

Harmônicas Produzidas pela Saturação de Transformadores - Relato de Caso.

Guilherme A. D. Dias^{1,2}

José Hélio Justo²

Marcos Tello^{1,2}

¹ PUCRS/EPO/DEE

GCEM - Grupo de Compatibilidade EletroMagnética

Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 30 - Sala 221

CEP 90619-900 - Porto Alegre - RS

Fone: (051) 339-1511 / 3294 - Fax: (051) 339-1060

E - mail: gaddias@ee.pucrs.br

² Companhia Estadual de Energia Elétrica - CEEE

Superintendência de Transmissão

Avenida Joaquim Porto Villanova 401, Pr. A1, s. 767

CEP 91.410 - 400, Porto Alegre - RS, Brasil

Fone (051) 382 .4297, (051) 382 5272

FAX (051) 382 4395 e (051) 382 4068

Resumo - Este trabalho apresenta o que está sendo realizado para resolver o problema de Qualidade da Energia no estado do Rio Grande do Sul, em Chuí e Santa Vitória do Palmar, devido à saturação dos transformadores de distribuição tanto na Concessionária quanto nos consumidores.

Palavras chave - Saturação dos transformadores, harmônicas, qualidade da energia elétrica.

Abstract - This paper presents what have been done to solve the problem of electric energy quality in Chuí and Santa Vitória do Palmar, State of Rio Grande do Sul, due to the saturation of distribution transformers in electrical in the Utility and its consumers.

Keywords - Transformer saturation, harmonics, quality of electric energy.

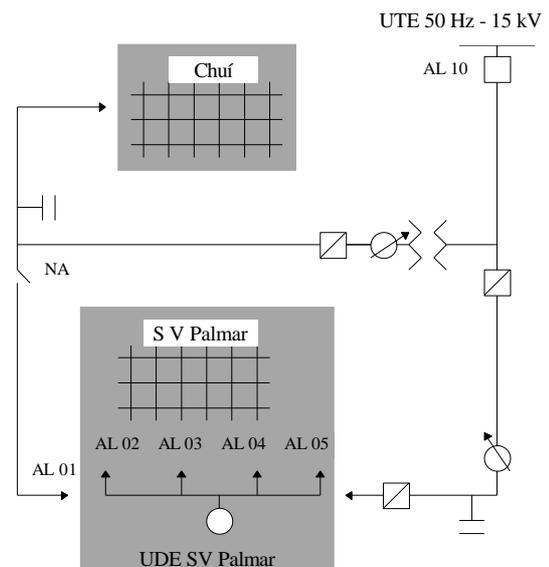
1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta o que está sendo realizado para resolver problema de Qualidade da Energia, ocorrida no estado do Rio Grande do Sul, em Chuí e Santa Vitória do Palmar ^[1], devido a saturação dos transformadores de distribuição. A detecção de tal problema deveu - se à reclamações dos consumidores por fornecimento de energia de não boa qualidade (quedas de tensão elevadas, etc.) e queima de equipamentos (microcomputadores, etc.).

2. SISTEMA ELÉTRICO EXISTENTE

Um aspecto de importância fundamental se refere a frequência de fornecimento de energia da região que é de 50 Hz, tratando - se de um sistema que opera isolado (do sistema brasileiro de 60 Hz) suprido por uma Usina Diesel - Elétrica de pequena capacidade ou interligado ao sistema elétrico do Uruguai (UTE - Administracion Nacional de Usinas e Transmisiones Electricas del Uruguay) através de alimentador de 13,8 kV no Chuí.

O diagrama esquemático dos alimentadores do Sistema Sul (Santa Vitória do Palmar e Chuí), está apresentado na Figura 1, indicada a seguir. Este diagrama apresenta a configuração do sistema em JULHO de 1996.



Simbologia e notas

	Religador		Transformador
	Regulador de		Chave
	Banco de capacitores		

A tensão do AL 05 é 23 kV.
Os demais alimentadores são em 13,8 kV

Figura 1 - Sistema de distribuição de energia elétrica do Chuí e Santa Vitória do Palmar.

As cargas em baixa tensão são alimentadas em 220 e 380 V, sendo as maiores cargas compostas

por Cooperativas de beneficiamento de produtos agrícolas e o conjunto de consumidores residenciais.

3. DIAGNÓSTICO

A partir do conhecimento do sistema elétrico local e dos problemas descritos pelos consumidores, foram realizados diagnósticos, preliminares, através de medições junto a Usina Diesel Elétrica de Santa Vitória do Palmar que conduziram a seguinte hipótese:

O problema da região se deve ao alto conteúdo harmônico existente na rede de distribuição em alta e baixa tensão, devido ao emprego de transformadores de frequência 60 Hz, operando saturados, em 50 Hz. Sabe - se que as distorções harmônicas podem causar danos (aquecimentos, perdas, desligamento intempestivo, torques pulsantes em motores, comprometimento da classe de exatidão de medidores, etc.), sendo que o grau de imunidade varia de equipamento para equipamento (para computadores DHT £5 %, para pontes retificadoras DHT £5 %, para cabos DHT £10 %, etc.).

A partir deste diagnóstico fez - se uma verificação simples do comportamento linear esperado para os transformadores de distribuição, pelo emprego da equação 91), a seguir apresentada.

$$B_{max} = \frac{U_{ef}}{4 \cdot FF \cdot S \cdot N \cdot f} \quad (1)$$

Onde:

B_{max}	Indução máxima no núcleo (T)
U_{ef}	Tensão eficaz (V)
FF	Fator de forma (adimensional)
S	Seção do núcleo (m ²)
N	Número de espiras (adimensional)
f	Frequência (Hz)

Tal equação pressupõe que o transformador está operando em regime senoidal e dentro da região linear da sua CNM - Curva Normal de Magnetização. Considerando que a indução máxima do transformador não deva ser excedida para que o mesmo não atinja a região de saturação do núcleo e que somente será alterada a frequência de operação de 60 (nominal) para 50 Hz, determina - se a máxima tensão de operação de tal modo que a indução, máxima, não seja ultrapassada, ou seja (2):

$$\frac{U_{ef}(60 \text{ Hz})}{U_{ef}(50 \text{ Hz})} = 1,2 \quad (2)$$

Assim sendo, para avaliar e comprovar este diagnóstico, foram realizadas ensaios em tensão

nominal, em transformadores de distribuição de 60 Hz empregados em 50 Hz, constatando - se que estes últimos não deveriam operar (em sistema de 13,8 kV) com tensões superiores a 11,5 kV. A operação acima deste nível de tensão leva o transformador a uma região de saturação e correspondente distorção harmônica elevada. Uma constatação que prejudicou este diagnóstico, é que as cargas elétricas a serem supridas e as distâncias de transmissão envolvidas obrigavam a que se mantivessem as maiores tensões possíveis no sistema o que resulta na saturação dos transformadores dos consumidores e da própria concessionária, com produção significativa de harmônicas.

4. CRITÉRIOS ADOTADOS

Ao longo do tempo, a partir das constatações iniciais, foram realizados programas periódicos de monitoramento do conteúdo harmônico da tensão e corrente junto aos consumidores e nas próprias instalações da concessionária. Para definir se a distorção harmônica medida era elevada ou pequena, foram utilizados os limites suportáveis de distorção harmônicas de tensão e corrente propostos pelo GCOI / GCPS - Grupo Coordenador da Operação Interligada / Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos, sob o título *Crítérios e procedimentos para o atendimento a consumidores com cargas especiais* (fevereiro de 1993)^[3], e, os limites propostos pelo CODI - Comitê de Distribuição, sob o título *Limites para frequências harmônicas*, relatório SCPE.32.01^[4].

Considerando que as medições de distorção harmônica se referem ao sistema de distribuição de Santa Vitória do Palmar e Chuí, foram empregados os limites sugeridos pelo CODI (mais rigorosos que os limites do GCPS), a saber: *a distorção harmônica total em qualquer ponto (de acoplamento comum) em sistemas de distribuição, não deve exceder 5 %.*

5. MONITORAMENTO DE HARMÔNICAS

Foram realizadas medições de distorção harmônica^[2] de tensão e corrente, junto às fontes de alimentação e consumidores, chegando - se as seguintes constatações:

- Junto as fontes de suprimento (alimentador do Uruguai e Usina Diesel Elétrica) a distorção harmônica é pequena (menor do que 5 %);
- Junto as cargas em baixa tensão a distorção harmônica é elevada (maior do que 5 %).

Uma das medições de harmônicas no sistema, apresentou a forma de onda indicada na Figura 2, abaixo.

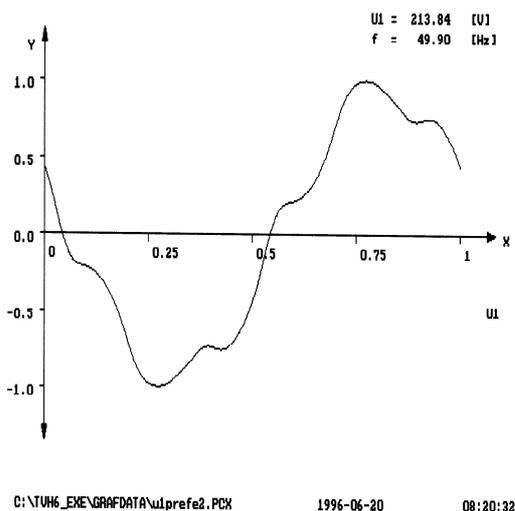


Figura 2 - Forma de onda de tensão medida junto a um consumidor da região de Chuí e Santa Vitória do Palmar.

O espectro de freqüências correspondente a forma de onda de tensão junto a um consumidor (Figura 2), se encontra apresentado na Figura 3, a seguir.

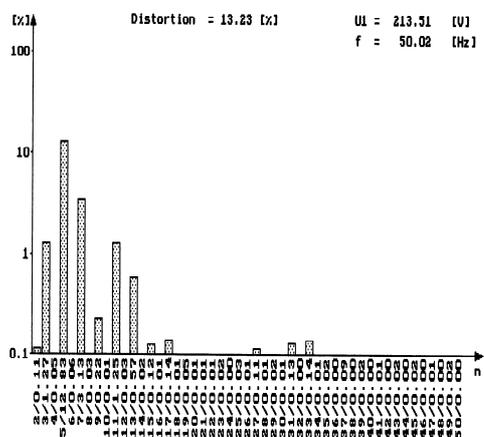


Figura 3 - Espectro de freqüências correspondente a forma de onda de tensão da Figura 2.

Outro aspecto previsto, teoricamente, e confirmado nas medições de tensão, é o do comportamento do fator de potência ($\cos\phi$), o qual resulta em um aumento de tensão implica na redução do fator de potência ($\cos\phi$) e vice-versa, conforme pode ser visualizado na Figura 4.

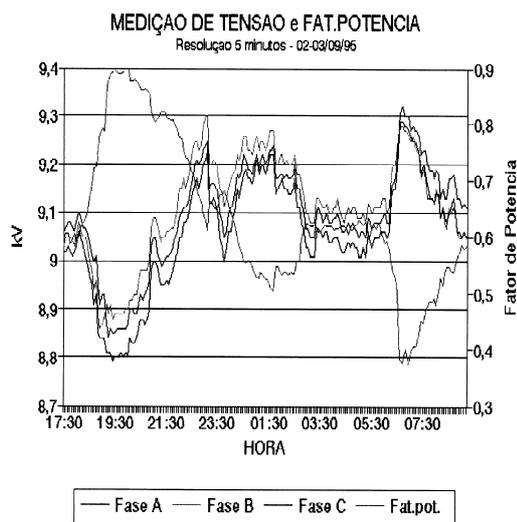


Figura 4 - Comportamento do fator de potência ($\cos\phi$) com o aumento da tensão.

Um caso peculiar deste comportamento, redução do fator de potência ($\cos\phi$) com o aumento da tensão, ocorreu com um consumidor em tensão de distribuição, o qual apresentava leituras de baixo fator de potência ($\cos\phi$) e respectiva penalização na fatura de energia elétrica. Visando evitar multa por fator de potência ($\cos\phi$), este consumidor contratou uma empresa de instalações elétricas, a qual, após a análise das contas de energia elétrica, empregou (sem maiores considerações) o triângulo de potências para corrigir o fator de potência ($\cos\phi$) através do emprego de bancos de capacitores. A maior surpresa ocorreu na fatura seguinte, quando a multa por baixo fator de potência ($\cos\phi$) aumentou. Pensando que houvessem errado o dimensionamento dos bancos de capacitores, aumentaram os mesmos, tornando a ocorrer uma piora no fator de potência ($\cos\phi$) na fatura subsequente. Este processo se repetiu até o momento em que o dimensionamento dos bancos de capacitores atingiu a capacidade do transformador de suprimento do consumidor. Neste momento a empresa de instalações elétricas passou a desconfiar que a pura aplicação de bancos de capacitores todos os problemas, buscando assim, assessoria para resolver tal problema.

Para as medições de harmônicas, os equipamentos empregados para as medições de tensões e correntes foram, para registro o Testgyr D 3000 da Landis & Gyr (registrador em memória de massa) e para leituras de valores de tensão e visualização instantânea das formas de onda e espectro harmônico, o Scopemeter da FLUKE (medidor de valores instantâneos que pode ser associado a um microcomputador LAPTOP).

Verificou-se que as medições tomadas respectivamente no Chuí e em Santa Vitória do Palmar, respectivamente, no alimentador proveniente do Chuí, apresentam DHT de 8,5 % e 13 %, respectivamente, o que se justifica pela relação de distâncias e níveis de curto - circuito existentes. A distância entre a SE da UTE e o Chuí é de aproximadamente 8 km e entre Chuí e Santa Vitória do Palmar aproximadamente 20 km.

Atualmente, após novas medições, verificou - se que houve sensível melhora da forma de onda de corrente (DHT reduzida de 35 % para 16 %), com piora da forma de onda da tensão (DHT aumentada de 6 % para 8 %).

6. CONCLUSÃO

Conclui - se informando que as recomendações para redução dos níveis de distorção harmônica resultaram em um programa para troca dos transformadores de frequência 60 Hz por outros existentes de 50 Hz, ou pelo menos troca daqueles transformadores instalados nos pontos críticos do sistema de distribuição. Ainda, enquanto não forem implementadas as recomendações indicadas, propôs - se minimizar o problema trocando - se as derivações dos transformadores existentes com o objetivo de reduzir a tensão primária imposta aos mesmos e correspondente saturação. A médio prazo, implementar a interligação do sistema Santa Vitória do Palmar em 138 kV - 60 Hz com o sistema de transmissão da CEEE (em projeto e execução a partir de 1996).

7. REFERÊNCIAS

- [1] Companhia Estadual de Energia Elétrica - CEEE, "Relatórios de Medições - Sistema de Distribuição do Litotral Sul (Chuí e Santa Vitória do Palmar)", 1984 a 1996.
- [2] Landys & Gyr e FLUKE, "Manuais de operação de medidores".
- [3] GCOI / GCPS - Grupo Coordenador da Operação Interligada / Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos, "Critérios e Procedimentos para o Atendimento à Consumidores com Cargas Especiais", fevereiro de 1993.
- [4] CODI - Comitê de Distribuição, "Limites para Freqüências Harmônicas", Relatório SCPE.32.01.
- [5] Westinghouse Electric Corporation, "Electrical Transmission and Distribution Reference Book", 1964.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às pessoas a seguir indicadas pela sua colaboração, direta ou indireta, na realização do presente trabalho: Eng. Álvaro Abascal, Eng. Nelson Zeni, Elet. Wilson Teixeira e Elet. Luiz Paulo Saletti.