Capítulo XII (final)

Verificação do impacto da qualidade de energia e das instalações elétricas nos equipamentos eletromédicos

*Por Mário César Giacco Ramos e Aderbal de Arruda Penteado Júnior**

Recorrente em muitos seminários e congressos, o tema "qualidade de energia" sempre desperta o interesse dos profissionais da engenharia elétrica por envolver problemas do dia-a-dia das instalações.

Nesse sentido, em busca da perfeição do abastecimento e da qualidade da energia a ser consumida, especialistas encontram-se periodicamente em um dos mais importantes eventos sobre qualidade de energia no País, a Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica (CBQEE), para discutir, entre outros assuntos, novas tecnologias, aspectos legais e contratuais, compatibilidade elétrica e eletromagnética, conservação de energia, normas e recomendações e eficiência energética.

Considerando a importância do tema e ratificando o compromisso da revista ***O SETOR ELÉTRICO*** de contribuir para a formação técnica dos seus leitores, damos continuidade ao fascículo "Qualidade de energia", organizado pelo coordenador do Centro de Estudos em Regulação e Qualidade de Energia da Universidade de São Paulo (Enerq/USP), o professor doutor Nelson Kagan, a partir dos artigos expostos na CBQEE, realizada em meados do ano passado.

O sucesso do perfeito funcionamento e atuação dos equipamentos eletromédicos depende, sobretudo, da qualidade das instalações elétricas nesses ambientes, bem como a qualidade de energia elétrica fornecida a esses equipamentos. Este trabalho tem o objetivo de comprovar, por meio de pesquisa em laboratório, 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.

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 por sua assistência técnica. 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, por meio 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. 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

Apoio

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. 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. 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 maioria dos casos, as perturbações são provocadas pelos próprios consumidores ou em instalações próximas pela utilização de equipamentos denominados de "tecnologia moderna" implantados com componentes não lineares. A partir da década de 1990, 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.

Normas técnicas

Com relação aos equipamentos eletromédicos, é encontrada uma série de normas internacionais IEC 60601, que serviram como base para elaboração das normas nacionais NBR IEC 60601. 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 Instalations of Buildings, como norma geral que trata, em sua parte 7-710, dos requisitos para as instalações elétricas em locais médicos e áreas associadas. No Brasil, de forma semelhante, existem as normas NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão e a NBR 13534 – Instalações Elétricas em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde. A última edição da NBR 5410 entrou em vigor em março de 2005. A NBR 13534 tornou-se válida em dezembro de 1995 com o objetivo de estabelecer 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. Portanto, ocorre a necessidade do desenvolvimento de pesquisas envolvendo equipamentos sensíveis e sua interação com os sistemas de suprimento de energia. Infelizmente no Brasil, ainda não dispomos de normas sobre o assunto e nem legislação apropriada.

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.

Embora não estejam ligados à sobrevivência dos pacientes, outros equipamentos utilizam energia elétrica para fornecer importantes informações sobre o tratamento terapêutico, 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 por meio de redes, de forma que aspectos relacionados à qualidade de energia elétrica se tornam extremamente importantes.

As instalações elétricas nos ambientes assistenciais de saúde

Embora a norma brasileira NBR 13534 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 Contribuição Provisória de Movimentação Financeira (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?

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 apresentar fatores que poderão contribuir para a sua degradação, por meio 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.

METODOLOGIA

A metodologia aplicada consistiu em medições dos parâmetros referentes à qualidade de energia elétrica e 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. O equipamento principal e responsável pela reprodução das perturbações de tensão idênticas às medidas em campo é uma fonte com potência de saída igual a 9 kVA. Está equipada com um controlador UMC-31 trifásico, capaz de gerar frequências entre 45 Hz e 500 Hz. 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 adquirido especialmente para essa finalidade. Foram ainda utilizados outros instrumentos de precisão, como osciloscópio, entre outros.

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 sejam 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

Apoio
CLAMPER®

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.

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 pelo comprimento de onda. A produção de raios X é obtida por 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 consequente 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 Figura 1 apresenta o comportamento da corrente elétrica e os afundamentos de tensão produzidos durante o funcionamento do equipamento:

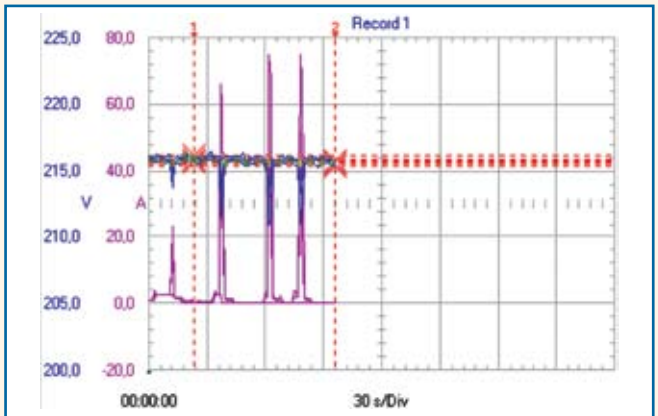

Figura 1 – Picos de corrente produzidos por um equipamento de raios X

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 Figura 2:

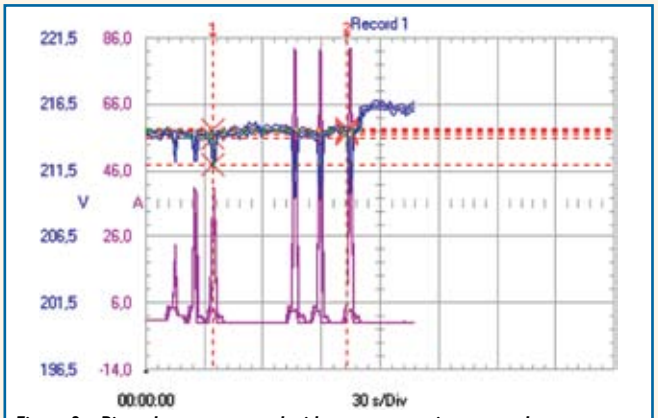

Figura 2 – Picos de corrente produzidos por um equipamento de tomografia computadorizada

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 por meio 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. Por meio 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 Figura 3.

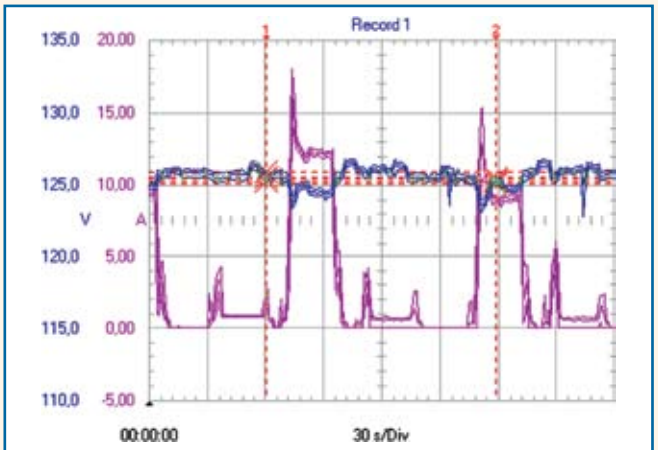

Figura 3 – Picos de corrente produzidos por um equipamento de ressonância magnética

Apoio

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 estão 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 em que se encontram instalados. Dos seis equipamentos ensaiados, cinco apresentaram funcionamento incorreto. Este artigo apresenta os resultados de três equipamentos.

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 (SpO2) e pressão arterial. O equipamento utilizado nos ensaios que serão apresentados efetua todas essas medições de forma não invasiva. 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 110 V.

Tabela I
Ensaios com harmônicos de tensão

Ensaio nº	Fundamental (%)	Harmônica 3ª (%)	5ª (%)	7ª (%)	THD_f (%)
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
Ensaios de afundamentos de tensão

Afundamento nº	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 Figura 4:

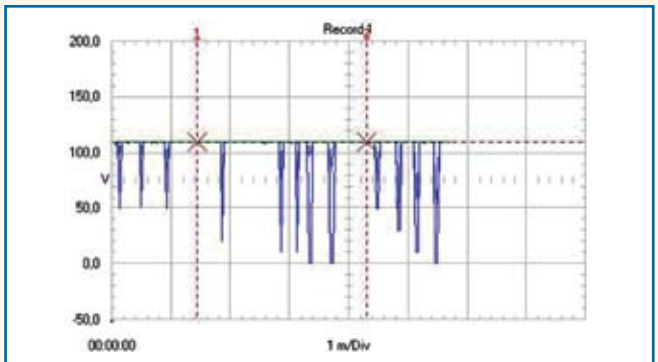

Figura 4 – Afundamentos de tensão aplicados ao monitor cardíaco

Da mesma forma que no teste anterior, o monitor cardíaco não apresentou interferências no sinal gerado em sua tela. Nos afundamentos para 10 V e 0 V (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, cujos valores estão 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.

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 kg e 150 kg. 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 por meio 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 110 V, 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,

Apoio

instalado na parte frontal, indicou os mesmos valores em todos os ensaios. Dessa 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
Ensaios de afundamentos de tensão

Ensaio nº	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 5 e 6 aplicados ao equipamento.

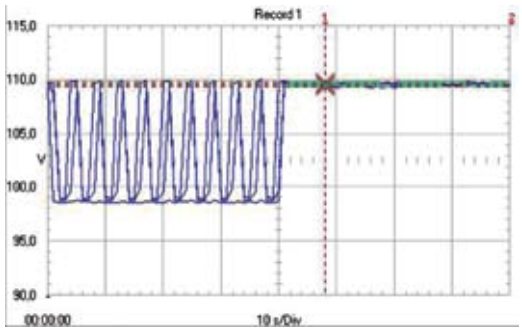

Figura 5 – Afundamentos de tensão do ensaio nº 5

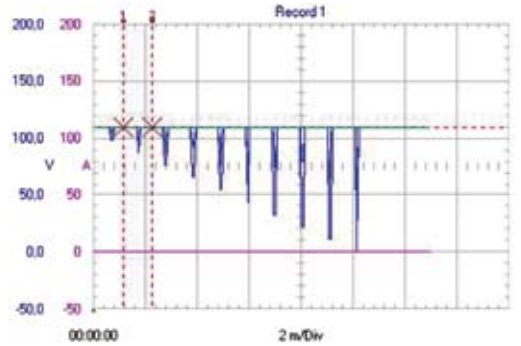

Figura 6 – Afundamentos de tensão do ensaio nº 6

No ensaio nº 6, o equipamento apresentou funcionamento irregular para os afundamentos de 77 V, 88 V, 99 V 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, 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.

Oxímetro de pulso

É um equipamento utilizado na determinação do nível de saturação de oxigênio (SpO2) no sangue arterial, sendo esta quantificação executada de forma não invasiva, por sensores óticos posicionados externamente ao paciente. 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 desses 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.

Apoio

No primeiro grupo de testes, o equipamento foi alimentado com tensão nominal de 110 V, mas contendo os componentes harmônicos já apresentados na Tabela 1. Durante os ensaios, o comportamento do aparelho foi alterado, passando por um ponto bastante crítico.

Observou-se a grande influência da 3ª harmônica, 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 3ª.

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
Ensaios de afundamentos de tensão

Ensaio nº	Quant. de afundamentos	Tensão de afundamento (V)	Tensão remanescente (V)	Tempo de duração (s)	Espaça-mento (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 primeiro grupo de testes, o equipamento foi alimentado com tensão nominal de 110 V, mas contendo os componentes harmônicos já apresentados na Tabela 1. Durante os ensaios, o comportamento do aparelho foi alterado, passando por um ponto bastante crítico.

Observou-se a grande influência da 3ª harmônica, 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 3ª.

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

Nível de tensão remanescente - % Un	Tensão de afundamento ou interrupção - % Un	Duração [ciclos] / ocorrência
800	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 80 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.

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. No entanto, 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 em que 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 deles;

-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;

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

****MÁRIO CÉSAR GIACCO RAMOS é engenheiro eletricista, mestre em Sistemas de Potência, professor da Universidade de Mogi das Cruzes (UMC) e da Universidade de São Paulo (USP).***
ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JÚNIOR é engenheiro eletricista, mestre e doutor em Sistemas de Potência, professor no Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da USP.

Encerramos, com este artigo, a série "Qualidade de energia". Confira este e os outros artigos deste fascículo no site www.osetoreletrico.com.br. Dúvidas e sugestões podem ser encaminhadas para o e-mail redacao@atitudeeditorial.com.br