



VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005
Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 01 7567
Tópico: Análise, Diagnóstico e Soluções

AVALIAÇÃO DE DISTÚRBIOS RELACIONADOS À QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA DO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DE MATO GROSSO DO SUL – ESTUDO DE CASO

JOÃO CESAR
OKUMOTO*

UFMS

PAULO IRINEU
KOLTERMANN

UFMS

VALMIR
MACHADO
PEREIRA

UFMS

GERVÁSIO
SARAIVA LARA

UFMS

AMÂNCIO
RODRIGUES DA
SILVA JR.

UFMS

RESUMO

O objetivo deste artigo é identificar alguns distúrbios de Qualidade de Energia Elétrica e sua correlação com o funcionamento de equipamentos médicos no Hospital Universitário de Mato Grosso do Sul Federal. São descritas as etapas da avaliação realizada que pode ser dividida em: 1) inspeção nas instalações do Centro Cirúrgico; 2) monitoramento de energia nos quadros de distribuição e equipamentos. Medições de tensões e correntes foram utilizadas para identificar distúrbios de tensão, correntes nos condutores neutro e distorções harmônicas. Recomendações serão feitas e um relatório será fornecido como um guia para a instalação de novos equipamentos e futuras expansões.

PALAVRAS-CHAVE

Qualidade de energia, distorções harmônicas, hospital, equipamentos médicos, distúrbios de tensão.

1.0 INTRODUÇÃO

Desde 1970, o hospital da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, em Campo Grande, tem atendido a pacientes e dado suporte aos cursos biomédicos, como Enfermagem, Medicina, Odontologia e Farmácia. O fornecimento de energia elétrica, em 13,8 kV, é mantido pela concessionária ENERSUL – Empresa Energética

do Mato Grosso do Sul. A demanda total do hospital é 1 MW e seu consumo de energia é de 265 MWh mensais. A carga instalada está distribuída entre 12 subestações. Existem 4 geradores a diesel funcionando como fontes alternativas, que fornecem energia a alguns setores em caso de emergência.

Nos últimos anos, o hospital tem passado por expansões em sua infra-estrutura a fim de melhorar o atendimento aos pacientes e fornecer condições adequadas de trabalho aos seus funcionários. As instalações têm sofrido muitas renovações; algumas alterações tem sido realizadas sem o cumprimento de algumas normas como as relacionadas a distorções harmônicas. Além disso, o intenso uso de equipamentos eletrônicos tem solicitado das instalações uma alta qualidade de energia elétrica. Em ambientes médicos, uma instalação e os equipamentos ligados a ela devem trabalhar de forma segura, pois qualquer problema em seu funcionamento pode ocasionar a perda de vida humana. Fontes comuns de distúrbios de qualidade de energia elétrica no hospital incluem: dimensões inadequadas de condutores, sistemas de aterramento, equipamentos de alta potência e reformas na planta física do estabelecimento. O objetivo desta avaliação é verificar a qualidade da energia utilizada, as condições das instalações elétricas e identificar área no interior do hospital onde problemas existem ou podem se desenvolver. Estas informações serão usadas para um melhor planejamento quando novos

equipamentos sensíveis forem instalados e futuras expansões.

2.0 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Distorção Harmônica Total (DHT) é uma importante ferramenta utilizada para quantificar o nível de harmônicas nas formas de onda de tensão e corrente. De acordo com [1] duas diferentes definições para DHT podem ser encontradas na literatura. Na primeira definição, o conteúdo harmônico da forma de onda é comparado ao seu valor fundamental. Na segunda definição, o conteúdo harmônico da forma de onda é comparado ao seu valor eficaz, como mostram as equações (1) e (2).

$$DHTI_F = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (1)$$

$$DHTI_R = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}} \quad (2)$$

Onde:

$DHTI_F$ – Distorção Harmônica Total de Corrente comparada a sua fundamental (%).

$DHTI_R$ - Distorção Harmônica Total de Corrente comparada ao seu valor eficaz (%).

I_1 - Valor da corrente fundamental (A).

I_n - Valores eficazes das correntes harmônicas (A).

n – Ordem harmônica.

As equações (1) e (2) também podem ser utilizadas para mostrar a Distorção Harmônica Total de Tensão (DHTV) substituindo os valores de corrente por valores de tensão nas expressões.

É mostrado em [1] que DHT_F é uma medição mais eficaz de conteúdo harmônico. A utilização de DHT_R pode gerar diversos erros, como por exemplo, em fator de potência e fator de distorção que são gerados de medições de DHT. Nas avaliações no hospital ambas medições serão apresentadas a fim de compará-las.

Outras definições estão relacionadas a Fator de Potência. Fator de Potência Convencional é agora chamado de Fator de Potência de Deslocamento (DPF) para relacionar o defasamento entre a corrente fundamental e tensão fundamental do sistema. Outra definição é o Fator de Potência de Distorção, que leva em consideração as correntes harmônicas que não

contribuem com o trabalho real produzido pela carga. O Fator de Potência Total é então a combinação dos Fatores de Potência de Deslocamento e o de Distorção.

3.0 FONTES DE HARMÔNICAS E SEUS EFEITOS

Em instalações médicas muitas cargas não-lineares podem ser consideradas como fontes de harmônicas. Focos cirúrgicos, equipamentos de monitoramento de pacientes, equipamentos de raios-x portáteis e unidades eletrocirúrgicas (bisturis elétricos) são encontradas nas salas de cirurgia. Algumas cargas de escritórios, como luminárias fluorescentes, microcomputadores e impressoras podem ser encontradas também. Essa não-linearidade tende a causar sérios efeitos indesejáveis, tais como [2]:

- Sobreaquecimentos, que reduzem a vida útil dos equipamentos devido à sobrecarga em barramentos, alimentadores, cabos e transformadores;
- Saturação de isolamentos;
- Operações indesejáveis ou desligamentos repentinos de diversos equipamentos. Neste caso, os distúrbios podem causar distorções nos monitores e leituras, acarretando em resultados de diagnósticos incorretos;
- Perdas adicionais;
- Redução do Fator de Potência.

4.0 DISTÚRBIOS DE TENSÃO

Outros problemas de Qualidade de Energia estão relacionados aos distúrbios de tensão, que podem ser identificados como qualquer alteração na forma de onda senoidal da tensão em 60 Hz, durante mais de 0,5 ciclo. Tais eventos podem ser variações transitórias de tensão, surtos de tensão, transitórios oscilatórios de tensão, recortes na tensão (notching), subtensões momentâneas (sags), sobretensões momentâneas (swells) e variações de tensão de longa duração, conforme a duração e frequência na forma de onda [3].

5.0 METODOLOGIA

A fim de identificar alguns possíveis problemas de Qualidade de Energia, levantamentos de campo das instalações elétricas e monitoramentos de energia foram realizados. O processo incluiu: revisão dos diagramas unifilares do hospital, entrevistas com o corpo técnico da manutenção e funcionário (usuários finais) do hospital, e

identificação dos tipos de equipamentos sensíveis [4].

Devido à instalação freqüente de novos equipamentos no hospital, não existe um diagrama unifilar atualizado. Portanto, uma atualização foi realizada durante as visitas, como mostra a Figura 1.

Para monitorar as tensões e correntes no quadro de distribuição principal da subestação, foi utilizado um analisador de energia RE 200, da marca *Embrasul*, que é um analisador trifásico e registra 18360 medições por segundo. Para estudar o impacto de equipamentos médicos portáteis sobre outros equipamentos sensíveis, um analisador de harmônicas 41B, da marca *Fluke*, foi utilizado. Medições monofásicas dos circuitos dos quadros provenientes do principal e junto a equipamentos foram realizados pelo mesmo analisador. Os registros foram feitos desde a subestação até as cargas individuais durante uma semana nos locais indicados no diagrama unifilar da Figura 1. As medições de ambos os analisadores podem ser lidas em microcomputador.

Leituras de temperaturas foram realizadas usando um termômetro infravermelho MX, da marca *Raytek*, a fim de estudar os efeitos das harmônicas e outros distúrbios de qualidade de energia nas instalações.

A interação entre as cargas foi estudada para avaliar sua contribuição com os distúrbios de qualidade de energia.

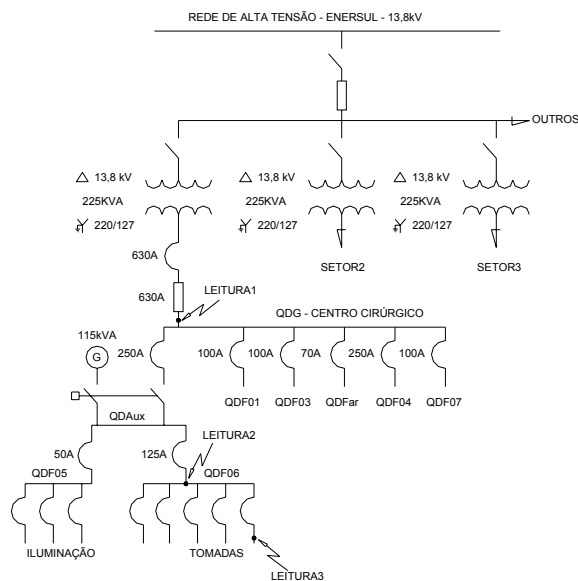


Figura. 1. Diagrama unifilar simplificado das instalações elétricas do Centro Cirúrgico.

6.0 DISCUSSÃO E RESULTADOS

6.1 Subestação e quadros de distribuição

Durante o levantamento das instalações elétricas e o monitoramento da energia elétrica utilizada no hospital a seguinte situação foi encontrada.

Um transformador de 225 kVA alimenta as cargas do Centro Cirúrgico; sua demanda está em torno de 60kW. Um gerador a diesel de 115 kVA funciona como fonte alternativa de energia, que pode funcionar em caso de emergência dentro de 5 segundos após uma interrupção, conforme solicita padrões médicos. Não existem sistemas de *no-break* para atender as cargas do Centro Cirúrgico, nem protetores contra surtos e disjuntores diferenciais (DRs) nos quadros de distribuição. As proteções de circuitos são realizadas somente através de disjuntores termomagnéticos e fusíveis.

6.1.1 Quadro de distribuição geral

A Figura 2 apresenta a tensão na fase A. Os registros foram realizados no Quadro de Distribuição Geral, como pode ser visto na Figura 1 – Leitura 1, que alimenta os outros quadros de distribuição no interior do Centro Cirúrgico. A Distorção Harmônica Total de Tensão é menor que 3% (não mostrada neste artigo), valor recomendado em [5]. As DHTs de tensão das fases B e C (não mostradas) também estão de acordo com os limites. A 5ª harmônica de tensão esteve evidente em todas as medições, 1,99%, 1,73% (não mostrada aqui) e 1,89% (não mostrada aqui), para cada fase, respectivamente. Recomenda-se estudar essas medições em um período maior (em um mês, no mínimo). Nenhum distúrbio de tensão foi verificado no período das medições, somente uma pequena distorção na forma de onda de tensão. A Figura 3 apresenta a forma de onda da corrente na fase C. A medição apresenta uma Distorção Harmônica Total (DHT) de 13,02% (não mostrada). A 3ª harmônica (7,99 – 8,90%) é a mais alta componente encontrada. As outras leituras de DHT são 8,51% na fase A e 8,55% na fase B (não apresentadas aqui). De acordo com [6], os valores estão dentro dos limites adequados.

Um estudo infravermelho foi realizado nos principais circuitos. Este estudo não revelou qualquer presença de ponto quente nos circuitos que pudesse dar evidência de deterioração dos contatos e cabos. A seção do condutor neutro está de acordo com sua corrente.

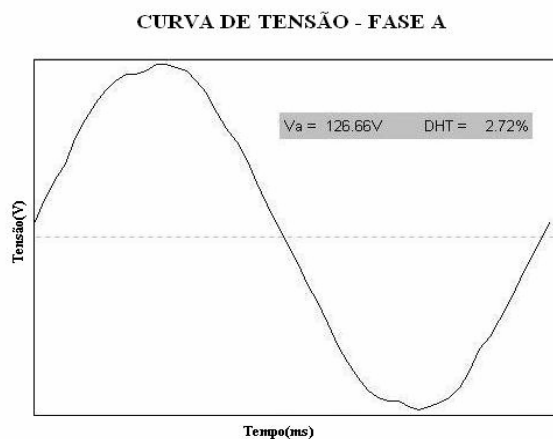


Fig. 2. QDG - Fase A – Forma de onda de tensão.

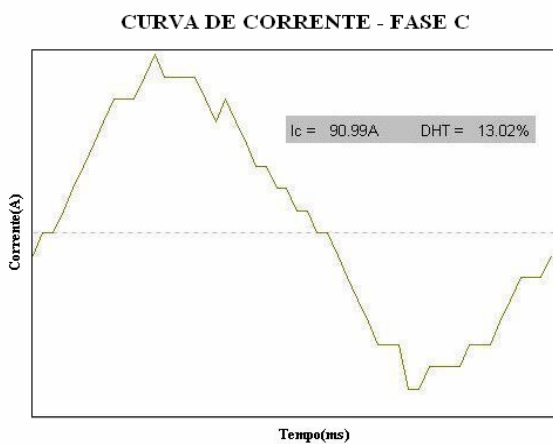


Fig. 3. QDG – Fase C – Forma de onda de corrente.

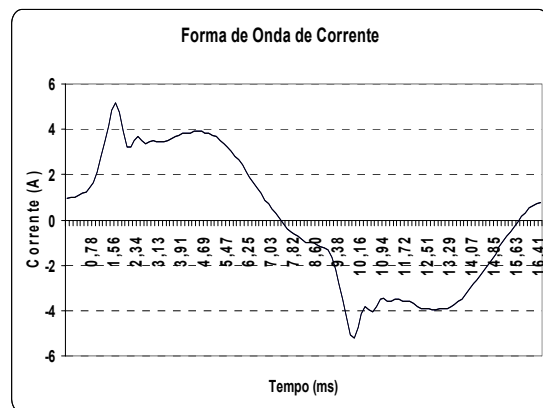


Fig. 4. QDF6 - Fase B - Forma de onda de corrente.

Tabela I
Medições – Analisador Fluke 41B

QDF6 – Fase B - Tomadas				
Potências		Tensão (V)		Corrente (A)
		RMS	Pico	
Ativa (kW)	0,37	126,09	178,32	3,06
Aparente (kVA)	0,39	DHT Rms	2,33	18,56
Reativa (kvars)	0,10	DHT Fund	2,33	18,89
FP Total	0,95	Ordem Harmônica		
FPD	0,97	1	126,06	3,00
Frequência (Hz)	59,98	3	0,77	0,14
		5	2,17	0,38
		7	1,41	0,25
		9	0,43	0,19
		11	0,63	0,14
		13	0,80	0,11

6.1.2 Quadro de distribuição QDF06

A Figura 4 apresenta a medição realizada no quadro de distribuição QDF06, no local indicado na Figura 1- Leitura 2, da forma de onda da corrente C. Circuitos de tomadas estão ligados a este quadro de distribuição. A Tabela I apresenta os valores de grandezas elétricas e distorções; observa-se que 5ª harmônica de corrente é a maior (12%). O condutor neutro está devidamente projetado para suportar os valores de corrente medidos e nenhum ponto quente foi encontrado em cabos e no quadro.

Monitoramentos dos quadros de distribuição devem ser realizados num período maior (em um mês, no mínimo), e todos os quadros ligados ao QDG devem ser avaliados.

6.2 Equipamentos médicos

Oito salas compõem o Centro Cirúrgico, no entanto, somente quatro estão em atividade.

Através de entrevistas com os funcionários, os seguintes eventos de distúrbios de energia foram identificados:

- Durante algumas cirurgias quando o intensificador de imagem por fluoroscopia funcionava, algumas lâmpadas do foco cirúrgico queimavam-se frequentemente.

- Quando as unidades eletrocirúrgicas (bisturis elétricos) funcionavam, existiam interferências eletromagnéticas nos monitores de sinais vitais dos pacientes, interrompendo algumas atividades nas salas;

Dentro das salas, alguns registros foram realizados nos equipamentos, nos pontos indicados na Figura 1- Leitura 3.

6.2.1 Intensificador de imagem por fluoroscopia

O equipamento é utilizado para estudos fluoroscópicos em pacientes. Este estudo é conceitualmente similar ao processo de raio-x no qual a imagem é projetada continuamente em um monitor. Ele opera em dois modos: projetando e disparando. Esta máquina funciona em diferentes locais a qualquer hora do dia. Ele está ligado aos mesmos circuitos de outras tomadas monofásicas. Devido a esta situação, o seu efeito em outros equipamentos é dependente da atual localização do equipamento. Ele pode ser identificado como uma potencial fonte de problemas relacionados à Qualidade de Energia, especialmente quando utilizado próximo de cargas sensíveis. No Centro Cirúrgico existem duas máquinas, mas uma está danificada esperando por manutenção. As 3ª e 5ª harmônicas de correntes são evidentes nos dois modos de operação, como apresentado na Figura 5 e na Tabela II, porém não estão violando os limites de harmônicas [7]. A fim de mitigar a interferência deste equipamento em outros, recomenda-se projetar circuitos dedicados para ele, partindo de um quadro de distribuição próprio. É importante observar a diferença entre Fator de Potência Total (Total PF) e Fator de Potência de Deslocamento (DPF). A potência harmônica é considerada no Fator de Potência Total, aumentando a potência aparente, cujos valores são utilizados para calcular as potências de transformadores e capacidades de condução de cabos.

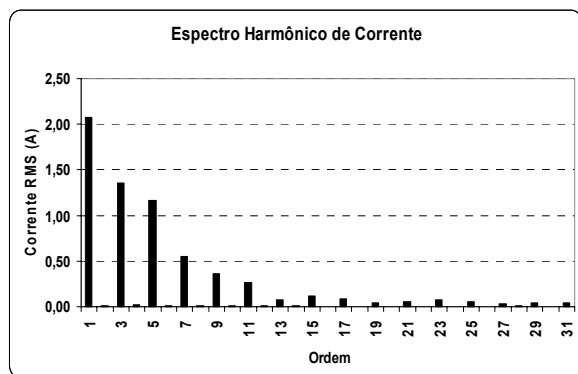


Fig. 5. Intensificador de imagem – Modo: projeção - Espectro harmônico de corrente.

Tabela II
Medições – Analisador Fluke 41B

Intensificador de imagem – modo disparo			
Potências	Tensão		Corrente (A)
	(V)		
	RMS	124,54	5,07
Ativa (kW)	0,55	Pico	172,02
			11,05

Aparente (kVA)	0,63	DHT Rms	2,82	40,36
Reativa (kvars)	0,16	DHT Fund	2,82	44,12
FP Total	0,88	Ordem Harmônica		
FPD	0,96	1	124,5	4,64
Frequência (Hz)		3	1,05	1,42
		5	2,61	1,25
59,98		7	1,60	0,63
		9	0,14	0,30
		11	0,97	0,29
		13	0,82	0,14
		15	0,27	0,09

6.2.2 Unidades eletrocirúrgicas ou bisturis elétricos

Em cada sala são utilizadas para incisão e coagulação em cirurgias. Elas são cargas que operam em alta frequência e a interferência em outros equipamentos são frequentes. A Distorção Harmônica Total de corrente foi a maior encontrada entre os equipamentos do Centro Cirúrgico (THD Rms – 85,43% e THD Fund – 164,38%).

No Centro Cirúrgico, as distorções nas telas dos monitores são frequentemente causadas pelo funcionamento dos bisturis elétricos. Para reduzir os distúrbios é necessário melhorar o sistema de aterramento pois desde sua concepção nenhuma atualização foi realizada.

6.2.3 Foco cirúrgico

A Figura 6 mostra o espectro harmônico da corrente do foco cirúrgico, em regime de *stand-by*. Dez lâmpadas incandescentes de 25W-12Vdc, compõem o foco cirúrgico. Embora o foco possua baterias para o caso de emergências que são recarregadas no modo *stand-by*, rápidas oscilações de tensão podem afetar drasticamente procedimentos cirúrgicos. Em relação a afundamentos de tensão, intensificador de imagens, causam afundamentos que podem gerar alguns dos problemas. Durante seu funcionamento, algumas lâmpadas do foco cirúrgico têm queimado ou piscado. Seu circuito é alimentado pelo quadro de distribuição QDF06 – Tomadas, e não a partir do quadro QDF05 – Iluminação, pode-se atribuir uma das causas dos distúrbios a essa interação entre as cargas. Sugere-se separar os circuitos. Uma outra recomendação seria substituir as lâmpadas por tipo com baterias acopladas ao conjunto, para funcionarem em situações de emergência. A Tabela V apresenta as medições do equipamento em seu modo *stand-by* de funcionamento.

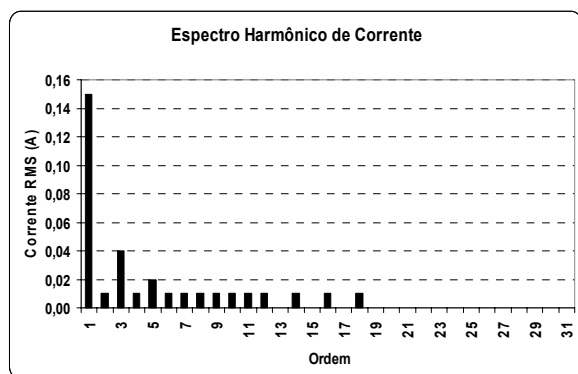


Fig. 6. Foco cirúrgico – modo *stand-by* – espectro harmônico de corrente.

6.2.4 Monitor de sinais vitais

Monitores de sinais vitais são uma maneira extremamente prática para mostrar informações sobre o paciente. Leituras podem ser gravadas em disquete, pois existe um *drive* para tanto. Estes equipamentos possuem fontes chaveadas e são tão sensíveis a distúrbios quanto microcomputadores.

Monitores e computadores são fontes de correntes harmônicas de 3ª ordem. Correntes elevadas no condutor neutro têm sido observadas em sistemas trifásicos mesmo quando suas correntes de fases encontram-se balanceadas [8]. A Figura 9 apresenta os altos valores de THD deste equipamento assim como suas componentes harmônicas. Existem monitores em quase todos os setores do hospital. Recomenda-se um diagnóstico em todo o hospital a fim de estudar o impacto de toda a carga destinada a monitores e microcomputadores nas instalações elétricas.

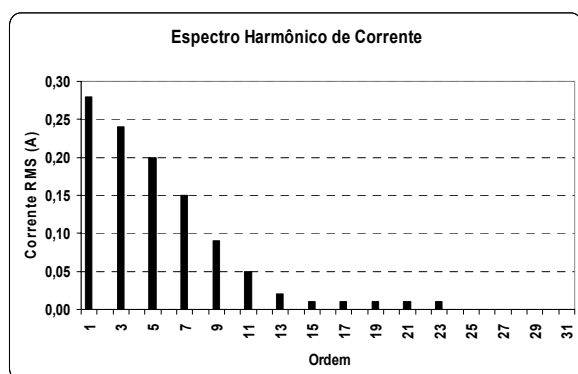


Fig. 7. Monitor de sinais vitais - espectro harmônico de corrente.

7.0 CONCLUSÕES

O hospital foi construído há aproximadamente 35 anos atrás. Os condutores neutro e fase, transformadores, quadros de distribuição e barramentos, não foram dimensionados para

atender a cargas não lineares e fluxos harmônicos. Portanto, recomenda-se a melhoria da eficiência energética das instalações, estabelecendo uma avaliação periódica da Qualidade de Energia Elétrica utilizada no hospital, principalmente estendendo os estudos a outros setores.

Os registros realizados nos quadros de distribuição e equipamentos não apresentaram qualquer distúrbio evidente, valores fora de norma.

Freqüentemente, novas cargas são ligadas ao sistema elétrico do hospital, portanto suas especificações deverão seguir as normas e regulamentos disponíveis, e sua interação com as cargas geradoras de harmônicas deverá ser estudada.

Um estudo para a utilização de sistemas de *no-break* (UPS) no Centro Cirúrgico é recomendável, principalmente para atender a circuitos de emergência que alimentam cargas como iluminação, salas de cirurgia, monitoramento de pacientes e outros equipamentos que são importantes para a segurança dos pacientes.

A avaliação pode ser considerada uma importante ferramenta devido ao envolvimento de funcionários do hospital e acadêmicos, dando-lhes habilidade para identificar e prevenir eventos de Qualidade de Energia, considerando sua relação com pessoas e equipamentos.

8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Shmilovitz, "On the Definition of Total Harmonic Distortion and its Effect on Measurement Interpretation", IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 20, Issue 1, pp. 526 – 528, Jan 2005
- [2] F. L. Tofoli, A. S. Morais, C. A. Gallo, E. A. S. Silva, F. L. Albuquerque, S. M. R. Sanhueza, A. Oliveira, "A study on losses in cables and transformers and analysis of Power quality performance", COBEP-2003 – The 7th Brazilian Power Electronics Conference, pp. 294-298, September 21-24, 2003.
- [3] H. S. Bronzeado, A. J. P. Ramos, J. C. Oliveira, J. P. G. Abreu, A. A. Arruda, A. C. Brandão, "Uma proposta de nomenclatura nacional de termos e definições", SBQEE – II Seminário Brasileiro de Qualidade de Energia Elétrica, 1997.
- [4] P.W. Hall, B.B. Bailey, E. H. Camm., "Power Quality Evaluation at Medical Center", Transmission and Distribution Conference, IEEE, vol. 02, pp. 560 - 565, April 11-16, 1999.
- [5] ELETROBRÁS, "Critérios e procedimentos para o atendimento a consumidores com cargas

especiais”, Relatório CECE/SCEL/GCOI e GTCP/CTST/GCPS, February, 1993.

[6] IEEE-519/1991: “Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System”, 1991.

[7] IEC 1000-3-2/1995: "Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 2: Limits for Harmonic Current Emissions

(Equipment input current $\leq 16A$ per phase)". International Electrotechnical Commission, 1995.

[8] S. M. Islam, T. Larsen, W. B. Lawrence, D. R. Castro, E. O. Carrilo, J. S. Perez. “Power Quality Issues in Hospitals”, AUPEC-2001 - Australian Universities Power Engineering Conference, September 23-26, 2001.

