

Uma Contribuição para a Área de Saúde por meio da Verificação do Impacto da Qualidade de Energia e das Instalações Elétricas nos Equipamentos Eletromédicos

Mário César Giacco Ramos – UMC-USP e Aderbal de Arruda Penteado Júnior - USP

Resumo- Em todos os segmentos da sociedade a utilização de equipamentos eletrônicos, com recursos de informática, aumenta a cada dia. Na área de saúde, denominados de equipamentos eletromédicos, dão suporte aos setores de diagnóstico, tratamento ou procedimento cirúrgico, melhorando a qualidade dos serviços e o atendimento aos pacientes. No entanto, o sucesso global do processo deverá considerar a qualidade das instalações elétricas nesses ambientes, bem como a qualidade de energia elétrica fornecida a esses equipamentos. Através de pesquisa em laboratório, comprova-se o risco de diagnósticos médicos baseados em informações fornecidas por equipamentos eletromédicos, alimentados em redes elétricas que não atendam às normas vigentes ou, perturbadas por outros equipamentos típicos dos ambientes médico-hospitalares.

Palavras-Chave- Equipamentos Eletromédicos, Estabelecimentos Assistenciais de Saúde, Instalações Elétricas, Perturbações Elétricas, Qualidade de Energia Elétrica.

I- INTRODUÇÃO

A. Estabelecimentos Assistenciais de Saúde

O avanço da tecnologia e o desenvolvimento da medicina nos dias atuais vêm trazendo grandes benefícios à saúde humana em todo o mundo. Novos processos de diagnóstico médico e, modernas técnicas cirúrgicas utilizam-se cada vez mais de equipamentos de última geração, projetados e construídos com avançadas tecnologias eletrônicas e totalmente informatizados.

Para que seja autorizada sua comercialização, esses equipamentos deverão ser registrados na Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde, após comprovação do atendimento às especificações das normas técnicas nacionais e internacionais pertinentes. Outro fator que deve ser considerado para garantir a segurança dos pacientes e a confiabilidade dos resultados é a qualificação técnica dos usuários de equipamentos eletromédicos, bem como da equipe responsável pela assistência técnica dos mesmos.

No entanto, o sucesso global do processo deverá incluir a qualidade das instalações elétricas nos ambientes médico-hospitalares, bem como a qualidade de energia elétrica fornecida a esses equipamentos.

Este trabalho tem como objetivo comprovar, através de pesquisa em laboratório, o risco de diagnósticos médicos tomados em base a informações fornecidas por equipamentos eletromédicos alimentados em redes elétricas que não atendam à norma vigente ou, totalmente perturbadas por outros equipamentos típicos dos ambientes médico-hospitalares. Trata-se, portanto, de uma contribuição à área de saúde, pois, com os resultados, os fabricantes poderão melhorar seus equipamentos eletromédicos. Da mesma forma, os projetistas e mantenedores das instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde, perceberão a necessidade do cumprimento das normas pertinentes, evitando improvisações que ocasionam riscos aos pacientes submetidos a tratamento ou a intervenção cirúrgica.

No caso da energia elétrica, pode-se definir a sua qualidade em função de quatro perturbações elétricas básicas em um sinal de tensão ou corrente, presentes em uma instalação elétrica: amplitude da tensão, frequência do sinal, desequilíbrios de tensão e corrente nos sistemas trifásicos e, distorções na forma de onda do sinal (1). Sob o ponto de vista do nível de qualidade de energia elétrica fornecida pelo sistema da concessionária, é muito importante a ausência relativa de variações de tensão, particularmente a ausência de desligamentos (2). No entanto para o consumidor, o termo “qualidade de energia elétrica” está, na maioria das vezes relacionado à ausência relativa de variações de tensão medidas no ponto de entrega de energia.

Na grande maioria dos casos, as perturbações são provocadas pelos próprios consumidores ou em instalações próximas, pela utilização de equipamentos denominados de “tecnologia moderna” implementados com componentes não lineares. A partir da década de 90, a crescente utilização desses equipamentos em todos os segmentos da sociedade, agravou a situação sob o ponto de vista de qualidade de energia elétrica. Em geral, esses equipamentos exigem uma rede elétrica de alta qualidade para seu correto funcionamento, mas sendo os principais causadores das perturbações, acabam sendo as próprias vítimas (3).

B. Normas Técnicas

Com relação aos equipamentos eletromédicos, é encontrada a série de normas internacionais IEC 60601(4), que serviram como base para elaboração das normas nacionais NBR IEC 60601(5). Esse conjunto de normas tem como objetivo principal o estabelecimento das condições mínimas de segurança e desempenho dos equipamentos eletromédicos.

Quanto às instalações elétricas, internacionalmente encontra-se a norma IEC 60364 – Electrical Installations of Buildings, como norma geral que trata em sua parte 7-710, os requisitos para as instalações elétricas em locais médicos e áreas associadas (6). No Brasil, de forma semelhante, encontram-se as normas NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão (7) e a NBR 13534 – Instalações Elétricas em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (8). A última edição da norma NBR 5410 entrou em vigor a partir de 31.03.2005. A NBR 13534, atualmente em consulta pública, tornou-se válida a partir de 29.12.1995, com objetivo do estabelecimento de um conjunto de requisitos mínimos de segurança para as instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde, como, hospitais, ambulatórios, unidades sanitárias, clínicas médicas e odontológicas, veterinárias, etc.

Os Hospitais e ambientes similares devem dispor de fonte de segurança para o caso de falha no sistema de alimentação normal, capaz de alimentar por um período de tempo especificado, considerando ainda, o tempo necessário à transferência. As instalações de segurança têm como objetivo garantir a continuidade dos serviços essenciais à preservação da vida e da segurança ou destinadas a funcionar em situações de emergência. Muitos dos problemas relativos à qualidade de energia elétrica são provocados internamente às instalações do consumidor, devido à comutação de cargas com elevada potência ou o uso generalizado de variadores de velocidade para motores de indução. Diversas organizações internacionais possuem normas sobre o assunto, mas não se conseguiu atingir um nível de consenso entre elas (9). Portanto, ocorre a necessidade do desenvolvimento de pesquisas envolvendo equipamentos sensíveis e sua interação com os sistemas de suprimento de energia (10). Infelizmente no Brasil, ainda não dispomos de normas sobre o assunto e nem legislação apropriada.

C. A Qualidade de Energia elétrica nos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde

Os estabelecimentos assistenciais de saúde vêm cada vez mais aumentando a utilização de equipamentos eletromédicos, que desempenham importantes funções como sistemas de informação sobre o paciente, equipamentos de diagnóstico e tratamento, além de outros. Observa-se, portanto, que a eletricidade no ambiente hospitalar é fonte de vida, podendo interferir na sobrevivência ou não do paciente, pela utilização de equipamentos de ventilação pulmonar, bombas de infusão de medicamentos, lâmpadas para iluminação cirúrgica, energia de emergência, ar comprimido, oxigênio, entre outros (10).

Embora não estejam ligados à sobrevivência dos pacientes, outros equipamentos utilizam energia elétrica para fornecer

importantes informações sobre o tratamento terapêutico, tais como, equipamentos de laboratório, de imagem, de fisioterapia, ou outros que possam comprometer a saúde do paciente.

Além disso, grande quantidade de informações é armazenada em sistemas computadorizados, muitas vezes interligados através de redes, de forma que aspectos relacionados à qualidade de energia elétrica, tornam-se extremamente importantes.

D. As Instalações Elétricas nos Ambientes Assistenciais de Saúde

Embora a norma brasileira NBR 13534(8) especifique as condições exigíveis às instalações elétricas de estabelecimentos assistenciais de saúde, a fim de garantir a segurança pessoal, principalmente dos pacientes, observa-se em muitos casos, exatamente o oposto. No Brasil, a questão da saúde se agrava cada vez mais, principalmente pela falta de investimentos, demonstrando o descaso total com o ser humano. Impostos cobrados aos cidadãos, destinados à área médica, são desviados para outras finalidades, como é o caso da CPMF. Muitas vezes, equipamentos com tecnologia de ponta, instalados em Hospitais e locais semelhantes, são alimentados por instalações elétricas deficientes e isentas de manutenção, podendo fornecer dados incorretos. O maior prejudicado nestes casos é o paciente, cuja sobrevivência pode depender dessas informações. Dentro do ambiente médico-hospitalar, a falha de um equipamento, seja pela qualidade de energia elétrica de suprimento, instalações elétricas deficientes, ausência de manutenção nos equipamentos e nas instalações, pode provocar a perda de vidas humanas. Infelizmente não se encontram dados estatísticos relacionados a estas situações, mas pode-se perguntar, qual seria a taxa de falhas aceitável quando se trata com vidas humanas? (11). Observa-se, portanto, a criticidade do problema, uma vez que a segurança nas instalações normalmente está ligada a elevados investimentos. Este artigo técnico não tem como objetivo ensinar a projetar e manter as instalações elétricas dentro dos padrões aceitáveis, mas sim, apresentar fatores que poderão contribuir para a sua degradação, através da apresentação de casos reais observados pelo próprio autor, durante sua pesquisa de campo.

A maioria das instalações elétricas dos estabelecimentos assistenciais de saúde é tratada com o mesmo descaso que se observa em outras atividades, sejam industriais, comerciais ou de serviços. A falta de diagramas elétricos atualizados, identificação nos dispositivos de comando e proteção contidos nos painéis, localização em planta dos pontos de aterramento, entre outros, também são algumas das causas que comprometem o funcionamento seguro das instalações e provocam acidentes, muitas vezes de elevada gravidade.

II - METODOLOGIA

A metodologia aplicada consistiu em medições dos parâmetros referentes à qualidade de energia elétrica, nos estabelecimentos assistenciais de saúde. Atenção especial foi dada ao conteúdo harmônico de tensão e às variações de tensão de curta duração, principalmente os afundamentos. Em

seguida, perturbações típicas desses ambientes foram reproduzidas em fontes de tensão específicas para essa finalidade, instaladas no Laboratório do Centro Tecnológico de Qualidade de Energia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, conhecido como Enerq-ct. Equipamentos eletromédicos portáteis, gentilmente cedidos por diversos fabricantes nacionais, foram submetidos a essas perturbações para verificação do seu desempenho. Alguns ensaios, como os de afundamento de tensão foram complementados pelas recomendações da Norma IEC 61000-4-11(12). O equipamento principal e responsável pela reprodução das perturbações de tensão idênticas às medidas em campo é uma fonte de fabricação Pacific Power Source modelo 390AMX com potência de saída igual a 9kVA.

Está equipada com um controlador UMC-31 trifásico, capaz de gerar frequências entre 45 a 500Hz. Uma vez fixada as grandezas possui operação estável, com precisão de 0,5% dos valores estabelecidos. As medições em campo foram efetuadas com um Analisador de Qualidade de Energia Fluke 43B, adquirido especialmente para essa finalidade. Foram ainda utilizados outros instrumentos de precisão como, osciloscópio Tektronix TD 1002, entre outros.

III. PRINCIPAIS CARGAS POLUIDORAS NOS ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE

O avanço tecnológico está provocando maior utilização de equipamentos sensíveis em todos os segmentos da sociedade, mas infelizmente, prejudiciais ao aspecto relativo à qualidade de energia elétrica. No caso dos equipamentos eletromédicos, sejam conectados ao paciente ou fornecendo informações sobre seu estado de saúde, o resultado pode ser comprometedor. Nesta última situação, em função de informações incorretas, procedimentos médicos inadequados poderão ser aplicados, comprometendo a vida do paciente. Equipamentos de sustentação da vida poderão apresentar travamentos ou funcionamento totalmente incorreto, provocando o óbito do paciente. Como já mencionado, a maioria das perturbações é gerada internamente ao estabelecimento assistencial de saúde, pela comutação de cargas com elevada potência, variadores de velocidade para motores de indução e, principalmente, por equipamentos específicos desses ambientes, como raios X, tomografia computadorizada, ressonância magnética e, equipamentos para mamografia.

A. Raios X

Em 1995 comemorou-se 100 anos do descobrimento dos raios X pelo físico alemão Wilhelm Konrad Roentgen (1845-1923). Seu uso possibilitou grande impulso nas técnicas de diagnóstico pela elevada capacidade de penetração, permitindo na biologia e na medicina, a observação de órgãos internos sem necessidade de cirurgia. Na indústria mecânica e metalúrgica, permite a identificação de trincas internas em estruturas metálicas e na indústria alimentícia, no prolongamento do período de conservação de produtos perecíveis. Pertencem ao espectro de radiações eletromagnéticas, que diferem entre si pela frequência e comprimento de onda. A produção de raios X é obtida através de uma fonte fornecedora de elétrons, os quais são acelerados

em trajetória livre até chocarem-se com os átomos de um anteparo, provocando o deslocamento de elétrons e a conseqüente emissão de energia. Os equipamentos de raios X possuem dois modos de operação: contínuo e momentâneo. Durante a operação no modo momentâneo no instante da radiografia, a potência elétrica necessária é elevada, podendo produzir afundamentos de tensão. Para obtenção de uma boa radiografia o radiologista seleciona a potência necessária, o tempo de duração e outras variáveis, não existindo, portanto um padrão típico de operação. A Fig. 1 apresenta o comportamento da corrente elétrica e os afundamentos de tensão produzidos durante o funcionamento do equipamento:

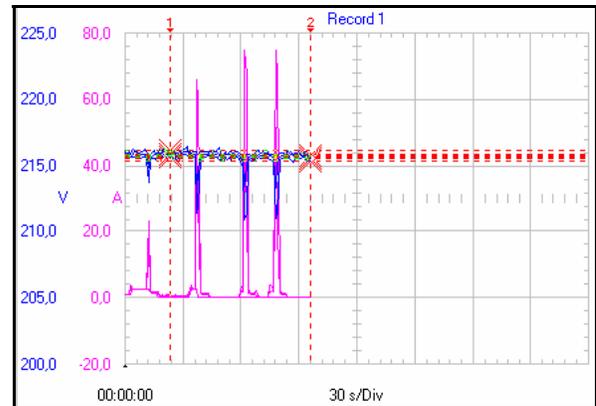


Fig. 1. Picos de corrente produzidos por um equipamento de raios X

B. Tomografia Computadorizada

É um dos métodos de exame mais confiável e seguro disponível na medicina moderna. Constitui-se por um equipamento de raios X que gira em torno do corpo do paciente, fazendo radiografias transversais. Em seguida, estas radiografias são convertidas por um computador, nos chamados cortes tomográficos, ou seja, uma série de seções fatiadas que serão posteriormente montadas para formar uma imagem completa. Possui, portanto, um comportamento semelhante ao aparelho de raios X, solicitando elevados picos de corrente de curta duração conforme se apresenta na Fig. 2:

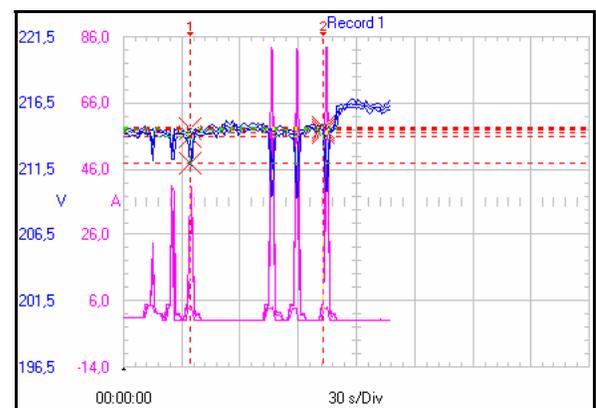


Fig. 2. Picos de corrente produzidos por um equipamento de tomografia computadorizada

C. Ressonância Magnética

Atualmente, a medicina pode contar com uma ferramenta moderna e precisa, com a finalidade de obtenção de uma

imagem seccional do interior do corpo. A imagem, obtida através de propriedades magnéticas, fornece aos médicos uma quantidade de informações detalhadas sobre a localização, tamanho e composição do tecido corporal a ser examinado, permitindo um diagnóstico rápido e preciso.

A ressonância magnética não utiliza raios X, mas sim, as propriedades magnéticas dos átomos que constituem todas as substâncias, incluindo obviamente, o corpo humano. Através de um potente campo magnético gerado no “scanner” do equipamento, sinais elétricos são emitidos pelo núcleo atômico do tecido corporal. Esses sinais são interceptados por uma antena circular ao redor do paciente. A intensidade do sinal varia de acordo com o tipo do tecido. Um computador designa os sinais aos pontos correspondentes das áreas corporais em exame e transforma-as em imagem na tela. Da mesma forma que os equipamentos anteriores, a ressonância magnética também produz elevados picos de corrente durante seu funcionamento, conforme se apresenta na fig. 3.

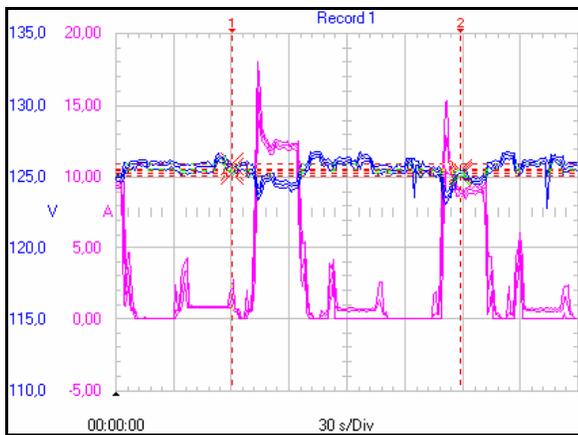


Fig. 3. Picos de corrente produzidos por um equipamento de ressonância magnética

IV. EQUIPAMENTOS ENSAIADOS

Em função da facilidade de transporte, foram ensaiados equipamentos eletromédicos portáteis de fabricação nacional, geralmente utilizados em Unidades de Terapia Intensiva ou Centros Cirúrgicos, tais como: monitor cardíaco, ventiladores pulmonares, monitor multiparamétrico e oxímetros de pulso. Verificou-se o comportamento de tais equipamentos quando submetidos a uma tensão de alimentação com elevado conteúdo harmônico e, quando, sob a influência de afundamentos de tensão. A grande quantidade de medições realizadas permitiu o conhecimento das perturbações existentes nos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde. Por serem fenômenos totalmente aleatórios não foi possível a aplicação de ensaios padronizados para todos os tipos de equipamentos. Situações bem mais críticas que as medidas foram utilizadas com a finalidade de se conhecer o comportamento dos equipamentos. Os fabricantes acompanharam os ensaios e se interessaram pelos resultados, com a finalidade de tornarem seus equipamentos mais seguros e confiáveis às perturbações existentes. Este artigo não tem a finalidade de servir como modelo ou definir parâmetros para ensaios, mas chamar a atenção para falhas que podem ocorrer nos equipamentos eletromédicos em função das perturbações

existentes nos próprios ambientes onde se encontram instalados. Dos seis equipamentos ensaiados, cinco apresentaram funcionamento incorreto. Este artigo apresenta os resultados de três equipamentos.

A. Monitor Cardíaco

É utilizado para a monitoração contínua do eletrocardiograma, em centros cirúrgicos e unidades de terapia intensiva, juntamente com a monitoração da temperatura, respiração e outras informações. Além da forma de onda do eletrocardiograma, pode indicar a frequência cardíaca além de fornecer informações importantes como, nível de saturação de oxigênio no sangue arterial (SpO_2) e pressão arterial. O equipamento utilizado nos ensaios que serão apresentados efetua todas essas medições de forma não invasiva (13). O primeiro grupo de ensaios teve como objetivo verificar o funcionamento do monitor quando alimentado em rede elétrica contendo harmônicos de tensão, conforme se apresenta na Tabela I. Para evitar que o instrumento permanecesse conectado ao corpo humano durante os testes, utilizou-se um simulador de paciente, que gera pulsos de tensão semelhantes aos do coração, de forma estável e regular. O equipamento testado possui bateria interna para manutenção de seu funcionamento em casos de interrupção de energia. Em todos os ensaios a tensão de alimentação foi de 110V.

Tabela I
Ensaio com harmônicos de tensão

Ensaio nº	Fundamental (%)	3ª harmônica (%)	5ª harmônica (%)	7ª harmônica (%)	THD _r (%)
1	100	3	-	-	3
2	100	10	-	-	10
3	100	20	-	-	20
4	100	50	-	-	50
5	-	100	-	-	100
6	100	50	30	20	61,8
7	100	70	50	30	91,5

O máximo valor, da distorção harmônica total de tensão, encontrado durante as medições em vários hospitais foi de 6 %, portanto, os valores ensaiados foram bem superiores, exatamente para verificar o comportamento do equipamento sob condições bem mais críticas.

Para todos os casos ensaiados, o monitor cardíaco não apresentou interferências na forma de onda do eletrocardiograma, o que atesta a qualidade do equipamento a esse tipo de perturbação elétrica.

O segundo grupo de ensaios foi referente a afundamentos de tensão, semelhantes aos produzidos por equipamentos de raios X, ressonância magnética e outros, cujos valores estão apresentados na Tabela II:

Tabela II
Ensaio de afundamentos de tensão

Afundamentos n°s	Tensão de afundamento (V)	Tensão remanescente (V)	Tempo de duração (s)	Espaçamento (s)
1, 2 e 3	60	50	0,5	20

4	90	20	0,5	-
5 e 6	100	10	0,5	20
7 e 8	110	0	1	20
9	60	50	1	20
10	80	30	1	20
11	100	10	1	20
12	110	0	1	20

Os afundamentos produzidos e aplicados ao equipamento podem ser visualizados na Fig. 4:

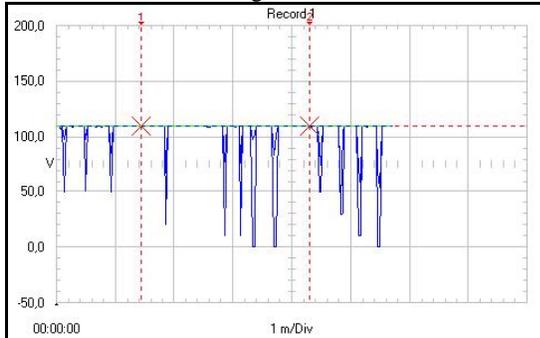


Fig. 4. Afundamentos de tensão aplicados ao monitor cardíaco

Da mesma forma que no teste anterior, o monitor cardíaco não apresentou interferências no sinal gerado em sua tela. Nos afundamentos para 10V e 0V (interrupção) com duração de 1s, ocorreu transferência para a bateria, mas mesmo assim, o sinal na tela se manteve constante e estável.

No terceiro grupo de ensaios foram aplicados afundamentos de tensão conforme as recomendações contidas no item 5.1 da Norma IEC 61000-4-11 (12), cujos valores apresenta-se na Tabela III:

Tabela III
Afundamentos de tensão recomendados pela Norma IEC 61000-4-11

Nível de tensão remanescente -% U_n	Tensão de afundamento ou interrupção-% U_n	Duração-[ciclos]
80	20	0,5
70	30	1
40	60	5
20	80	10
0	100	25
		50
		180

Foram aplicadas todas as combinações de afundamentos e tempos de duração recomendados pela referida Norma. Em todos eles o sinal do eletrocardiograma se manteve estável e sem alterações em sua forma de onda. Nos ensaios de tensão remanescente de 20%, com duração de 180 ciclos e, interrupções com durações de 25, 50 e 180 ciclos, ocorreu a transferência para a bateria interna, mas não se percebeu alteração na forma de onda apresentada na tela. Trata-se, portanto, de equipamento que mantém seu funcionamento estável mesmo quando submetido a perturbações críticas.

B. Ventilador Pulmonar

O ventilador testado é um equipamento totalmente microprocessado e projetado para aplicações de insuficiência respiratória em pacientes pediátricos e adultos, com massa corporal entre 6 a 150kg. É bastante prático, possuindo controles digitais diretos para os principais parâmetros ventilatórios. O disparo dos ciclos é por pressão e por possuir

um monitor de ventilação incorporado, permite um amplo acompanhamento das condições do paciente, aumentando a segurança. Além disso, um completo sistema de alarmes audiovisuais com mensagem escrita na tela de controles faz uma pronta identificação da condição de alarme. Simulou-se a presença dos pulmões através de um balão de borracha, cedido pelo fabricante e utilizado para essa finalidade.

No primeiro grupo de testes o equipamento foi alimentado com tensão nominal de 110V, mas contendo os componentes harmônicos já apresentados da Tabela I.

Embora se tenha notado uma grande alteração na forma de onda da corrente entre a alimentação senoidal e a alimentação com tensão totalmente distorcida, não se observou qualquer alteração na regularidade dos ciclos de ventilação do equipamento. O Manômetro digital, instalado na parte frontal, indicou os mesmos valores em todos os ensaios. Desta forma, comprovou-se sua imunidade quando submetido a tensões fortemente distorcidas.

No segundo grupo de ensaios o equipamento foi submetido a afundamentos de tensão repetitivos mais críticos que os aplicados ao monitor cardíaco por tratar-se de equipamento de sustentação de vida. Os ensaios estão apresentados na Tabela IV:

TABELA IV
Ensaio de afundamentos de tensão

Ens. n°	Quant. de afundamentos	Tensão de afundamento (V)	Tensão remanescente (V)	Tempo de duração (s)	Espaçamento (s)
1	10	11	99	3	1
2	10	22	88	3	1
3	10	33	77	3	1
4	10	44	66	3	1
5	10	55	55	3	1
6	10	11 a 110	99 a 0	3	60

As figuras 5 e 6 apresentam os afundamentos de tensão referentes aos ensaios n°s 5 e 6, aplicados ao equipamento.

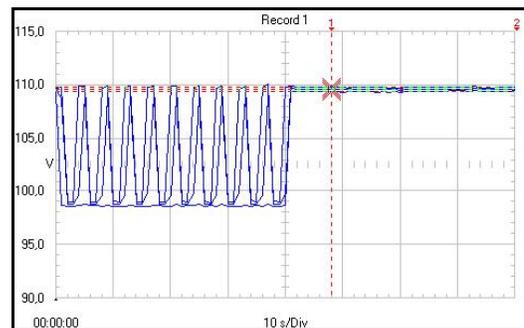


Fig. 5 – Afundamentos de tensão do ensaio n° 5

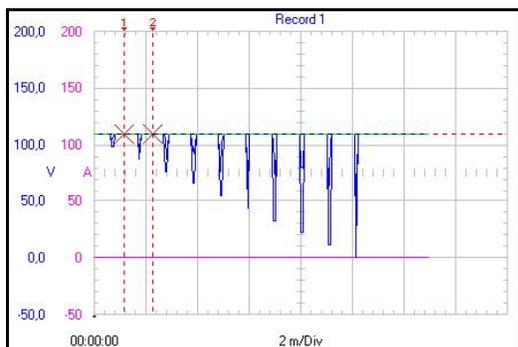


Fig. 6 – Afundamentos de tensão do ensaio n° 6

No ensaio n° 6, o equipamento apresentou funcionamento irregular para os afundamentos de 77V, 88V, 99V e interrupção. Os problemas apresentados incluem travamentos, bloqueios de válvula expiratória e ausência de atuação do sistema de alarme.

No terceiro grupo de ensaios foram aplicados afundamentos de tensão conforme as recomendações contidas no item 5.1 da Norma IEC 61000-4-11 (12), cujos valores já foram apresentados na tabela III.

Os valores de pressão e vazão de ar foram monitorados com um medidor de fluxo ligado ao duto de saída do equipamento (circuito de inspiração).

O equipamento suportou sem alterações os afundamentos de 20%, 30% e 60% para todas as durações, ou seja, de 0,5 a 180 ciclos. O mesmo ocorreu para afundamentos de 80% e interrupção com tempos de duração de 0,5, 1 e 5 ciclos. No entanto, para afundamentos de 80%, quanto para interrupções com tempos de duração iguais ou superiores a 10 ciclos, o equipamento apresentou vários problemas, que poderão colocar sob risco o paciente a ele ligado:

1) o funcionamento foi interrompido, embora a bateria estivesse carregada. Os parâmetros ajustados não se perderam, mas o alarme não foi acionado;

2) em alguns ensaios, dependendo do instante da aplicação dos afundamentos ou interrupções, a válvula expiratória se manteve permanentemente aberta, lançando para o ambiente todo ar/oxigênio injetado nos pulmões. O sistema de alarme também não foi acionado e o equipamento teve que ser desligado da rede de alimentação e reprogramado, para retornar à operação;

3) da mesma forma que no caso 2, em alguns ensaios, o equipamento se travou continuando a injetar ar/oxigênio com a válvula expiratória permanentemente fechada. O alarme não foi acionado e o equipamento também necessitou ser desligado da rede e reprogramado. O medidor conectado ao equipamento indicou um valor de pressão provavelmente prejudicial aos pulmões do paciente.

C. Oxímetro de Pulso

É um equipamento utilizado na determinação do nível de saturação de oxigênio (SpO_2) no sangue arterial, sendo esta quantificação executada de forma não invasiva, através de sensores ópticos posicionados externamente ao paciente (13). A utilização do oxímetro de pulso é considerada procedimento

padrão no monitoramento do nível de saturação de oxigênio sanguíneo em unidades de terapia intensiva, centros cirúrgicos, áreas de recuperação, unidades de pacientes com queimaduras graves, de cateterismo e em ambulâncias. Sua característica não invasiva torna desnecessária a retirada de sangue do paciente para sua análise em laboratório. Outra característica favorável é a possibilidade de monitoramento contínuo e em tempo real, dos níveis de oxigenação no sangue, detectando de forma rápida eventuais reduções destes valores que possam resultar em riscos ao paciente. A coloração do sangue varia em função dos diferentes níveis de oxigenação, apresentando o sangue com alta concentração de oxigênio, a coloração vermelha brilhante. A presença do gás carbônico no sangue altera a cor tendendo para um tom ligeiramente azulado. Seu princípio de funcionamento se apóia na espectrofotometria sanguínea que mede a luz transmitida ou refletida dos capilares do corpo humano, sincronizados com os batimentos cardíacos. O equipamento testado não possui bateria para garantia de seu funcionamento durante interrupções de energia elétrica. É microprocessado e contém um sistema de alarme para o caso de alteração dos parâmetros pré-estabelecidos.

No primeiro grupo de testes o equipamento foi alimentado com tensão nominal de 110V, mas contendo os componentes harmônicos já apresentados da tabela 1. Durante os ensaios o comportamento do aparelho se alterou passando por um ponto bastante crítico. Observou-se a grande influência da 3ªh, pois valores de até 50% da fundamental produzem interferências no visor do equipamento. Para valores acima de 70% o aparelho voltou a funcionar normalmente. A 5ª e 7ª harmônicas influenciam pouco no resultado final, sendo predominante a presença da 3ªh.

O segundo grupo de ensaios foi referente a afundamentos de tensão, semelhantes aos produzidos nos ambientes médicos hospitalares, mas sempre procurando uma situação crítica que pudesse provocar uma falha no equipamento. Os valores aplicados estão apresentados na Tabela V:

TABELA V
Ensaio de afundamentos de tensão

Ensaio n°	Quantidade de afundamentos	Tensão de afundamento (V)	Tensão remanescente (V)	Tempo de duração (s)	Espaço (s)
1	10	3,3	106,7	1	1
2	10	5,5	104,5	1	1
3	10	8,8	101,2	1	1
4	10	11	109	1	1
5	10	22	88	1	1

No ensaio n°1 não se percebeu anormalidade alguma. Nos ensaios n°s 2 e 3, a tela se apresentou com brilho ligeiramente reduzido, mas os valores indicados não se alteraram. Nos ensaios n°s 4 e 5, o equipamento apresentou a tela piscante e os valores indicados foram se reduzindo até a atuação do alarme. O aparelho necessitou ser desligado da rede para voltar a funcionar. No terceiro grupo de ensaios foram aplicados afundamentos de tensão conforme as recomendações contidas no item 5.1 da Norma IEC 61000-4-11 (12), cujos valores já foram apresentados na tabela III. Por tratar-se de um equipamento extremamente sensível aos

afundamentos de tensão, considerou-se conveniente a apresentação dos resultados mediante a tabela VI:

TABELA VI
Ensaio de afundamentos de tensão conforme a norma IEC 61000-4-11

Nível de tensão remanescente -% U _n	Tensão de afundamento ou interrupção-% U _n	Duração-[ciclos] / ocorrência
80	20	≥ 5 ciclos / o visor reduz o brilho mas não perde as informações
70	30	≥ 5 ciclos / o visor reduz o brilho mas não perde as informações
40	60	10 ciclos / travou e a tela apresentou caracteres aleatórios. Necessitou ser desligado para retornar a funcionar. 25, 50 e 180 ciclos / apagou, mas retornou à tela principal. Voltou a funcionar normalmente.
20	80	≥10 ciclos / travou e a tela apresentou caracteres aleatórios. Necessitou ser desligado para retornar a funcionar.
0	100	≥10 ciclos / travou e a tela apresentou caracteres aleatórios. Necessitou ser desligado para retornar a funcionar.

V. CONCLUSÕES

O referido estudo mostrou a importância da qualidade de energia elétrica nos estabelecimentos assistenciais de saúde. As perturbações a que foram submetidos os equipamentos eletromédicos ensaiados poderão ter origem nas próprias instalações desses estabelecimentos como também, nos sistemas de distribuição das concessionárias de fornecimento de energia elétrica. Outras vezes, a má qualidade dos projetos e serviços de manutenção poderá também, contribuir para o funcionamento incorreto dos equipamentos eletromédicos. Por outro lado, conhecendo os resultados dos ensaios, os fabricantes deverão concentrar esforços para melhorar seus equipamentos, com objetivo da redução da sensibilidade a tais perturbações. Da mesma forma, as concessionárias de energia elétrica terão um melhor conhecimento dos problemas ocasionados pela má qualidade de energia elétrica fornecida aos consumidores da área de saúde.

Grandes dificuldades foram encontradas durante a realização deste trabalho, podendo-se mencionar entre elas:

-inexistência de normas específicas sobre o comportamento de equipamentos eletromédicos quando submetidos às perturbações existentes nos próprios ambientes onde se encontram instalados;

-comportamento diversificado em função da tecnologia de fabricação o que dificulta a aplicação de ensaios padronizados para todos os tipos de equipamentos eletromédicos;

-muitos fabricantes se negaram a ceder seus equipamentos para testes, com receio de que se encontrassem problemas sujeitos a implicações legais, devido a erros médicos ocasionados pelo mau funcionamento dos mesmos;

-autorização para se efetuar medições em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde com o objetivo da determinação de cargas poluidoras que degradam a qualidade de energia elétrica e,

-permissão para realização de vistorias nas instalações elétricas nos mesmos ambientes, como forma de verificação do atendimento às normas pertinentes.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1)MIGUEL, A.A.P. et al – La amenaza de los armónicos y sus soluciones. Madrid. Editora Centro Español de Información del Cobre, 1999. 205p.
- (2)ALVES, M.F. Qualidade de energia e o impacto sobre o sistema consumidor. Eletricidade Moderna, n.267, p.109-116, 1996.
- (3)BOLLINGER, F. Harmônicas em instalações de computadores: casos reais e recomendações. Eletricidade Moderna. n.206, p.24-28, 1991.
- (4)INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC 60601 – Electrical safety testing for medical equipment. 2001.
- (5)ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR IEC 60601 – Equipamento Eletromédico. 1997.
- (6)INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC 60364 – Electrical Installations of Buildings. 2001
- (7)ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão. 2005.
- (8)ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 13534 – Instalações Elétricas em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde. 1995.
- (9)THOMAS, S.K.; Lai, J.S. Comparison of Standards and Power Supply Design Options for Limiting Harmonic Distortion in Power Systems. IEEE Transactions on Industry Applications. V.29 n°4 p.688-695, July.Aug.1993.
- (10)SILVEIRA, M. Qualidade de Energia Elétrica em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde. Dissertação de Mestrado. 158 p. Universidade Salvador. Salvador. 2002.
- (11)SANTANA; D.J.R. Instalações Elétricas Hospitalares. EDPUCRS. 1999. p.11,
- (12)INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC 61000-4-11-Testing and Measurement Techniques – voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests. 2000.
- (13)MINISTÉRIO DA SAÚDE - Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção. Editora Ministério da Saúde. 2002. Brasília. 2002.