

QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA NO CENTRO CIRÚRGICO

Felipe Ribeiro Meireles¹
Luiz Gustavo Schorhder²

RESUMO

Com o avanço da tecnologia, equipamentos eletromédicos têm sido cada vez mais sofisticados e eficientes. Isto se deve a componentes eletrônicos que trabalham numa escala atômica e molecular através de manipulação. Recebendo o nome de nanotecnologia. Esta descoberta fez com que a indústria eletrônica trabalhasse cada vez mais com equipamentos em potências e frequências elevadas. Para um bom desempenho destes aparelhos é necessário um bom fornecimento de energia elétrica. A má qualidade de energia elétrica pode ser causada por fatores diversos, dentre eles, trabalharemos com os principais distúrbios. O assunto é discutido por diversos profissionais da área, e estudos para a mitigação destes problemas vem crescendo na medida em que equipamentos com alta eficiência estão disponíveis no mercado. Será proposto medidas e ações preventivas e corretivas, a fim de garantir o funcionamento adequado dos equipamentos eletromédicos e atividades pertinentes, além de soluções, como: filtro de harmônicos; dimensionamento de condutores neutro; e utilização de equipamentos que geram menos distúrbios e serão propostos para eliminar os efeitos causados pela má qualidade de energia.

Palavras-chave: Qualidade de energia. Distorção harmônica. Distúrbios. Equipamentos eletromédicos.

ABSTRACT

With the advancement of technology, electromedical equipment has been increasingly sophisticated and efficient. This is what must be generated on an atomic and molecular scale through manipulation. This is the name of nanotechnology. This comparison has made the agricultural industry more and more work with equipment in high powers and frequencies. For good performance of your devices, you need a good supply of electricity. The choice of electrical energy can be made through disturbances. The problem is discussed in the area of studies and studies on how problems are growing as high-efficiency equipment is available in the market. It Will done be preventive and corrective measures and actions to ensure the proper functioning of electromedical equipment and related activities. It will also be provided solutions such as harmonic filtering, neutral conductor design and the use of equipment that generate less disturbances are proposed to eliminate the poor quality effects of energy.

Keywords: Energy quality. Harmonic distortion. Disturbances. Electromedical equipment.

1 Introdução

Com o avanço da tecnologia, equipamentos eletromédicos têm sido cada vez

¹ Rede de Ensino Doctum – Unidade Dom Orione – eng.meireles18@gmail.com – Graduando em Engenharia Elétrica.

² Rede de Ensino Doctum – Unidade Dom Orione – luis.braga@doctum.edu.br – Professor Orientador

mais sofisticados e eficientes. Isto se deve a componentes eletrônicos que trabalham numa escala atômica e molecular através de manipulação. Recebendo o nome de nanotecnologia. Esta descoberta fez com que a indústria eletrônica trabalhasse cada vez mais com equipamentos em potências e frequências elevadas. Para um bom desempenho destes aparelhos é necessário um bom fornecimento de energia elétrica. “Porém, com a evolução de novas tecnologias, tem sido acompanhada por distúrbios de qualidade de energia, como harmônicas, que podem interferir no funcionamento dos equipamentos”. (OKUMOTO, 2010). Um centro cirúrgico com o fornecimento adequado de energia elétrica, mantém a durabilidade e a confiabilidade destes equipamentos. Médicos e sua equipe poderão trabalhar de forma segura garantindo a vida do paciente.

O hospital da Santa Casa de Misericórdia de Juiz de Fora (SCMJF), um dos 10 melhores hospitais com atendimento ao Sistema Único de Saúde (SUS) e o maior hospital da Zona da Mata Mineira, realiza diariamente diversas cirurgias de todo o tipo, segundo o centro de administração do órgão. Ao todo, são mais de 18 mil processos operatórios por ano. O hospital possui 2 unidades de centro cirúrgico (UCC) com 17 salas. Cada sala possui diversos equipamentos modernos e avançados como: bisturis; carros de anestesia; monitores multiparâmetros; arco cirúrgico; máquina extracorpórea; e outros equipamentos de suporte a vida e que estão à disposição da sociedade.

Este trabalho tem por objetivo geral e principal apresentar um estudo referente a qualidade da energia elétrica dentro da Unidade de Centro Cirúrgico, do 14° andar da Santa Casa de Misericórdia de Juiz de Fora que é fornecida pela concessionária.

Os objetivos específicos serão: desenvolver um estudo, a fim de identificar distúrbios e interferências que podem ocorrer e que afetam o funcionamento de equipamentos médicos; avaliar os resultados obtidos; e elaborar soluções que gerem ações e medidas para a mitigação dos efeitos causados pela má qualidade no fornecimento de energia elétrica no Centro Cirúrgico.

A hipótese deste estudo pretende verificar, se a qualidade do fornecimento de energia elétrica pode influenciar no funcionamento dos equipamentos eletromédicos na tentativa de demonstrar estes problemas através deste trabalho.

Justifica este estudo a evolução da eletrônica de potência dos equipamentos que os tornam mais sensíveis às variações da rede elétrica de energia e o interesse do melhor aproveitamento desta energia.

2 Referencial teórico

Existem várias definições que descrevem o mesmo agrupamento de eventos onde a forma de onda de corrente e tensão, além da amplitude, são afetadas. A frequência destes desvios nestes componentes são uma definição. Falhas no funcionamento de equipamentos podem ser resultantes de problemas de desvio na frequência, ou na tensão, ou corrente. Uma terceira definição expõe que uma companhia de fornecimento de energia elétrica fornece de forma limpa e regular tensão de forma pura, onde não há alterações nas ondas senoidais e em sua amplitude e frequência como se fosse proveniente de uma fonte de potência infinita.

2.1 Qualidade de Energia

A ABNT NBR ISO 9000:2015 descreve aplicações, de forma universal, conceitos e princípios de gestão da qualidade de energia elétrica, onde: entidades buscam melhores resultados através de uma gestão de qualidade; clientes que, de acordo com suas necessidades, buscam confiança no produto e serviço; organizações bem atendidas de acordo com seus fornecedores; um melhor diálogo entre as partes através do léxico da gestão de qualidade de acordo com a NBR ISO 9001; além de treinamentos, consultorias e desenvolvedores de normas relacionadas.

2.1.1 Condições Ideais de Operação de um sistema elétrico

Um Centro Cirúrgico com instalações da rede e fornecimento ideal de energia elétrica podem estabelecer amplitude e frequência constantes e permanentes alternando entre valores positivos e negativos em circuitos de Corrente Alternada (CA). Da mesma forma, a corrente circulante assume o mesmo comportamento. Com tensões senoidais e equilibradas, o setor estará operando com uma perfeita qualidade de energia. A figura 1, a seguir mostra graficamente como seria um sinal senoidal ideal.

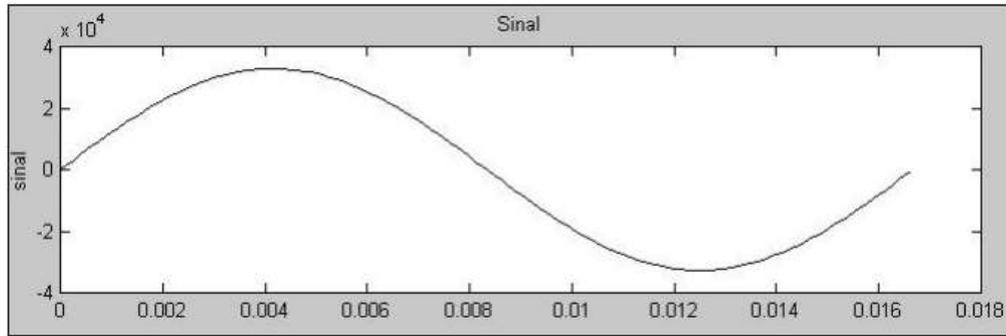


Figura 1 — Sinal Senoidal (60Hz).

Fonte: OKUMOTO (2006).

A amplitude corresponde a altura em que a onda atinge desde o ponto de equilíbrio até a crista. Já a frequência, medida em hertz (Hz) é representada pela letra (f) de acordo com o sistema internacional, e determina o número de oscilações da onda num determinado intervalo de tempo. Suas condições de operação estão entre 59,9 Hz e 60,1 Hz com a necessidade de controle para um funcionamento estável.

2.1.2 Fases Equilibradas

Para garantir um equilíbrio em um sistema trifásico, a amplitude entre as 3 fases deve ser idêntica, assim como o defasamento e as tensões entre elas. Estas 3 fases possuem um ponto neutro, aterrado no gerador, e definido como referência do sistema com tensão igual a zero (0 V). Caso uma carga monofásica seja ligada entre uma fase e o neutro, ela se dará como uma tensão de fase.

A conexão de uma carga entre duas fases gera uma maior Diferença de Potencial (DDP) e esta diferença é intitulada como tensão de linha.

2.1.3 Fator de Potência

O Fator de Potência de um sistema elétrico, operando em corrente alternada, é a relação entre a potência ativa e potência reativa. De acordo com a energia que está sendo usada, o Fator de Potência indica a eficiência deste uso. A energia reativa não realiza trabalho, mas para motores que utilizam campo magnético, seu funcionamento provém da energia reativa. O Fator de Potência deve ser mantido o mais próximo de 1, porém, no Brasil, 0,92 é aceitável. Assim, auxilia na regulação de tensão e as perdas de transmissão são mínimas.

2.2 Principais distúrbios relacionados à qualidade de energia

A má qualidade de energia elétrica pode ser causada por fatores diversos, dentre eles, trabalharemos com os principais distúrbios. O assunto é discutido por diversos profissionais da área e estudos para a mitigação destes problemas vem

crescendo na medida em que equipamentos com alta eficiência estão disponíveis no mercado. Efeitos transitórios, variações de corrente e tensão, interferências eletromagnéticas e até mesmo interrupções são problemas desta má qualidade na rede elétrica, além dos efeitos de harmônicas. Indústrias, estações de rede de telecomunicações, hospitais e até mesmo residências se preocupam com um bom fornecimento de energia.

2.2.1 Interrupções

As interrupções de energia podem ocorrer por vários motivos. Grandes indústrias, hospitais e empresas de serviços que utilizam o sistema elétrico como principal fonte em seus processos produtivos no Brasil, tem prejuízos significativos em razão da falta no serviço.

De acordo com uma pesquisa realizada pelo site portaldaindustria.com.br em 2016; 67% das empresas, abastecidas por rede elétrica para o funcionamento da sua produção, sofrem impactos de forma negativa devido as interrupções do serviço elétrico; 69% das empresas que reclamam das interrupções são da região Norte; as regiões do Centro-Oeste (55%), Sudeste (49%), Sul (45%) e Nordeste (42%) aparecem na sequência de reclamações das empresas pesquisadas.

Segundo o Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a qualidade dos serviços prestados compreende a avaliação das interrupções no fornecimento de energia elétrica. Indicadores de continuidade coletivos Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC) e os indicadores de continuidade individuais Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DIC), Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (FIC), Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora (DMIC) e Duração da Interrupção Individual ocorrido em dia crítico por unidade consumidora (DICRI), fazem parte do processo de aprimoramento da regulamentação da qualidade de serviço no Brasil iniciado em 2009. Atributos descritores dos conjuntos de unidades consumidoras, média mensal de consumo e a sistemática de penalização por transgressão dos limites também estão no processo.

2.2.2 Transitórios

Perturbações de tensão e/ou corrente de curta duração, mas de grande dimensão e elevação acelerada (30 a 200 μ s) são chamados de transitórios. Aparecem

através de fenômenos naturais como descargas atmosféricas ou através de grandes cargas ou reativas.

2.2.2.1 Transitório Impulsivo

Encontrado em regime permanente, um transitório impulsivo é uma súbita alteração não desejável no sistema. São refletidos nas formas de ondas da corrente e/ou tensão sendo primeiramente positivo ou negativo.

2.2.2.2 Transitório Oscilatório

Oscilando na frequência natural do sistema, um transitório se torna oscilatório quando ocorre uma mudança na condição de regime permanente no sinal de tensão e/ou corrente. Ocorrem na energização da linha, abertura de corrente indutiva, chaveamentos de bancos de capacitores e transformadores e na eliminação de faltas.

2.2.3 Variações de Tensão

2.2.3.1 Variações de Tensão de Curta Duração

Conforme o Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2010), as Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD) são desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão durante um intervalo de tempo inferior a 3 minutos. Estas variações podem ser instantâneas, momentâneas ou temporárias. Suas classificações estão descritas na tabela 1 abaixo:

Tabela 1 — Classificação das Variações de Tensões de Curta Duração.

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Temporário de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência
	Elevação Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior a 1,1 p.u

Fonte: Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), Módulo 8, ANEEL (2010).

2.2.3.2 Variações de tensão de longa duração

Quando o valor eficaz está 90% abaixo da frequência normal (50Hz ou 60Hz) numa duração superior a 1 minuto. Pode ser causado após a retirada de um banco capacitivo, entrada de cargas muito altas ou causada por um regulador de tensão. Alteração de desempenho e diminuição da vida útil de alguns equipamentos são consequências destes impactos. Estes efeitos são causados pela subtensão.

Ao contrário, a sobretensão pode decorrer devido a introdução de bancos capacitivos, desligamento de cargas do sistema de regulação de tensão. Com o valor 110% acima do valor eficaz da frequência normal, com duração de 1 minuto, é a principal característica deste fenômeno. Como consequência temos os mesmos efeitos causados pela subtensão.

2.2.4 Harmônicos

2.2.4.1 Definição de harmônicos

Harmônicos são distorções e deformações das ondas senoidais de tensão e corrente em relação as ondas senoidais de frequência fundamental.

De acordo com Rocha (2016)

Os harmônicos de corrente são produzidos por cargas não lineares, tais como equipamentos de eletrônica de potência. Essas cargas geram correntes não senoidais mesmo sendo alimentadas com tensão senoidal. Essas correntes distorcidas ao circularem pela impedância do sistema, que é constituída pela impedância da fonte mais impedância da fiação e transformadores, provocam a distorção da onda de tensão. Essa é a origem dos harmônicos de tensão, pois a concessionária produz, na geração, uma onda senoidal pura de tensão. (p. 8).

2.2.4.2 Espectro harmônico

O espectro de uma senoide é uma raia com a amplitude igual a altura. No espectro, não é possível representar a fase da raia. Decompondo suas componentes senoidais e trabalhando com uma componente por vez, é possível analisar um sinal complexo.

Por definição, o espectro é representado e seus componentes num gráfico onde

mostra sua amplitude pela frequência. A forma de onda representa valores instantâneos em função do tempo.

A figura 1 a seguir mostra um exemplo de como se forma uma onda quadrada simétrica e o seu respectivo espectro. A forma de onda resultante é o somatório de todo instante dos termos. A figura 2, abaixo, mostra a representação.

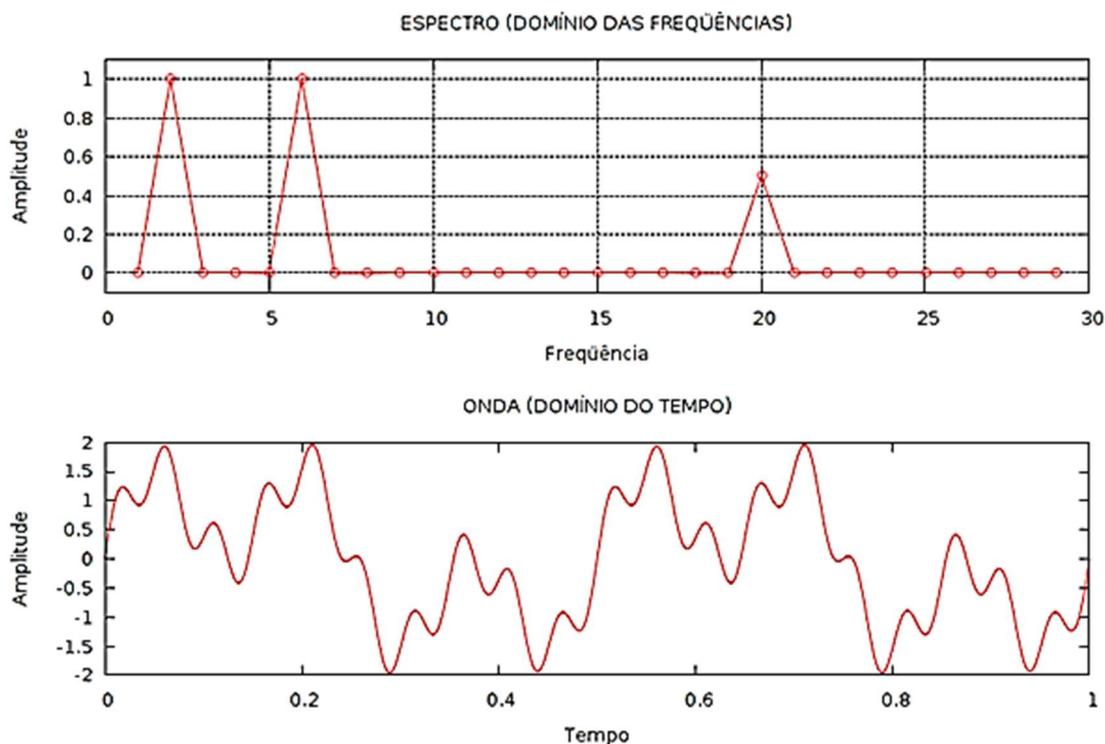


Figura 2 — Forma de espectro e onda nos domínios de frequência e tempo.

Fonte: hudlac.wordpress.com (2009).

2.2.4.3 Ordem, frequência e sequência harmônica

Os sinais em forma de onda de harmônicas são classificados de acordo com a sua ordem, frequência e sequência. Em um sistema ideal, a frequência de 60Hz representa a primeira ordem onde esta é chamada de sistema fundamental.

Existem sinais de ordem ímpar e par. As de ordem ímpar são comuns em instalações elétricas em geral. As de ordem par existem na presença de componentes contínuas havendo assimetrias em seus sinais. Na tabela 2 abaixo mostra a ordem, frequência e sequência das harmônicas.

Tabela 2 — Ordem, frequência e sequência harmônica.

ORDEM	FREQUÊNCIA	SEQUÊNCIA
1	60	+

2	120	-
3	180	0
4	240	+
5	300	-
6	360	0
N	n * 60	—

Fonte: OKUMOTO (2006).

2.2.4.4 Distorção harmônica

“As distorções harmônicas são fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental” (ANEEL, 2018).

A resultante é uma onda harmônica não-senoidais onde a frequência e comprimento desta onda são as mesmas das ondas individuais. A diferença de fase é definida pela amplitude que depende do ângulo φ . Tais distorções estão sempre presentes quando sua fonte originária se encontra em operação sem meios para sua minimização ou eliminação. É um fenômeno contínuo e estacionário.

A Distorção Harmônica Total (DHT) ou Total Harmonic Distortion (THD) é a expressão mais usual para uma distorção harmônica. Geralmente expresso sob forma percentual, representa a distorção de todas as harmônicas presentes e é calculada através da soma quadrática de todas estas componentes presentes através da equação 1:

$$DHT\% = \frac{\sqrt{\sum_2^n V_n^2}}{V_1} \times 100$$

Equação 1 — Cálculo da Distorção Harmônica Total

Fonte: PRODIST (2017)

Segundo o PRODIST - Módulo 8 da ANEEL, as harmônicas totais tem um limite para sua distorção. Estes limites constam na Tabela 3 onde:

- DTT 95% é a distorção harmônica total de tensão;
- DTT_P 95% é a distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3;
- DTT_i 95% é a distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3;

- DTT_3 95% é a distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3.

Ainda, segundo o Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, entende-se que, o conjunto de leituras válidas para gerar indicadores da qualidade da energia em regime permanente, deve obedecer a 1008 leituras obtidas num intervalo consecutivo de 10 minutos cada. Os valores do indicador de DTT, DTT_P , DTT_I e DTT_3 foi superado em apenas 5% dessas leituras válidas.

Os limites para distorções das harmônicas totais constam na tabela abaixo.

Tabela 3 — Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental).

INDICADOR	TENSÃO NOMINAL		
	$V_n \leq 1,0$ kV	$1,0$ kV < V_n < 69 kV	69 kV $\leq V_n$ < 230 Kv
<i>DTT95%</i>	10,00%	8,00%	5,00%
<i>DTT_P95%</i>	2,50%	2,00%	1,00%
<i>DTT_I95%</i>	7,50%	6,00%	4,00%
<i>DTT₃95%</i>	6,50%	5,00%	3,00%

Fonte: ANEEL (2010).

No sistema de distribuição, os limites correspondem ao máximo valor desejado.

Conexão do tipo V ou delta aberto, os limites permitidos para o indicador DTT_3 95% corresponderam a 50% dos respectivos valores indicados na tabela 3, no caso de medições realizadas utilizando Transformador de Potencial (TP).

2.2.4.5 Efeito das harmônicas

As harmônicas de tensão são geradas pelas correntes harmônicas que circulam através das impedâncias da instalação. Isto causa uma deformação nas tensões de alimentação.

Vários problemas são originados pelas correntes harmônicas. A qualidade de energia em uma instalação é reduzida e seus efeitos são:

- Aumento de temperatura em cabos e equipamentos;
- Rede sobrecarregada devido ao acréscimo do valor eficaz das correntes;
- Condutores neutro sobrecarregado devido ao aumento das harmônicas de 3ª ordem originadas pelas cargas monofásicas;
- Diminuição elevada do desempenho de motores e transformadores na entrega de potências em um local com grande número de harmônicas;

- Sobrecargas e diminuição da vida útil de transformadores e motores;
- Desgaste maior de capacitores;
- Alterações nas tensões de alimentação causando perturbações em cargas sensíveis;
- Interferências em redes de comunicação e linhas telefônicas;
- Alteração no comportamento de disjuntores, relés e fusíveis.

2.2.4.6 Medidas típicas por mitigação de harmônicas

“A maneira mais comum de mitigar harmônicos é por meio da utilização de filtros. O principal objetivo dos filtros de harmônicos é reduzir a amplitude de tensões e correntes de uma ou mais frequências harmônicas” (PIRES, 2010).

Alguns cuidados devem ser essenciais quanto à ressonância e efetividade da correção do fator de potência. A solução para compensação reativa, quando aplicada em instalações onde a corrente de harmônica esta presente. Para a mitigação harmônica, filtros passivos normalmente trazem ótimos resultados, tanto para compensação reativa quanto para correção do fator de potência.

Compostos por um conjunto de indutores e capacitores sintonizados à uma frequência de ressonância característica, são formados os filtros passivos. A construção em conjunto, possibilitando a sintonização em várias frequências desejáveis simultaneamente, também é uma qualidade distintiva fundamental. Sua função é absorver as correntes harmônicas da carga, impedindo a circulação pela rede. Devido a sua construção, os filtros passivos também adicionam energia reativa na rede enquanto as harmônicas são absorvidas. A construção destes filtros deve prever a disposição em grupo de filtros para adequar a sua operação à variação da carga, caso seja variável. Assim, evita a sobrecompensação de energia reativa.

“O filtro sintonizado é um circuito série RLC, como mostrado na figura 2, sintonizado em uma frequência de um harmônico. Sua impedância é dada pela Equação 2” (PIRES, 2010).



Figura 3 — Filtro sintonizador RLC.

Fonte: https://www.osetoelettrico.com.br/wp-content/uploads/2011/01/ed59_fasc_harmonicos_capX_II.pdf.

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

Equação 2 — Cálculo da impedância do filtro sintonizador

Fonte: PIRES (2010)

A frequência de ressonância deste filtro é definida pela Equação 3. Através da figura 3 é mostrado uma curva qualitativa no módulo da impedância deste filtro ao longo de um espectro de frequência. Nesta frequência de sintonia do filtro, é menor a impedância de todos os espectros.

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Equação 3 — Cálculo da frequência de ressonância.

Fonte: PIRES (2010)

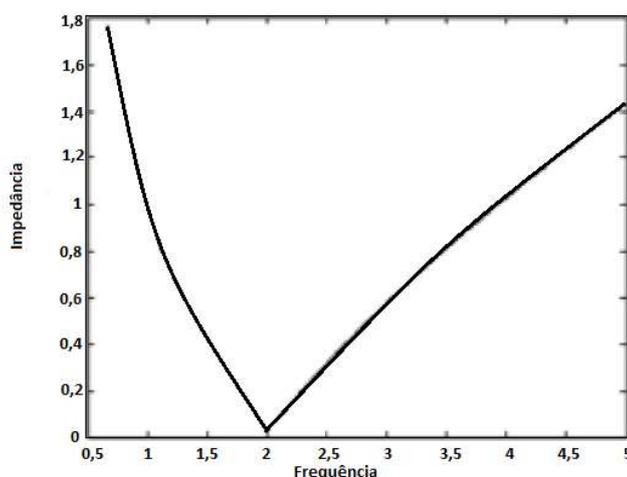


Figura 4 — Módulo da impedância pela frequência em um filtro sintonizador

Fonte: https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2011/01/e_d59_fasc_harmonicos_capXII.pdf.

O fator de qualidade Q do filtro sintonizador RLC é representado pela equação 4 a seguir:

$$Q = \frac{X_0}{R} \text{ onde: } X_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Equação 4 — Cálculo do fator de qualidade

Fonte: PIRES (2010)

2.2.4.7 Normalização para harmônicas

Normas regulamentadoras e de recomendações define as exigências que os níveis de distorção de harmônica de tensão e corrente devem atender. Isto garante a confiabilidade e a qualidade de energia elétrica do sistema de potência. A Associação de Normas Técnicas Brasileiras (ABNT) é a responsável no Brasil.

O órgão regulamentador do setor elétrico brasileiro a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), define um conjunto de regulamento para a rede de distribuição, denominado de Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST).

O Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica (2017) – define a terminologia, caracteriza os fenômenos, parâmetros, procedimentos de medição e valores de referência relativos à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações de regime transitório na forma de onda de tensão.

2.2.5 Interferência eletromagnética

A interferência eletromagnética pode ser descrita como um fenômeno que representa a superposição de duas ou mais ondas em um mesmo ponto. Em caráter de aniquilação, quando as fases são diferentes ou pode ter um caráter de reforço quando combinarem, são características da superposição. Uma onda resultante é formada quando as oscilações de cada um dos movimentos ondulatórios de mesma frequência e amplitude mantêm-se entre elas uma determinada diferença. A Interferência Eletromagnética (IEM) é constituída em barreiras que impedem a melhoria dos níveis de confiabilidade e desempenho dos equipamentos utilizados em diversos setores. Os efeitos causados pela interferência eletromagnética têm se tornado uma das maiores causas de falhas em monitoração, imagens, transmissão de dados, entre outros.

Um ambiente que tenha uma diversidade de equipamentos instalados, como um UCC e Unidades de Terapia Intensiva (UTIs) de um hospital estão sujeitos às IEMs geradas nas próprias unidades por outros equipamentos, por consumidores próximos ou até mesmo em subestações próximas.

Um ambiente eletromagnético não está apenas restrito a campos eletromagnéticos, mas também a sinais ruidosos na linha de transmissão ou de distribuição de energia elétrica. Por exemplo, um equipamento de monitoração de ECG pode não estar sujeito a campos eletromagnéticos gerados por um equipamento de ressonância magnética ou de diatermia por onda-curtas, instalado em uma sala ao lado, mas pode sofrer uma interferência devido aos ruídos produzidos por esses equipamentos e propagados através da rede de alimentação elétrica (ZEVZIKOVAS, 2004, p. 13).

2.2.6 Acoplamentos

O caminho para a IEM pode ser conduzido, irradiado ou os dois por meio de combinação. Qualquer cabo de alimentação, entrada de sinal e terminais de proteção podem ser envolvidos no meio conduzido.

O modo de acoplamento é dependente da frequência e do comprimento da onda. Em meios condutivos, as baixas frequências se propagam com mais facilidade, mas no meio irradiado não são tão eficientes. Com a eficiência de se propagarem pelo ar, as altas frequências são bloqueadas pelas indutâncias da fiação.

Na figura 5, a seguir, veremos como dois modos conhecidos: modo diferencial (entre fases) e modo comum (entre condutores de fase e terra) acoplam e conduzem os distúrbios para dentro de um equipamento.

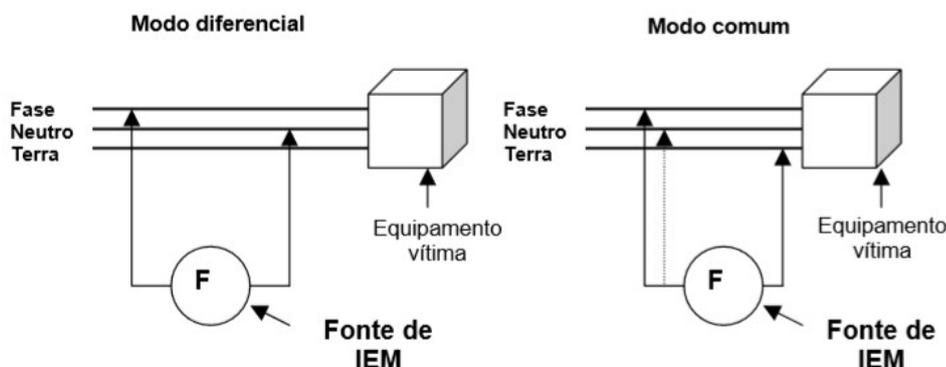


Figura 5 — Modo de acoplamento: diferencial e comum.

Fonte: ZEVZIKOVAS (2004).

2.2.6.1 Tipos de acoplamentos

Os tipos de acoplamentos podem ser:

- Capacitivo: quando dois circuitos estão acoplados por um campo elétrico;
- Indutivos: quando dois circuitos estão acoplados por um campo magnético;
- Através de transformadores: acoplamento intencional de dois indutores, sobre um núcleo ferromagnético;
- Irradiação eletromagnética: são propagadas pelo ar até atingir um receptor através de ondas eletromagnéticas;
- Resistivo ou por impedância: existe uma ligação entre o sinal gerado de interferência eletromagnética e o receptor, como, uma impedância entre malha e terra. Através do sistema de aterramento o ruído passa pela circulação de corrente elevando o potencial de terra do sistema de receptor. Uma perturbação pode percorrer pelo ar e ser captada por um sistema de cabos que agem como antenas sendo recepcionada por condução.

3 Metodologia

A metodologia deste trabalho, é uma análise de dados secundários obtidos através de terceiros e fornecido pelo Hospital da Santa Casa de Misericórdia de Juiz de Fora, que está localizada na cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais. O hospital é alimentado por uma tensão de 23kV total. As análises foram realizadas no mês de março de 2019 no período da tarde, onde há um volume maior de procedimentos cirúrgicos. Foram analisadas as distorções de tensão individual de cada componente

harmônico de tensão no sistema trifásico.

O Centro Cirúrgico do 14° andar do Hospital é dividido em 3 áreas nomeadas como alas. Cada ala possui 13 salas cirúrgicas e cada sala possui, pelo menos, um quadro de distribuição elétrica geral externo. Cada quadro possui, separadamente, disjuntores para cada função como: ar-condicionado; foco cirúrgico; iluminação; tomadas com fases de 127V e 220V e um disjuntor para uma caixa de tomadas do tipo filtro de linha, onde são ligados os equipamentos de suporte. Estes quadros são interligados pela rede elétrica a uma sala onde se localiza o quadro shaft, nomeado de QDF 145, que recebe a rede central trifásica de 220V, no sistema 3p4w, para alimentar equipamentos como: bisturis eletrônicos; arcos cirúrgicos; aparelhos de anestesia; cardioversores/desfibriladores; focos auxiliares; mesas cirúrgicas; máquina extracorpórea; e monitores multiparâmetros de todas as salas.

Foram utilizados equipamentos de alta complexidade com o poder de armazenamento de dados e grandezas elétrica importantes como: tensão; corrente; e frequência, dentre outras, que transforma as informações obtidas e indique o comportamento da energia consumida pelo setor. Alicates wattímetro da marca: Minipa, modelo: ET - 4080, multímetro de processos da marca: Fluke, modelo: 789 foram os principais equipamentos utilizados. Multímetro simples e alicate amperímetro da marca Minipa, além de termovisor da marca Flir também auxiliaram o processo. Os procedimentos foram de acordo com as normas e recomendações técnicas.

Através de software específico para análise da qualidade de energia, os dados foram coletados e analisados, possibilitando examinar as grandezas medidas. Para facilitar a compreensão dos resultados, tabelas e gráficos foram apresentados.

Com os principais conceitos e teorias sobre a Qualidade de Energia Elétrica, a metodologia aplicada a este estudo visa propor soluções que melhore esta energia dentro de um Centro Cirúrgico com ênfase na proteção e um bom funcionamento dos equipamentos. A revisão bibliográfica, através de artigos e trabalhos relacionados, foi possível obter informações que simplificaram a compreensão do estudo no âmbito científico.

4 Resultados e discussões

De acordo com as medições das distorções harmônicas realizadas no Hospital da Santa Casa de Misericórdia de Juiz de Fora, os valores para Harmônica de Tensão estão representados pelo gráfico 1 onde mostra os níveis de harmônica de 3°, 5° e 7° ordem em cada fase. Cada uma dessas fases trifásicas está representada pelas letras

R, S e T. Foi adotado pela empresa medidora o valor de 2% como um limiar de valor mínimo significativo, pois para medir harmônicas de baixa amplitude são mais difíceis. Também foram identificados os principais equipamentos que podem causar tais distorções.

4.1 Estudo de Caso: Medições da Harmônica de Tensão

Para os valores medidos em Harmônica de Tensão das ordens 03, 05 e 07, os valores para a 3° ordem harmônica violam os valores de referência adotados pela empresa. Equipamentos como: bisturi cirúrgico; arco cirúrgico; monitores de sinais vitais; aparelhos de anestesia; e focos cirúrgicos são os equipamentos utilizados com mais frequência e podem ser os principais causadores dessa elevada taxa na componente de 3° ordem, o que mostra as suas características para a distorção. Estes valores foram identificados nas fases: R, S e T.

Valores acima de 2%, já causa algum dano em sistemas eletrônicos em longo prazo. Desgastes em indutores e capacitores são exemplos destes danos.

Para a ordem harmônica 05, seus níveis estão dentro do permitido e não causam efeitos maléficos a equipamentos relacionados a 5° ordem. Porém, na fase S, o nível de harmônica está bem mais elevado do que nas fases R e T, o que se deve ter uma atenção especial nesta fase.

Na ordem harmônica 07, representada pela 7° ordem, os valores apresentados possuem uma distorção menor que as demais ordens. Isto a torna a componente mais equilibrada. Apesar de que, na fase T da 7° harmônica, apresentou uma distorção maior do que apresentada na 5° harmônica de mesma fase e a diferença entre os valores na fase S entre a 5° e a 7° ordem são mais significativos.

O gráfico a seguir mostra que os níveis de tensão harmônica nas fases R, S da 7° ordem e na fase T da 5° ordem estão, consideravelmente, abaixo do valor de 2%, definidos pela empresa. Já na fase S da 3° ordem, o valor de 2,7% é o nível de distorção mais alto registrado.

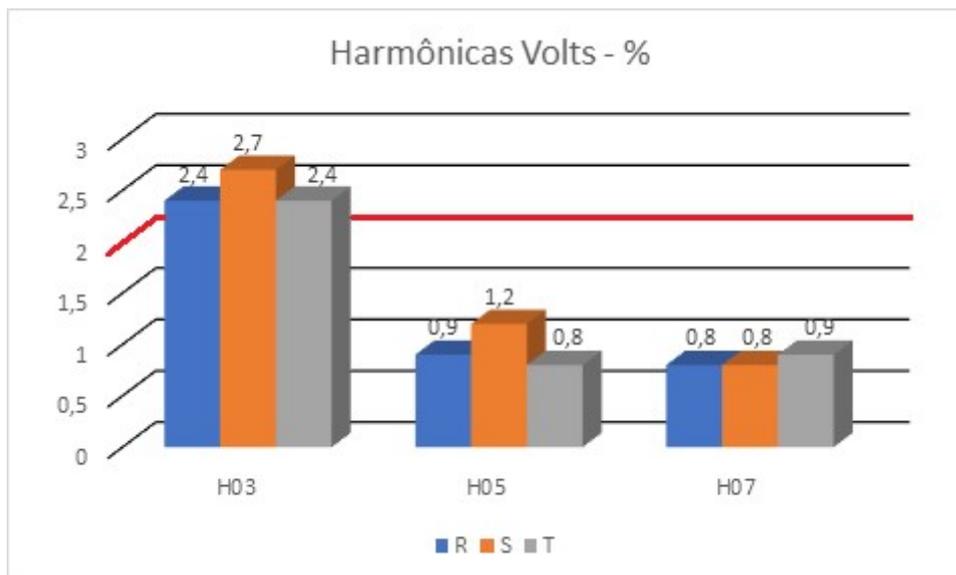


Gráfico 1 — Medição da Harmônica de Tensão.

Fonte: Dados obtidos na pesquisa.

4.2 Equipamento que podem e influenciam a distorção harmônica

As distorções harmônicas são causadas por diversos equipamentos e no centro cirúrgico equipamento de alta potência (indutiva e capacitiva) e com fontes chaveadas, principais influenciadores para distorção, estão presentes a todo momento em funcionamento. Abaixo, algumas características desse equipamento presente no centro cirúrgico:

- **Bisturi Eletrônico:** são geradores de energia de alta frequência. Sua frequência pode variar de 300 kHz a 3 MHz, dependendo do fabricante. Para gerar tais frequências para a sua funcionalidade, o bisturi é composto em seu sistema eletrônico interno por transformadores, capacitores, retificadores e transistores. Sua potência pode chegar a 300W no sistema monopolar e 70W no sistema bipolar, dependendo do fabricante;
- **Arco Cirúrgico:** são equipamentos que produzem imagem em tempo real através da radiologia estática, porém é utilizado imagens fluoroscopia. Nele possui transformadores de alta tensão e retificadores. No tubo de vácuo para geração de elétrons, uma fonte de energia de alta tensão pode trabalhar entre 30 a 150 kV. Sua corrente de entrada pode variar entre 12A a 100V e a 5A a 240V. A corrente momentânea varia de 26A a 20A respectivamente em tais tensões;
- **Aparelho de Anestesia:** estes equipamentos são de alta tecnologia

eletrônica. Com a capacidade de auxiliar de forma mecânica a respiração do paciente, toda a fisiologia é controlada através de sistemas eletrônicos de alta complexibilidade de forma compacta. Isto se deve a nanotecnologia, que é capaz de reduzir o tamanho de placas eletrônicas, mas causar grandes efeitos em sistemas elétricos;

- Monitores de sinais vitais: também são equipamento de grande potencial eletrônico e são capazes de fazer toda a leitura dos sinais vitais do paciente. Com fontes chaveadas e módulos eletrônicos, estes equipamentos também são capazes de causar efeitos no sistema;
- Foco Cirúrgico e Foco auxiliar: originalmente feitos com lâmpadas incandescentes, com o avanço da tecnologia e modernização do setor hospitalar, as lâmpadas foram substituídas por LED. As lâmpadas de LED são umas das responsáveis por alterações no fator de potência e influenciadoras nas distorções harmônicas devido ao seu sistema não linear.
- Ar-Condicionado: todo hospital deve seguir normas e manter uma sala cirúrgica climatizada faz parte de uma delas. Motores, transformadores, compressores e circuito eletrônico são os principais componente que podem influenciar nas distorções harmônicas. Estas distorções tem característica comum e reflete na componente da 5° ordem harmônica.

Estes equipamentos funcionando em conjunto podem ter influenciado nos valores medidos, visto que o horário em que foi realizado a medição foi propício para comprovar tais valores de distorção em cada fase nos componentes de 3°, 5° e 7° ordem.

4.3 Conclusão

O presente estudo abordou e verificou, através de dados medidos por terceiros, que existe a presença de distúrbios de tensão na rede elétrica da Unidade de Centro Cirúrgico do 14° andar do Hospital da Santa Casa de Misericórdia de Juiz de Fora. Observamos, que possíveis equipamentos com maior potencial elétrico e seu uso frequente podem ser os principais causadores desses distúrbios.

Tendo em vista que hospitais de grande porte necessitam de uma atenção mais severa quanto a segurança em diversos aspectos, seria interessante realizar o cálculo de filtros para a mitigação harmônica neste tipo de situação. Como este não é o

objetivo do trabalho, fica como sugestão para trabalhos futuros o cálculo destes elementos para reduzir estes efeitos e garantir uma melhor qualidade de energia em um Centro Cirúrgico.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Procedimentos de Distribuição de Energia no Sistema Elétrico Nacional. *PRODIST Módulo 8*. – Qualidade de Energia Elétrica Brasileira. 2018. ANEEL. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/modulo-8>.

ATKINSON, G. de S.; PEREIRA, E. da S.; RODRIGUES, M. F. *Harmônicas em instalações elétricas de baixa tensão: causas e efeitos dos altos índices de distorções de tensão e corrente*. In: SALÃO DO CONHECIMENTO: CIÊNCIA ALIMENTANDO O BRASIL, UNUUI, 2016.

BERNARDO, Natália; 2013. *Evolução da Gestão de Qualidade de Serviço de Energia Elétrica no Brasil*. 2013. 65f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

CASTRO, Ana Claudia Rubi. *Estudo de funcionalidade e segurança em unidades eletro-cirúrgicas de alta frequência*. 1997. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/111873>.

FLANDOLI, F.; *Harmônicas*. 2017. Programa Eletricista Consciente. Disponível em: <http://www.eletricistaconsciente.com.br/pontue/fasciculos/6-qualidade-da-energia-elétrica/harmonicas/>. Acesso em: 24 de março de 2019.

FLANDOLI, F.; *Medição de Harmônicas*. 2017. Disponível em: <http://www.eletricistaconsciente.com.br/wp-content/uploads/2017/04/Medicao-de-Harmônicas.pdf> . Acesso em: 12 de abril 2019.

GONZAGA, Ricardo Alves. *Curso de extensão – Qualidade de Energia – Medidas Elétricas*. Curitiba. Apostila. UFPR, 2013.

MACEDO JUNIOR, J. R. *Tutorial – Variações de Tensão de Curta Duração – Parte 1*. 2017. <https://www.osetoreletrico.com.br/tutorial-variacoes-de-tensao-de-curta-duracao-parte-1/>. Acesso em: 23 de março de 2019.

PIRES, Igor. *Tutorial – Medidas de mitigação de harmônicos*. 2010. https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2011/01/ed59_fasc_harmonicos_capXII.pdf. Acesso em: 24 de março de 2019.

OKUMOTO, João Cesar; 2006. *Avaliação das Instalações Elétricas de Centro Cirúrgico*. 2006. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2006.

PAULILLO, G.; TEIXEIRA, M. D.; BACCA, I.; *Transitórios*. 2013. Disponível em: http://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/12/ed-94_Fasciculo_Cap-XI-Qualidade-de-energia.pdf. Acesso em: 24 de março de 2019.

ROCHA, Joaquim Eloir. *Qualidade da energia elétrica*. Universidade Tecnológica do Paraná. Departamento de Eletrotécnica. Curitiba: UTPR, 2016. Disponível em: https://www.protcom.net/Literatura/Medicao/Qualidade/NOTAS%20DE%20AULA/NOTAS%20DE%20AULA_QUALIDADE%20ENERGIA%20EL%C3%89TRICA.pdf.

SILVA, Luiz Carlos Evangelista da. *Efeitos das distorções harmônicas (tensões e correntes) e desequilíbrios (tensões) em medidores eletrônicos trifásicos de energia elétrica ativa*. 2008. 203f. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Ilha Solteira, São Paulo, 2008. Disponível em: https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/232-dissertacao_luiz_evangelista.pdf.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. *Normas relativas à corrente de linha: fatos de potência e harmônicas de baixa frequência*. [ca. 2018]. UNICAMP. Disponível em: [http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/htmlfile/harmo/fpcap2.htm#:~:text=A%20grandeza%20TDD%20\(Total%20Demand,de%2015%20ou%2030%20minutos.&text=Limites%20de%20distor%C3%A7%C3%A3o%20de%20corrente,gera%C3%A7%C3%A3o%20e%20co%2Dgera%C3%A7%C3%A3o%20isolados](http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/htmlfile/harmo/fpcap2.htm#:~:text=A%20grandeza%20TDD%20(Total%20Demand,de%2015%20ou%2030%20minutos.&text=Limites%20de%20distor%C3%A7%C3%A3o%20de%20corrente,gera%C3%A7%C3%A3o%20e%20co%2Dgera%C3%A7%C3%A3o%20isolados).

ZEVZIKOVAS, Marcos. *Efeito da Interferência Eletromagnética Conduzida em Equipamentos Eletromédicos no Ambiente Hospitalar*. 2004. 100f. Campinas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, São Paulo, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Sistema de Gestão de Qualidade – Fundamentos e Vocabulário. ABNT NBR ISO 9000:2015. – Sistema de gestão de qualidade. 2015. ABNT. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=345040>.

ABREU, D.; *Dois terços das indústrias têm prejuízos com falhas no fornecimento de energia elétrica, diz pesquisa da CNI*. Portal da Indústria, 2016. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/infraestrutura/dois-tercos-das-industrias-tem-prejuizos-com-falhas-no-fornecimento-de-energia-eletrica-diz-pesquisa-da-cni/>. Acesso em: 21 de março de 2019.

HUDLAC: Osciladores, 2009. Página inicial. Disponível em: <https://tecnoblog.net/247956/referencia-site-abnt-artigos/>. Acesso em: 20 de junho de

2018.