 30kVA utilizado nas medições da Travessa 25 de Setembro alimenta os 18 postes de ferro do sistema de iluminação pública. Esse transformador ainda alimenta 47 luminárias decorativas de calçada com uma lâmpada de vapor de sódio de 70W cada. Os postes com as luminárias decorativas possuem 3m de altura.

Verifica-se nas figuras 27 e 28 (forma de onda de corrente e espectro harmônico, respectivamente) que a forma de onda produzida pelas lâmpadas do transformador estudado produzem um $THD_I\%$ de 62,93%, sendo a parcela de quinta harmônica a mais significativa, alcançando 61,2%. As harmônicas de terceira e sétima ordem alcançaram níveis iguais a 10,9% e 8,8%, respectivamente.

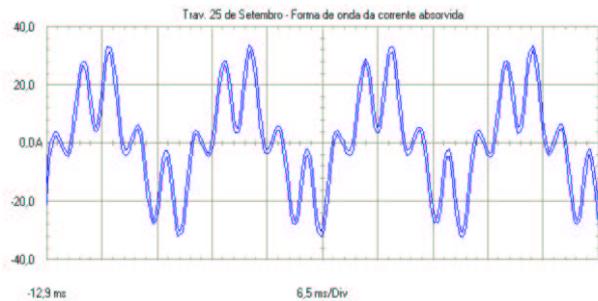


Figura 27- Forma de onda de corrente, no lado de baixa tensão do transformador de distribuição 15 kVA, da Trav. 25 de Setembro, com as lâmpadas acesas.

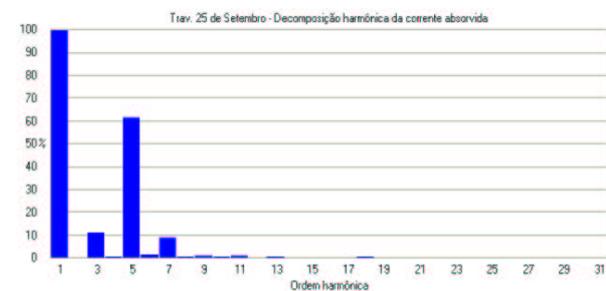


Figura 28- Espectro harmônico da forma de onda da figura 27.

Na figura 29 apresenta-se o espectro harmônico da tensão no momento das medidas da figura 27. O $THD_V\%$ neste momento era de 8,26%, encontrando-se muito acima do permitido em normas.



Figura 29- Espectro harmônico da forma de onda da tensão, com as lâmpadas acesas. A corrente tinha a forma de onda apresentada na figura 27.

O $THD_V\%$, que antes da entrada das lâmpadas de iluminação pública variava em torno de 4,9% (figura 30), quase duplicou durante a entrada das lâmpadas (atingiu 8,26%) e estabilizou em 7,6%, como mostra a variação com o tempo na figura 31. Conforme verificado, após a entrada em regime das lâmpadas o $THD_V\%$ encontrou-se ainda acima dos limites permitidos em norma [7, 8].

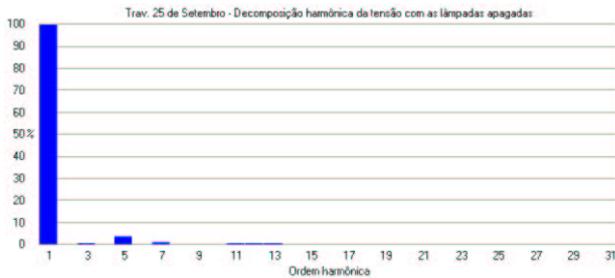


Figura 30- Espectro harmônico da forma de onda de tensão do transformador de Iluminação Pública antes da entrada das lâmpadas.



Figura 31- Variação do THD_v% após a entrada das lâmpadas no transformador de IP da Trav. 25 de Setembro.

4. CONCLUSÃO

Os estudos associados à qualidade da energia proveniente dos sistemas de iluminação tornaram-se mais relevantes à medida que as novas tecnologias associadas à fabricação de equipamentos evidenciaram a necessidade de manter os níveis de tensão e corrente dentro de padrões internacionais de qualidade. Como consequência, distorções harmônicas elevadas devem ser evitadas nos sistemas de iluminação pública, pois em geral outros equipamentos ligados à rede, como semáforos, painéis digitais de comunicação visual, painéis digitais de tempo e outros, podem ter seu funcionamento afetado.

No presente trabalho, verificou-se que todas as lâmpadas utilizadas atualmente na IP, quando alimentadas com tensão totalmente senoidal ou não, produzem correntes com níveis elevados de distorções harmônicas que por sua vez provocam distorções na tensão que as alimenta.

Verificou-se também que a introdução das lâmpadas de iluminação pública nos sistemas de distribuição modificam o perfil da energia elétrica, afetando a qualidade das formas de onda de tensão e de corrente que circulam nesses sistemas. Os níveis de distorções totais na tensão (THD_v%) aumentaram na Av. Almirante Barroso de 4% para 6%, e na Trav. 25 de Setembro de 4,9% para 7,6%, levando o THD_v% na saída dos transformadores a níveis acima dos permitidos por normas.

Os resultados preliminares apresentados nesse trabalho advertem para a real necessidade de se levar em consideração a presença das distorções harmônicas nos sistemas de iluminação pública. Portanto, os circuitos

parciais dos alimentadores, e mesmo a rede tronco, devem ser cuidadosamente dimensionados. Outrossim, formas de mitigação das distorções provenientes dos transformadores que alimentam essas cargas devem ser propostas levando-se em consideração a sensibilidade dos equipamentos modernos aos distúrbios da tensão.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar os seus sinceros agradecimentos à equipe da SOBELE Engenharia pelo apoio técnico nas medições realizadas em campo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Araújo, I. M. T.; Barbosa, R.; Coimbra, C. M.; Pacheco, L. F. L.; Santos, A. G. "O Programa de Iluminação Pública do PROCEL: Redução do Consumo de Energia Elétrica e Melhoria da Qualidade do Serviço". XV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu-PR, Brasil. Outubro de 1999.
- [2] Bompard, E.; Carpaneto, E.; Chicco, G.; Ribaldone, P. and Vercellino, C. "The Impact of Public Lighting on Voltage Distortion in Low Voltage Distribution Systems". IEEE Transactions on Power Delivery, vol.16, no.4. October 2001.
- [3] Bronzeado, H. S.; Lima, E. N.; Silva, D. S. e Soares, L. R. "Conservação e Qualidade de Energia Elétrica: Análise Comparativa entre os Reatores Eletrônicos e Eletromagnéticos Usados em Sistemas de Iluminação Fluorescente". III SBQEE – Seminário Brasileiro de Qualidade de Energia Elétrica. Brasília-DF, Brasil. Agosto de 1999.
- [4] ELETROBRÁS/ PROCEL. "Iluminação Pública - Orientação para Projetos de Iluminação Pública Eficiente" - Kit Prefeitura. Maio de 1999.
- [5] FLUKE 43 – Power Quality Analyser: Application Guide.
- [6] Gama, P. H. R. P. e Oliveira, A. "Conservação de Energia e sua Relação com a Qualidade de Energia Elétrica". XV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - STC/02. Foz do Iguaçu-PR, Brasil. Outubro de 1999.
- [7] *Guide for Applying Harmonic Limits on Power System*. P519A Task Force of the Harmonics

Working Group (IEEE PES T&D Committee) and SCC22 - Power Quality. IEEE. May, 1996.

- [8] IEEE Recommended Practice for Electric Power Quality. IEEE Std. 1159-1995. New York. IEEE,1995.
- [9] Leão, R. P. S.; Tavares, T. N. e Batista, J. T. “Conservação e Poluição no uso de Lâmpadas de Descarga”. III SBQEE – Seminário Brasileiro Sobre Qualidade da Energia Elétrica. Brasília–DF, Brasil. Agosto de 1999.
- [10] RMS Sistemas Eletrônicos – Registrador de Qualidade de Energia MARH-21/ 993 – Manual de Instruções.