

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**FILIPHE OLIVEIRA LOUBACK**

**INFLUÊNCIA DE HARMÔNICAS EM CIRCUITOS  
SECUNDÁRIOS QUE ATENDEM CARGAS  
ELETROMÉDICAS**

VITÓRIA – ES  
DEZEMBRO/2015

FILIPHE OLIVEIRA LOUBACK

**INFLUÊNCIA DE HARMÔNICAS EM CIRCUITOS SECUNDÁRIOS  
QUE ATENDEM CARGAS ELETROMÉDICAS**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Filipe Oliveira Louback**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Domingos Savio Lyrio Simonetti  
Coorientador: Eng. MSc. Jules Renato Viana Carneiro

VITÓRIA – ES  
DEZEMBRO/2015

FILIPHE OLIVEIRA LOUBACK

## **INFLUÊNCIA DE HARMÔNICAS EM CIRCUITOS SECUNDÁRIOS QUE ATENDEM CARGAS ELETROMÉDICAS**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Filipe Oliveira Louback**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 23, de Dezembro de 2015.

### **COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. Domingos Savio Lyrio Simonetti**  
**Universidade Federal do Espírito Santo**  
**Orientador**

---

**Eng. MSc. Jules Renato Viana Carneiro**  
**Espírito Santo Centrais Elétricas**  
**Coorientador**

---

**Prof. Dr. Paulo José Mello Menegáz**  
**Universidade Federal do Espírito Santo**  
**Examinador**

---

**Prof. Dr. Lucas Frizera Encarnação**  
**Universidade Federal do Espírito Santo**  
**Examinador**

Aos meus pais Lenival Freitas Louback e Eliane de Oliveira Louback que durante a minha vida não mediram esforços para que eu chegasse até aqui.

Agradeço primeiramente a Deus que me deu sabedoria e forças para buscar todo o conhecimento que tenho hoje; A minha namorada Késia Alves Coelho que me apoiou no decorrer da graduação propiciando uma ajuda indispensável nos momentos mais difíceis do curso; A EDP Escelsa pela disponibilização dos medidores de qualidade de energia elétrica e técnicos para a instalação e, em especial, ao meu Orientador Prof. Dr. Domingos Savio Lyrio Simonetti, ao meu coorientador Eng. MSc. Jules Renato Viana Carneiro e ao Téc. Cláudio Rocha Christo que me nortearam ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

Neste trabalho é apresentado o resultado de um estudo dos impactos devido à incidência de correntes e tensões harmônicas causadas pela operação de equipamentos eletromédicos em clínicas médicas de diagnósticos por imagem nas redes de distribuição. Nele, são expostos os resultados de medições de harmônicas em clínicas localizadas na Grande Vitória, no estado do Espírito Santo, o cálculo dos indicadores de qualidade associados às harmônicas bem como a comparação com os limites referenciais nacionais e internacionais. Aborda-se também como as correntes harmônicas influenciam na redução da eficiência da rede de distribuição (redução da capacidade de transformadores e cabos pela maior passagem de corrente e influência sobre a vida útil destes componentes da rede).

Por fim, após cálculo dos indicadores e comparação com os limites estabelecidos, demonstra-se que as clínicas eletromédicas analisadas inserem uma baixa distorção harmônica de tensão na rede de distribuição de modo a não violar os limites nacional e internacional.

## **ABSTRACT**

This work presents the results of a study on the impacts of the incidence of currents and harmonic tensions, which are caused by the operation of electro-medical equipment used in clinics of imaging diagnosis in distribution networks. On it, are shown the results of harmonic measurements in clinics situated in the Greater Vitoria area, in state of Espirito Santo, the calculations of the quality indicators associated with harmonics as well as the comparison with the limits of national and international references. The article also approaches how the harmonic currents influence the efficiency reduction of the distribution network (reduction in capacity of transformers and cables by the greatest pass of current and influence on the lifespan of these network components).

Finally, after calculation of indicators and compared with established limits, demonstrates that the analyzed clinical electromedical insert a low harmonic voltage distortion in the distribution network so that no violation of national and international boundaries.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Onda deformada e suas componentes harmônicas.....	17
Figura 2 - Espectro harmônico da soma dos sinais.....	19
Figura 3 - Espectro do sinal de 60Hz.....	20

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Vida útil do transformador em função do nível de distorção harmônica de tensão .....	32
Gráfico 2 – Vida útil do cabo isolado em função da distorção harmônica total de corrente..	33
Gráfico 3 - Correlação entre a Corrente e DTT% na Bio Scan Diagnóstico por Imagem .....	40
Gráfico 4 - DITh% obtido na Diagnóstico Unimed Vitória .....	42
Gráfico 5 - Correlação entre a Corrente e DTT% na Diagnóstico Unimed Vitória .....	44
Gráfico 6 - DITh% obtido na da Multiscan Diagnóstico por Imagem .....	46
Gráfico 7 - Correlação entre Corrente e DTT95% na Multiscan Diagnóstico por Imagem...	48
Gráfico 8 - DITh% obtido no Centro de Diagnóstico de Imagem.....	50
Gráfico 9 - Correlação entre Corrente e DTT% no Centro de Diagnóstico por Imagem .....	52

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ordem natural, frequência e sequência das harmônicas .....	18
Quadro 2 - Sequência das harmônicas/efeitos .....	19
Quadro 3 - Transformada de Fourier de uma senoide .....	21
Quadro 4 - Terminologia .....	23
Quadro 5 - Valores de referência globais das distorções harmônicas totais.....	24
Quadro 6 - Níveis de referência para distorções harmônicas individuais de tensão .....	25
Quadro 7 - Terminologia para cálculo dos valores de referência para as distorções harmônicas de acordo com a norma técnica 0105 da ANEEL.....	27
Quadro 8 – Limites globais para distorções harmônicas totais .....	29
Quadro 9 - Limites para distorções harmônicas de tensão .....	30
Quadro 10 - Limites para distorção harmônica de corrente para sistemas entre 120 V e 69kV .....	30
Quadro 11 – Interpretação dos valores de correlação.....	34
Quadro 12 - Detalhe das clínicas utilizadas para medição .....	38
Quadro 13 – Níveis de curto circuito na rede de distribuição (15kV) para cada clínica .....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Desvio entre medições considerando 25 ordens e 40 ordens .....	37
Tabela 2 - Indicadores de distorção harmônica da Bioscan – Diagnóstico por Imagem.....	39
Tabela 3 – Indicadores de distorção harmônica da Diagnóstico Unimed Vitória .....	41
Tabela 4 - Indicadores de distorção harmônica individuais da Diagnóstico Unimed Vitória	43
Tabela 5 - Indicadores de distorção harmônica da Multiscan Diagnóstico por Imagem.....	45
Tabela 6 - Indicadores de distorção harmônica individuais da Multiscan Diagnóstico por Imagem .....	47
Tabela 7 - Indicadores de distorção harmônica do Centro de Diagnóstico de Imagem .....	49
Tabela 8 - Indicadores de distorção harmônica individuais do Centro de Diagnóstico de Imagem .....	51
Tabela 9 – Comparação entre os resultados obtidos e os limites nacionais e internacionais .	53

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BT	Baixa Tensão
CDI	Centro de Diagnóstico por Imagem
DC	Direct Current
ES	Espírito Santo
Escelsa	Espírito Santo Centrais Elétricas SA
HVDC	High-Voltage Direct Current
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
Matlab	Matrix Laboratory
MT	Média Tensão
PCC	Point of common coupling
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
TDD	Total Demand Distortion
THD	Distorção harmônica total

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\omega_o$	Frequência angular do sinal (rad/s)
$t$	Tempo (s)
$u_o$	Amplitude do sinal (V ou A)
$DIT_h\%$	Distorção harmônica individual de tensão de ordem h
$DTT\%$	Distorção harmônica total de tensão
$V_h$	Tensão harmônica de ordem h (V)
$h$	Ordem harmônica
$h_{máx}$	Ordem harmônica máxima
$h_{mín}$	Ordem harmônica mínima
$V_1$	Tensão fundamental medida (V)
$DIT_p\%$	Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3
$DTT_i\%$	Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3
$DTT_3\%$	Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3
$DIT_{95\%}$	Valor do indicador $DIT\%$ que foi superado em apenas 5% dos 1008 registros válidos de 10 minutos
$DIT_p_{95\%}$	Valor do indicador $DTT_p\%$ que foi superado em apenas 5% dos 1008 registros válidos de 10 minutos
$DIT_i_{95\%}$	Valor do indicador $DTT_i\%$ que foi superado em apenas 5% dos 1008 registros válidos de 10 minutos
$DIT_3_{95\%}$	Valor do indicador $DTT_3\%$ que foi superado em apenas 5% dos 1008 registros válidos de 10 minutos
$I_{sc}$	Corrente Máxima de curto circuito no PCC
$I_l$	Corrente de carga sobre demanda máxima (componente de frequência fundamental) no PCC em condições normais de funcionamento de carga.
$r$	Coeficiente de correlação

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. EMBASAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1 Clínicas eletromédicas.....	17
2.2 Harmônicas.....	17
2.2.1 Caracterização das harmônicas .....	17
2.2.2 Ordem, frequência e sequencia das harmônicas.....	18
2.2.3 Espectro harmônico.....	19
2.3 Transformada de Fourier .....	20
2.4 Limites estabelecidos para as harmônicas.....	22
2.4.1 PRODIST .....	22
2.4.2 Revisão 6 do Módulo 8 do PRODIST.....	23
2.4.3 Nota técnica 0105 da ANEEL.....	26
2.4.4 IEEE 519 (2014).....	29
2.5 Efeito de harmônicas em componentes do sistema elétrico .....	31
2.5.1 Efeito de harmônicas em transformadores .....	31
2.5.2 Efeito de harmônicas em condutores.....	32
2.5.3 Efeito de harmônicas em relés de proteção e fusíveis.....	33
2.5.4 Efeito de harmônicas em bancos de capacitores .....	33
2.6 Coeficiente de Correlação .....	33
2.7 Percentil.....	35
<b>3. MEDIÇÕES REALIZADAS .....</b>	<b>36</b>
3.1 Cálculo dos indicadores de qualidade e comparação com os limites estabelecidos por norma.....	37
3.1.1 Bio Scan – Diagnóstico por Imagem.....	38
3.1.2 Diagnóstico Unimed Vitória .....	40
3.1.3 Multiscan Diagnóstico Por Imagem .....	44
3.1.4 Centro De Diagnóstico Por Imagem .....	48
<b>4. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>53</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>58</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A qualidade da energia elétrica (QEE) vem sendo amplamente debatida e estudada em vários segmentos do setor elétrico, buscando-se garantir que o fornecimento de energia elétrica atenda às necessidades dos consumidores, propiciando a segurança e a integridade de seus bens. Segundo DECKMANN (2010, p.4) devido às diversas transformações pelas quais os sistemas elétricos têm passado, a preocupação com a QEE tem se tornado cada vez mais evidente.

De acordo com SILVEIRA (2002, p.1) a QEE está diretamente ligada à ausência de variações de tensão, desligamentos, flutuações, surtos entre outros, ou seja, na inexistência de alterações de níveis de tensão, de desvios na frequência ou alteração da forma de onda da tensão ou da corrente que possam provocar falha ou funcionamento inadequado de algum equipamento dos consumidores. Segundo Bernardes e Silva (2009, p. 2):

*“o Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) define a qualidade de energia como o conceito de alimentação e aterramento de equipamentos sensíveis de forma que a operação dos mesmos seja adequada, considerando também a poluição harmônica causada pelas cargas.”*

Conforme DUARTE (2010, p.1), nas últimas décadas os equipamentos utilizados pelos consumidores têm se transformado de eletromecânicos para eletroeletrônicos, estes intimamente ligados à QEE por serem muito sensíveis aos distúrbios e às distorções de onda senoidal. Por esse fator, requer-se que a qualidade da energia elétrica fornecida pelas concessionárias seja cada vez melhor.

No Brasil, a legislação vigente para os sistemas de distribuição (Módulo 8 do PRODIST, Revisão 6) estabelece de forma consolidada apenas aspectos referentes à continuidade do fornecimento e conformidade da tensão em regime permanente. Outros parâmetros de QEE, apesar de serem caracterizados e apontados os limites referenciais para fins de planejamento do setor, não possuem ainda obrigações legais e limites definidos. Todavia, há estudos sendo realizados e discussões técnicas com todos os agentes envolvidos de forma a ampliar essa abrangência, com o objetivo de incluir nos demais fatores que afetam diretamente a QEE definições legais, metodologias de análise, indicadores e limites referenciais, visando o melhor atendimento à diversidade de tecnologias que estão sendo continuamente conectadas à rede elétrica.

De acordo com Silveira (2002, p.1):

O controle de qualidade surgiu primeiramente em produtos nos quais eram de extrema importância a segurança e confiabilidade, como na indústria naval, aeronáutica e nuclear. [...] A adequação dos produtos aos padrões de qualidade, estabelecidos previamente, se tornou obrigatório e cada vez mais exigido tanto no processo de fabricação ou no produto final. Sendo assim o fornecimento de energia elétrica também deve seguir alguns padrões sendo estes normalmente definidos por normas e recomendações.

Pensando em QEE, existem diversos distúrbios que a afetam como variações transitórias de tensão, variações de tensão de curta duração, variações sustentadas de tensão ou de regime permanente, variações momentâneas de frequência, distorções harmônicas, flutuações de tensão, desequilíbrios de tensão. Este trabalho visa o estudo das distorções harmônicas causadas devido a operação de cargas não lineares (cargas eletromédicas) inseridas no sistema de distribuição, as quais provocam maior carregamento das redes elétricas (podendo culminar em sobrecargas), sobreaquecimento de equipamentos e distúrbios em dispositivos. Entretanto, esses efeitos podem ser mitigados com o uso de filtros e transformadores de isolamento.

Sendo a presença de cargas eletromédicas na rede de distribuição um possível causador da alteração no formato de onda senoidal provocada pela distorção harmônica, escolheu-se essas cargas para se fazer um estudo dos níveis de distorção harmônica de tensão verificados na rede de distribuição nos pontos de atendimento.

O trabalho contém, além deste capítulo introdutório, o capítulo 2 no qual é realizado um embasamento teórico para a abordagem do tema. Nele expõem-se o que são clínicas eletromédicas, uma introdução sobre harmônicas, transformada de Fourier, os limites nacional e internacional estabelecidos para harmônicas de tensão, os efeitos destas harmônicas em alguns equipamentos do sistema de distribuição e conceitos de correlação e determinação. No capítulo 3, demonstra-se os resultados dos indicadores calculados relacionados às harmônicas e uma comparação com os limites nacional e internacional. Após esse cálculo, no capítulo 4, faz-se uma comparação entre os resultados obtidos e, por fim, no capítulo 5, realiza-se a conclusão do trabalho.

## 2. EMBASAMENTO TEÓRICO

### 2.1 Clínicas eletromédicas

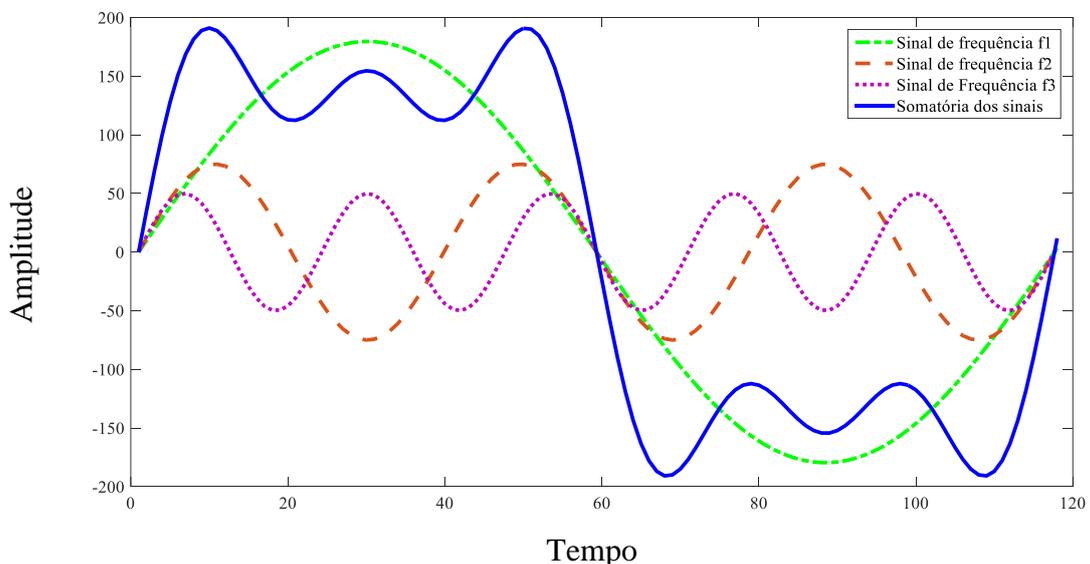
Clínicas eletromédicas são unidades de diagnóstico de saúde dotadas de equipamentos eletromédicos. Estes, por sua vez, são dispositivos eletroeletrônicos utilizados pelos médicos para colaborar no diagnóstico, tratamento ou monitoração de seus pacientes. Para realização deste estudo foram escolhidas clínicas de diagnóstico por imagem por possuírem equipamentos não lineares de alta potência responsáveis por injeção de correntes harmônicas na rede de distribuição provocando uma distorção harmônica de tensão.

### 2.2 Harmônicas

#### 2.2.1 Caracterização das harmônicas

A tensão ou corrente harmônica é um sinal senoidal cuja frequência é um múltiplo inteiro da frequência fundamental do sinal de alimentação. A forma de onda de tensão ou de corrente em um determinado ponto da instalação pode ser representada pela soma dos sinais na frequência fundamental com suas múltiplas tal como pode ser visualizado na Figura 1. Na imagem em questão, o sinal representa a soma ponto a ponto da componente fundamental de frequência  $f_1$  com os outros dois sinais de amplitudes e frequências diferentes, chamadas componentes harmônicas.

Figura 1 - Onda deformada e suas componentes harmônicas



Assim um sinal contém harmônicas se sua forma é não senoidal, ou seja, ele é deformado em relação a um sinal senoidal.

### 2.2.2 Ordem, frequência e sequência das harmônicas

A classificação dos sinais harmônicos quanto à sua ordem natural, frequência e sequência, para o sistema elétrico brasileiro é dada de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 – Ordem natural, frequência e sequência das harmônicas

Ordem	Frequência	Sequência
1	60	+
2	120	-
3	180	0
4	240	+
5	300	-
6	360	0
n	$n * 60$	-----

FONTE: MORENO, (2001).

Observando o Quadro 1, pode-se notar que a ordem do sinal está relacionada com o valor  $n$  que multiplica a frequência do sinal de ordem 1, também chamado de fundamental, para se obter a frequência do sinal de ordem mais elevada. Com isso, têm-se harmônicas de ordem par e ímpar.

As harmônicas de ordem par geralmente são raras na rede elétrica e são provocadas em sua maioria por dispositivos que possuem retificadores e/ou inversores com assimetria no chaveamento. Estes podem ser monofásicos ou trifásicos que realizam a retificação de onda completa e injetam na rede de distribuição sinais distorcidos, todavia periódicos e simétricos (ISONI, 2005). As harmônicas de ordem ímpar são mais comuns na rede elétrica em geral. Lâmpadas fluorescentes compactas, computadores, fornos micro-ondas, televisões e *dimmers* para lâmpadas incandescentes são exemplos de cargas geradoras de harmônicas de ordem ímpar.

Com relação à sequência das harmônicas elas podem ser classificadas como positivas, negativas ou nulas. No Quadro 2 pode-se ver os efeitos provocados por cada sequência de harmônicas.

Quadro 2 - Sequência das harmônicas/efeitos

Sequência	Efeitos
Positiva	Sobreaquecimentos
Negativa	Sobreaquecimentos e menor rendimento
Nula	Somam-se no condutor neutro

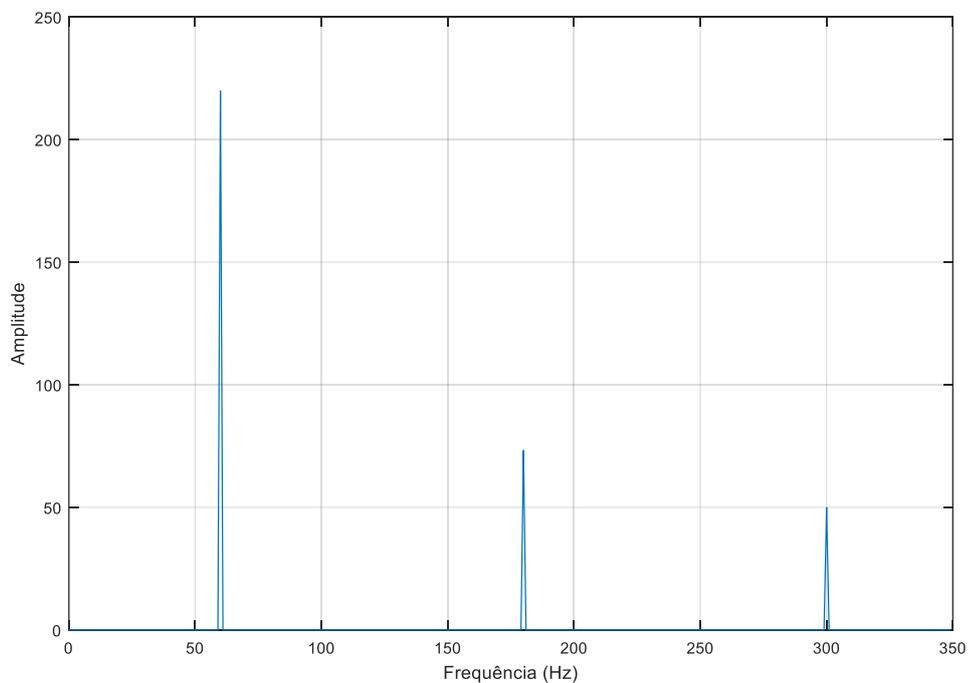
FONTE: CORREIA, (2007).

As harmônicas de sequência nula são as mais danosas ao sistema elétrico, pois as mesmas se somam no condutor neutro provocando vários problemas na instalação e nos equipamentos ligados a ela (CORREIA, 2007).

### 2.2.3 Espectro harmônico

A partir do sinal representado na Figura 1, é possível gerar o espectro harmônico do mesmo como pode ser visto na Figura 2. Este espectro foi gerado a partir do código desenvolvido no *software* Matlab apresentado no APÊNDICE A.

Figura 2 - Espectro harmônico da soma dos sinais



FONTE: Produção do próprio autor

Notam-se pulsos nas frequências de 60Hz, 180Hz e 300Hz, frequências essas referentes ao sinal fundamental e sua terceira e quinta harmônica como demonstrado, no domínio do tempo, na Figura 1.

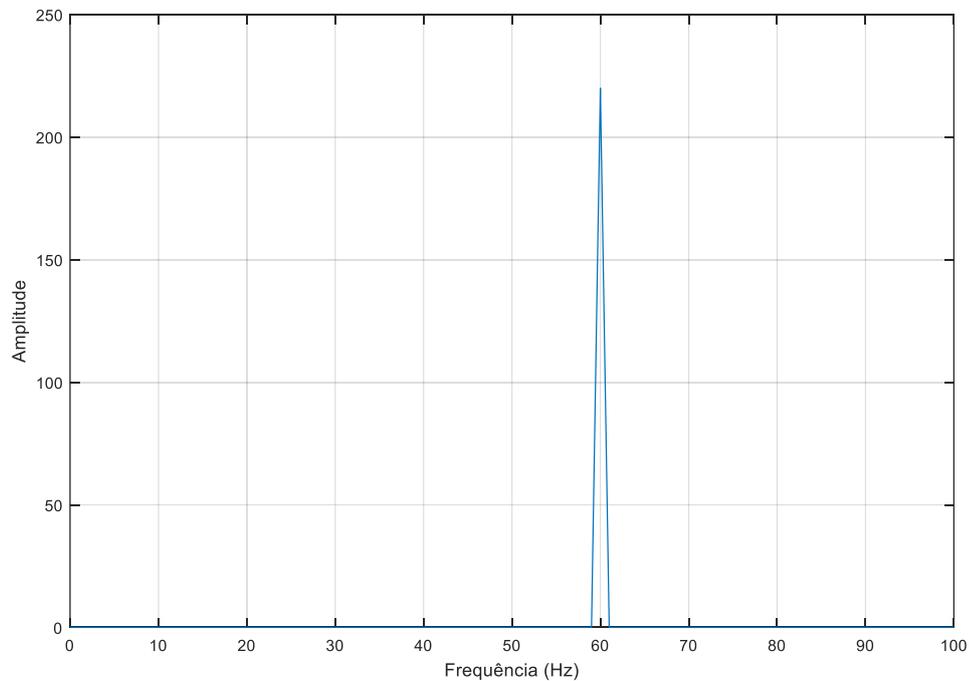
### 2.3 Transformada de Fourier

A transformada de Fourier ( $X(jw)$ ) de um sinal  $x(t)$  pode ser calculada através da equação (1).

$$X(jw) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) * e^{-jwt} dt \quad (1)$$

Esta transformada é uma função de  $w$  (ou de  $jw$ ) e, de certa forma, generaliza a série de Fourier. Aplicando a transformada de Fourier a um sinal periódico obtemos a representação deste sinal no domínio da frequência. Por exemplo, ao aplicarmos a transformada de Fourier ao sinal de frequência  $f = 60$  Hz e amplitude de 220 V da Figura 1 obter-se-á o espectro deste sinal como demonstrado na Figura 3, na qual se observa um pico com a amplitude do sinal original centrado na frequência original do sinal.

Figura 3 - Espectro do sinal de 60Hz



FONTE: Produção do próprio autor

De modo geral a transformada de Fourier de uma senoide pode ser expressa como demonstrado no Quadro 3.

Quadro 3 - Transformada de Fourier de uma senoide

$x(t)$	$X(jw)$
$sen(wo * t)$	$\frac{\pi}{j} * [uo * (w + wo) + uo * (w - wo)]$

FONTE: Produção do próprio autor

Onde:

$wo$  é a frequência angular do sinal (rad/s)

$t$  é o tempo (s)

$uo$  é a amplitude do sinal (V ou A)

$w$  é a frequência angular do sinal (rad/s)

É interessante ressaltar que após se aplicar a transformada de Fourier ao sinal senoidal tem-se como resultado valores em frequências opostas, sendo esta uma característica da transformada de Fourier. Logo, sempre que se aplicar a transformada de Fourier a um sinal senoidal de frequência  $f$  obteremos dois picos em  $-f$  e  $f$ .

Uma das propriedades da transformada de Fourier é a linearidade a qual diz que: ao se aplicar a transformada de Fourier em uma soma de sinais contínuos e periódicos obtêm-se resultado igual ao se aplicar a transformada de Fourier separadamente em cada sinal e depois somar o resultado. Por exemplo, suponha que:

$x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$  sejam sinais contínuos

E que

$$y(t) = \alpha x_1(t) + \beta x_2(t) + \dots + \gamma x_n(t) \quad (2)$$

A equação (2) é um sinal composto pela soma dos  $x_n$  sinais. Então, na equação (3) mostra-se que a transformada de Fourier de  $y(t)$  é:

$$F\{y(t)\} = Y(j\omega) = \alpha X_1(j\omega) + \beta X_2(j\omega) + \dots + \gamma X_n(t) \quad (3)$$

Ou seja,

$$F\{\alpha x_1(t) + \beta x_2(t) + \dots + \gamma x_n(t)\} = \alpha F\{x_1(t)\} + \beta F\{x_2(t)\} + \dots + \gamma F\{x_n(t)\} \quad (4)$$

Sendo assim, como demonstrado na equação (4), a transformada de Fourier é uma importante ferramenta para se conseguir descobrir quais são as ordens das harmônicas presentes em um sinal distorcido.

## 2.4 Limites estabelecidos para as harmônicas

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é uma agência reguladora vinculada ao Ministério de Minas e Energias. A sua finalidade é fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica em conformidade com as políticas e diretrizes do Governo Federal.

### 2.4.1 PRODIST

Os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST são documentos elaborados pela ANEEL que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2009). O PRODIST contém 9 Módulos:

- Módulo 1 – Introdução
- Módulo 2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição
- Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição
- Módulo 4 – Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição
- Módulo 5 – Sistemas de Medição
- Módulo 6 – Informações Requeridas e Obrigações
- Módulo 7 – Cálculo das Perdas na Distribuição
- Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica
- Módulo 9 – Ressarcimento de danos Elétricos

### 2.4.2 Revisão 6 do Módulo 8 do PRODIST

Na revisão 6 do módulo 8 do PRODIST estabelece-se os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica – QEE, abordando a qualidade do produto e a qualidade do serviço prestado pelas concessionárias de energia elétrica. Em relação à qualidade do produto, este módulo caracteriza os fenômenos de QEE, estabelece os critérios de amostragem, os valores de referência e os procedimentos relativos à qualidade do produto considerando, entre outros aspectos, os harmônicos (ANEEL, 2015). No Quadro 4 estão sintetizadas a terminologia aplicável às formulações do cálculo de valores de referência para as distorções harmônicas.

Quadro 4 - Terminologia

<b>Identificação da Grandeza</b>	<b>Símbolo</b>
Distorção harmônica individual de tensão de ordem h	$DIT_h\%$
Distorção harmônica total de tensão	$DTT\%$
Tensão harmônica de ordem h	$V_h$
Ordem harmônica	$h$
Ordem harmônica máxima	$H_{máx}$
Ordem harmônica mínima	$H_{mín}$
Tensão fundamental medida	$V_1$

FONTE: ANEEL, (2015).

Através da equação (5) pode ser calculada a Distorção harmônica individual de tensão de ordem  $h$ :

$$DIT_h\% = \frac{V_h}{V_1} * 100 \quad (5)$$

Através da equação (6) pode ser calculada a Distorção harmônica total de tensão:

$$DTT\% = \left( \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{H_{máx}} V_h^2}}{V_1} \right) * 100 \quad (6)$$

Vale ressaltar que o Módulo 8 do PRODIST não faz referências às distorções harmônicas de corrente e que este também não estabelece limites às distorções harmônicas de tensão, mas sim valores referenciais a  $DIT_h\%$  e a  $DTT\%$ . Estes valores referenciais estão indicados no Quadro 5 e Quadro 6:

Quadro 5 - Valores de referência globais das distorções harmônicas totais  
(Em porcentagem da tensão fundamental)

<b>Tensão nominal do barramento</b>	<b>Distorção Harmônica Total de Tensão (DTT) [%]</b>
$V_n \leq 1kV$	10
$1kV < V_n \leq 13,8kV$	8
$13,8kV < V_n \leq 69kV$	6
$69kV < V_n < 230kV$	3

FONTE: ANEEL, (2015).

Quadro 6 - Níveis de referência para distorções harmônicas individuais de tensão  
(Em percentagem da tensão fundamental)

Ordem Harmônica	Distorção Harmônica Individual de Tensão [%]				
	$V_n \leq 1 \text{ kV}$		$1 \text{ kV} < V_n \leq 13,8 \text{ kV}$	$13,8 \text{ kV} < V_n \leq 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} < V_n \leq 230 \text{ kV}$
Ímpares não múltiplas de 3	5	7,5	6	4,5	2,5
	7	6,5	5	4	2
	11	4,5	3,5	3	1,5
	13	4	3	2,5	1,5
	17	2,5	2	1,5	1
	19	2	1,5	1,5	1
	23	2	1,5	1,5	1
	25	2	1,5	1,5	1
	>25	1,5	1	1	0,5
Ímpares múltiplas de 3	3	6,5	5	4	2
	9	2	1,5	1,5	1
	15	1	0,5	0,5	0,5
	21	1	0,5	0,5	0,5
	>21	1	0,5	0,5	0,5
Pares	2	2,5	2	1,5	1
	4	1,5	1	1	1,5
	6	1	0,5	0,5	0,5
	8	1	0,5	0,5	0,5
	10	1	0,5	0,5	0,5
	12	1	0,5	0,5	0,5
	>12	1	0,5	0,5	0,5

FONTE: ANEEL, (2015).

### **2.4.3 Nota técnica 0105 da ANEEL**

De acordo com a ANEEL (2014, p.1):

O objetivo desta nota técnica é apresentar sugestões para o aperfeiçoamento da regulamentação que trata da qualidade do produto constante na seção 8.1 do Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição - PRODIST, de forma a possibilitar à ANEEL aprimorar a regulação da qualidade do produto considerando os fenômenos: Distorções Harmônicas, Desequilíbrios de Tensão, Flutuações de Tensão e Variações de Tensão de Curta Duração. Trata-se de uma proposta a ser submetida à discussão com a sociedade por meio de Consulta Pública.

Logo, através desta nota técnica, a ANEEL propôs uma nova terminologia aplicável às expressões do cálculo dos valores de referência para as distorções harmônicas e a inclusão de três novos indicadores que podem ser vistos no Quadro 7. Deve-se notar que nesta nota técnica a ANEEL não sugere a inserção da terminologia para harmônicas de corrente.

Quadro 7 - Terminologia para cálculo dos valores de referência para as distorções harmônicas de acordo com a norma técnica 0105 da ANEEL.

<b>Identificação da Grandeza</b>	<b>Símbolo</b>
Distorção harmônica individual de tensão de ordem h	$DTI_h\%$
Distorção harmônica total de tensão	DTT %
Distorção harmônica total de tensão para os componentes pares não múltiplos de 3	$DTT_P\%$
Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3	$DTT_i\%$
Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3	$DTT_3\%$
Tensão harmônica de ordem h	$V_h$
Ordem harmônica	h
Ordem harmônica máxima	h <sub>máx</sub>
Ordem harmônica mínima	h <sub>mín</sub>
Tensão fundamental	$V_1$
Valor do indicador DTT % que foi superado em apenas 5 % dos 1008 registros válidos de 10 minutos	DTT 95%
Valor do indicador $DTT_P\%$ que foi superado em apenas 5 % dos 1008 registros válidos de 10 minutos	$DTT_P95\%$
Valor do indicador $DTT_i\%$ que foi superado em apenas 5 % dos 1008 registros válidos de 10 minutos	$DTT_i95\%$
Valor do indicador $DTT_3\%$ que foi superado em apenas 5 % dos 1008 registros válidos de 10 minutos	$DTT_395\%$

FONTE: ANEEL, (2015).

As expressões para cálculo das grandezas  $DTT_P\%$ ,  $DTT_i\%$  e  $DTT_3\%$  são apresentadas em (7), (8) e (9):

$$DTT_P\% = \left( \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} V h^2}}{V_1} \right) * 100 \quad (7)$$

onde:

$h$  = todas as ordens harmônicas pares, de 2 até  $h_{\max}$ , não múltiplas de 3 ( $h = 2, 4, 8, 10, 14, 16, 20, 22, 26, 28, 32, 34, 38$  e  $40$ ).

$$DTT_i\% = \left( \frac{\sqrt{\sum_{h=5}^{h_{\max}} V h^2}}{V_1} \right) * 100 \quad (8)$$

onde:

$h$  = todas as ordens harmônicas ímpares, de 5 até  $h_{\max}$ , não múltiplas de 3 ( $h = 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, 31, 35$  e  $37$ ).

$$DTT_3\% = \left( \frac{\sqrt{\sum_{h=3}^{h_{\max}} V h^2}}{V_1} \right) * 100 \quad (9)$$

onde:

$h$  = todas as ordens harmônicas, de 3 até  $h_{\max}$ , múltiplas de 3 ( $h = 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36$  e  $39$ ).

No Quadro 7 também são apresentados os indicadores  $DTT_{95\%}$ ,  $DTT_{P95\%}$ ,  $DTT_{i95\%}$  e  $DTT_{395\%}$  os quais são obtidos aplicando-se o percentil 95, ou seja, eliminando-se os elementos que excedem em 5% o total de amostras dos indicadores  $DTT\%$ ,  $DTT_P\%$ ,  $DTT_i\%$  e  $DTT_3\%$ , respectivamente.

No Quadro 8 pode ser visto os limites globais para distorções harmônicas totais propostos por esta nota técnica.

Quadro 8 – Limites globais para distorções harmônicas totais  
(em porcentagem da tensão fundamental)

Indicador	Tensão nominal do barramento		
	$V_n \leq 1 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < V_n \leq 69 \text{ kV}$	$V_n \geq 69 \text{ kV}$
DTT 95%	8,0 %	6,0 %	5,0 %
DTT <sub>p</sub> 95%	2,0 %	1,5 %	1,0 %
DTT <sub>i</sub> 95%	6,0 %	5,0 %	4,0 %
DTT <sub>3</sub> 95%	5,0 %	4,0 %	3,0 %

FONTE: ANEEL, (2015).

#### 2.4.4 IEEE 519 (2014)

O *Institute of Electrical and Eletronics Engineers - IEEE* trata-se de uma organização internacional sem fins lucrativos. Seus objetivos são definidos como “uma organização científica e educacional, direcionada para o avanço da teoria e prática das engenharias elétrica, eletrônica, de comunicações e de computação, assim como ciência da computação, outras engenharias e ciências relacionadas”. Com isso o IEEE tornou-se o maior divulgador de jornais científicos e organizados de conferências. Além disso, é um grande desenvolvedor de normas técnicas em várias áreas (SANTOS, 2007).

A norma IEEE 519 de 2014 faz uma recomendação em relação aos limites de harmônicas de tensão na interface entre as fontes e as cargas, descrito como ponto de acoplamento comum (*point of common coupling - PCC*). Os limites para as harmônicas de tensão podem ser observados no Quadro 9:

Quadro 9 - Limites para distorções harmônicas de tensão

<b>Tensão V no PCC</b>	<b>Distorção Harmônica Individual (%)</b>	<b>Distorção Harmônica Total THD (%)</b>
$V \leq 1 \text{ kV}$	5,0	8,0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3,0	5,0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1,5	2,5
$161 \text{ kV} \leq V$	1,0	1,5 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Sistemas de alta tensão podem ter até 2,0 % THD onde a causa é um terminal HVDC cujos efeitos vão ser atenuados em pontos da rede onde os usuários futuros podem ser conectados.

FONTE: Adaptado IEEE, (2014).

Esta norma também recomenda limites para as harmônicas de corrente, os quais podem ser observados no Quadro 10:

Quadro 10 - Limites para distorção harmônica de corrente para sistemas entre 120 V e 69kV

<b>Distorção harmônica de corrente máxima em % de <math>I_L</math></b>						
<b>Ordem Harmônica Individual ímpar<sup>a, b</sup></b>						
<b><math>I_{sc}/I_L</math></b>	<b><math>3 \leq h &lt; 11</math></b>	<b><math>11 \leq h &lt; 17</math></b>	<b><math>17 \leq h &lt; 23</math></b>	<b><math>23 \leq h &lt; 35</math></b>	<b><math>35 \leq h &lt; 50</math></b>	<b>TDD</b>
< 20 <sup>c</sup>	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 < 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 < 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 < 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

<sup>a</sup> Harmônicas pares estão limitadas a 25% dos limites harmônicos ímpares acima

<sup>b</sup> As distorções que resultem em um deslocamento DC, por exemplo, conversores de meia onda, não são permitidas

<sup>c</sup> Todos os equipamentos de geração de energia estão limitados a estes valores de distorção de corrente, independentemente do valor de  $I_{sc}/I_L$

Onde:

$I_{sc}$  = Corrente máxima de curto circuito no PCC

$I_L$  = Corrente de carga sobre demanda máxima (Componente de frequência fundamental) no PCC em condições normais de funcionamento de carga.

FONTE: Adaptado IEEE, (2014).

Embora a norma IEEE 519 descreva limites para as correntes harmônicas, como a norma brasileira não as trata, seus valores medidos e referenciais não serão tratados neste trabalho. A norma IEEE 519 (2014) prevê valores limites para harmônicas em sistemas com tensão nominal acima de 69 kV, entretanto, como esses sistemas não são o foco deste trabalho, eles também não serão tratados aqui.

## **2.5 Efeito de harmônicas em componentes do sistema elétrico**

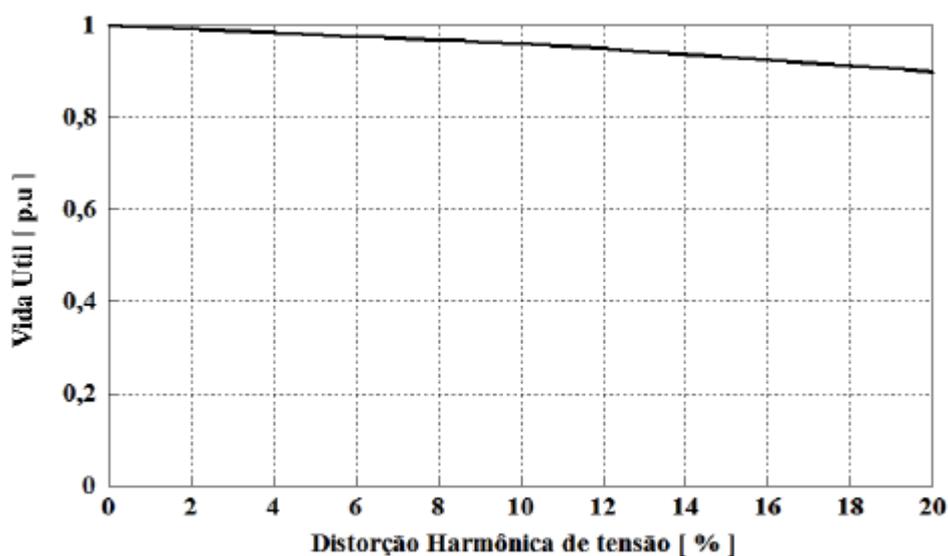
O nível de tolerância de harmônicas em um sistema de distribuição depende da susceptibilidade da carga (ou da fonte de potência). Os equipamentos puramente resistivos, por exemplo, os de aquecimento, são os menos sensíveis, ou seja, a forma de onda com que são alimentados não é relevante. Entretanto, os equipamentos que foram projetados assumindo uma alimentação senoidal como, por exemplo, equipamentos de proteção e comunicação de dados, possuem uma sensibilidade maior à existência de harmônicas. Contudo, a presença de harmônicas (de tensão ou de corrente), mesmo para as cargas menos sensíveis, pode produzir um maior esforço nos componentes e isolantes, diminuindo assim a sua vida útil.

### **2.5.1 Efeito de harmônicas em transformadores**

Nos transformadores, quando há harmônicas de tensão e de corrente tem-se um aumento nas perdas no ferro e no cobre, respectivamente. O aumento nas perdas do cobre deve-se principalmente ao efeito pelicular, ou seja, uma diminuição na área efetivamente condutora à medida que se eleva a frequência da corrente. Outro fator que provoca um aumento nas perdas do transformador é a ampliação do efeito das reatâncias de dispersão, pois o seu valor é proporcional à frequência. Agregada à dispersão, as correntes induzidas pelo fluxo disperso também podem ser consideradas como outro fator de perdas. Estas correntes manifestam-se nos enrolamentos, no núcleo e nas peças metálicas adjacentes aos enrolamentos. As perdas relacionadas a essas correntes crescem proporcionalmente com o quadrado da frequência e da corrente. (POMÍLIO, 2009)

Pode ser visto no Gráfico 1 a diminuição da vida útil do transformador em função do nível de distorção harmônica de tensão.

Gráfico 1 – Vida útil do transformador em função do nível de distorção harmônica de tensão



FONTE: ANEEL, (2015).

Pode ser observado no Gráfico 1 que um transformador que opere com o limite estabelecido pelo PRODIST de 10% para DTT% tem a sua vida útil reduzida para 95% da nominal.

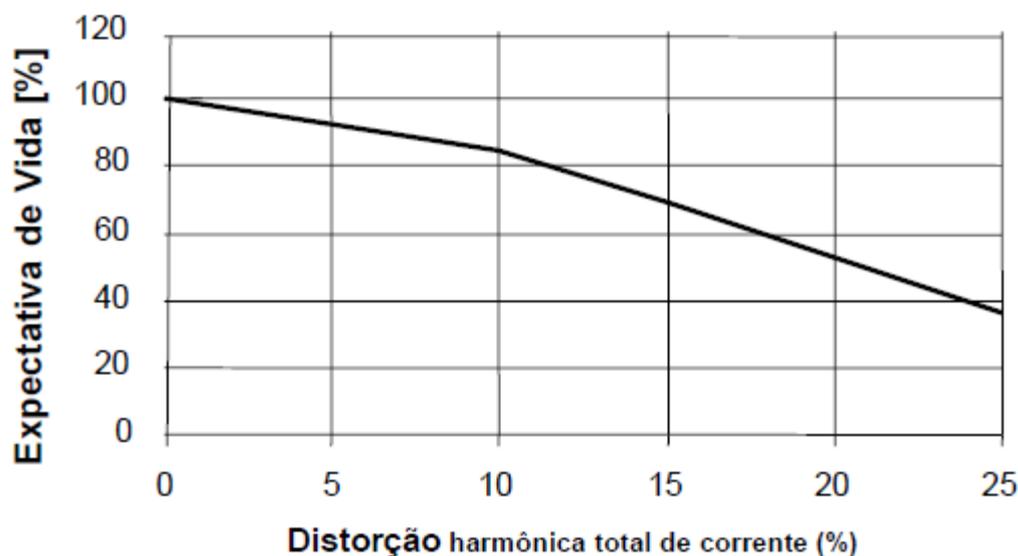
### 2.5.2 Efeito de harmônicas em condutores

À medida que se aumenta a frequência da corrente que está percorrendo o condutor ocorre o efeito pelicular, ou seja, a corrente passa a transitar não mais por toda a área transversal do condutor e passa a ocupar somente a periferia, formando assim uma coroa circular, não circulando mais pelo centro do condutor. Com esse efeito, a área transversal do cabo pela qual a corrente está circulando passa a ser menor e como a resistência do condutor é inversamente proporcional à área transversal, ocorre um aumento em sua resistência. Logo, a presença das harmônicas de corrente provoca o efeito pelicular que aumenta a resistência do condutor e, por consequência, as suas perdas.

Além disso, se os condutores forem longos e os sistemas conectados tenham suas ressonâncias excitadas pelas componentes harmônicas, podem aparecer elevadas sobretensões ou sobrecorrentes ao longo da linha, podendo danificar os condutores.

No Gráfico 2 pode ser visto uma curva que representa a diminuição da vida útil do condutor em função do nível de distorção harmônica de corrente.

Gráfico 2 – Vida útil do cabo isolado em função da distorção harmônica total de corrente



FONTE: ANEEL, (2015).

Conforme Gráfico 2 uma distorção harmônica de corrente de apenas 5% reduz em 10% a vida útil de um cabo isolado e para distorções superiores a 10% a redução se torna ainda mais elevada.

### 2.5.3 Efeito de harmônicas em relés de proteção e fusíveis

Com a presença de harmônicas ocorre o aumento da corrente eficaz provocando um maior aquecimento dos dispositivos pelos quais circula a corrente. Este aumento na temperatura pode ocasionar uma redução na vida útil do equipamento e, eventualmente, sua operação inadequada (POMÍLIO, 2009).

### 2.5.4 Efeito de harmônicas em bancos de capacitores

Os principais efeitos ocasionados pela presença de distorção harmônica de tensão em bancos de capacitores são o aumento na temperatura de operação, sobrecargas no fornecimento de potência reativa e sobretensões (ANEEL, 2015).

## 2.6 Coeficiente de Correlação

Uma forma de se determinar se os níveis de distorção harmônica medidos são introduzidos na rede de distribuição pela operação das cargas eletromédicas é fazendo a correlação entre DTT% e a corrente medida e obtendo-se o coeficiente de correlação entre essas variáveis. O coeficiente

de correlação  $r$  mensura a relação linear entre duas variáveis quantitativas. O valor deste coeficiente está sempre entre -1 (-100%) e +1 (+100%). Valores de correlação negativos indicam uma associação negativa e valores de  $r$  positivos indicam uma associação positiva, ou seja, se há uma correlação positiva ( $r > 0$ ) tem-se que, à medida que uma variável cresce, a outra também cresce, e se há uma correlação negativa ( $r < 0$ ), à medida que uma variável cresce a outra decresce.

Quanto maior o módulo de  $r$ , mais forte é a associação. Quando  $r$  é igual a 1, ou -1, todos os pontos em um gráfico de dispersão formarão uma reta, se  $r = 0$  não há nenhuma correlação linear. No Quadro 11 é descrita a interpretação da correlação baseada no valor de  $r$ .

Quadro 11 – Interpretação dos valores de correlação

<b>Valor de <math>r</math> (+ ou -)</b>	<b>Interpretação</b>
0,00 a 0,19	Uma correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Uma correlação fraca
0,40 a 0,69	Uma correlação moderada
0,70 a 0,89	Uma correlação forte
0,90 a 1,00	Uma correlação muito forte

FONTE: Produção do próprio autor

Sendo assim, se houver uma correlação, entre a corrente medida e a DTT%, positiva e forte ou muito forte há um indicativo de que os níveis de distorção harmônica medidos estão sendo gerados pela operação de equipamentos eletromédicos.

O coeficiente de correlação foi obtido com o uso de uma função do Microsoft Excel a  $correl(matriz1,matriz2)$  a qual retorna o coeficiente de correlação dos intervalos de célula da matriz1 e matriz2.

## 2.7 Percentil

Na estatística descritiva, os percentis são medidas que dividem uma amostra ordenada em ordem crescente em 100 partes, sendo que cada parte possui uma percentagem de dados aproximadamente igual. O  $k$ -ésimo percentil  $P_k$  é o valor  $x$  que corresponde à frequência cumulativa de  $Nk/100$ , onde  $N$  é o tamanho amostral. Logo:

- O 25° percentil, ou percentil 25, determina o 25% menor dos dados e é chamado de primeiro quartil;
- O 50° percentil, ou percentil 50, determina o 50% menor dos dados e é chamado de mediana ou segundo quartil;
- O 75° percentil, ou percentil 75, determina o 75% menor dos dados e é chamado de terceiro quartil.

Neste trabalho será utilizado o 95° percentil, ou percentil 95, para se retirar dos indicadores calculados valores de pico transitórios que possam ter ocorrido ao longo da medição. Para calcular esse percentil será utilizada uma função do Microsoft Excel a *percentil.inc(matriz,k)* a qual retorna o  $k$ -ésimo percentil de valores em um intervalo, onde  $k$  está no intervalo de 0 (percentil 0%) a 1 (percentil 100%), inclusivo. Na sintaxe da função *percentil.inc(matriz,k)*, matriz representa a matriz ou intervalo de dados para o qual se quer definir o percentil e  $k$  é substituído por 0,95 a fim de se calcular o percentil 95%.

### 3. MEDIÇÕES REALIZADAS

Utilizaram-se medidores de qualidade de energia para verificar se clínicas de diagnóstico por imagem estavam inserindo níveis de harmônicas fora dos valores referenciais estabelecidos por norma. Estes equipamentos foram programados para registrar harmônicas com um intervalo de integração de dez minutos, e permaneceram monitorando os pontos de conexão por um período superior a 168 horas, de modo a se obter, no mínimo, 1008 registros válidos durante esse período, conforme metodologia apontada pelo Módulo 8 do PRODIST. Esses equipamentos são de propriedade da EDP Escelsa e a instalação deles foi realizada por técnicos desta empresa.

Para verificação dos valores obtidos, os resultados foram comparados com normas brasileiras (Módulo 8 do PRODIST e Nota Técnica 0105) e internacionais (IEEE 519). A Revisão 6 do Módulo 8 do PRODIST, regulamentação vigente para o setor de distribuição de energia elétrica nacional, informa que a medição de harmônicas deve ser feita com registro até a 25ª ordem. Já a Nota Técnica 0105 de autoria da ANEEL aponta que a medição deve ser feita até a 40ª ordem. Como foram utilizados medidores de qualidade de energia de fabricantes diferentes e com modelos distintos, não foi possível que todos registrassem até a 40ª harmônica por limitação dos próprios equipamentos. Logo, para este estudo, adotou-se a 25ª ordem como máxima.

Com o intuito de se observar se esse truncamento na 25ª ordem insere ou não um desvio elevado no cálculo dos indicadores de harmônicas, utilizou-se a medição realizada com o medidor da IMS modelo P600, capaz de realizar medições até a 40ª harmônica, para calcular os indicadores  $DTT_{95\%}$ ,  $DTT_{P95\%}$ ,  $DTT_{i95\%}$  e  $DTT_{395\%}$  considerando até a 40ª ordem e até a 25ª ordem e o desvio entre as medidas. O resultado obtido pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Desvio entre medições considerando 25 ordens e 40 ordens

Indicador	Fase	Medido (%)		Desvio (%)
		Até 40ª Ordem	Até 25ª Ordem	
DTT <sub>95%</sub>	A	1,3357	1,3321	0,27
	B	1,2972	1,2968	0,03
	C	1,3259	1,3259	0,00
DTT <sub>p95%</sub>	A	0,9391	0,9361	0,32
	B	0,6342	0,6333	0,14
	C	0,6312	0,6312	0,00
DTT <sub>i95%</sub>	A	0,9641	0,9625	0,17
	B	1,1140	1,1140	0,00
	C	1,1125	1,1125	0,00
DTT <sub>395%</sub>	A	0,4615	0,4570	0,98
	B	0,4493	0,4493	0,00
	C	0,5323	0,5323	0,00

FONTE: Produção do próprio autor

Logo, como os desvios obtidos foram inferiores a 1%, o truncamento das medições na harmônica de ordem 25 não influencia significativamente no cálculo dos indicadores.

### 3.1 Cálculo dos indicadores de qualidade e comparação com os limites estabelecidos por norma

Foram instalados medidores de qualidade de energia em cinco clínicas de diagnóstico por imagem localizadas na região da Grande Vitória – ES. No Quadro 12 e no Quadro 13 podem ser observados mais detalhes das clínicas que foram utilizadas para medição dos níveis de harmônicas.

Quadro 12 - Detalhe das clínicas utilizadas para medição

Nome	MT / BT	Município	Trafo
Bio Scan – Diagnóstico por Imagem	BT	Cariacica	112,5 kVA – 11,4 kV / 220V
Bio Scan – Diagnóstico por Imagem	BT	Cariacica	112,5 kVA – 11,4 kV / 220V
Diagnóstico Unimed Vitória	MT	Vitória	300 kVA – 11,4 kV / 220 V
Multiscan Imagem e Diagnóstico	MT	Vitória	225 kVA – 11,4 kV / 220 V
Centro de Diagnóstico por Imagem	MT	Vitória	225 kVA – 11,4 kV / 380 V

FONTE: Produção do próprio autor

Quadro 13 – Níveis de curto circuito na rede de distribuição (15kV) para cada clínica

Nome	R1 (pu)	X1 (pu)	R0 (pu)	X0 (pu)	Z <sub>cc1φ</sub> (pu)	I <sub>cc</sub> (A)		
						1φ	2φ	3φ
Bio Scan 1	0,2895	1,1387	0,4536	1,5210	0,163	3860	3733	4310
Bio Scan 2	0,2895	1,1387	0,4536	1,5210	0,163	3860	3733	4310
Unimed	0,2775	1,0118	1,0545	2,3734	0,163	3245	4180	4827
Multiscan	0,3066	1,0765	0,7301	2,4338	0,162	3179	3918	4525
CDI	0,4169	1,1385	1,1751	2,8001	0,161	2783	3733	4177

Os dados estão na base 100MVA e tensão nominal 11,4 kV

FONTE: Produção do próprio autor

Um medidor de qualidade de energia instalado na Bio Scan – Diagnóstico por Imagem apresentou problemas ao longo da medição, pois a garra do medidor de tensão não ficou bem presa ao condutor, apresentando um mau contato e registro de valores não reais de distorção harmônica. Isso pode ter ocorrido devido à instalação do equipamento no poste sujeito à ação do vento ou por falha na instalação. Sendo assim essa medição foi descartada.

### 3.1.1 Bio Scan – Diagnóstico por Imagem

Esta clínica está localizada no município de Cariacica – ES, e é atendida por uma rede BT, não possuindo uma subestação própria. O transformador que atende o circuito onde a clínica está ligada tem potência nominal de 112,5 kVA – 11,4 kV / 220 V e é responsável pelo fornecimento de energia não só a esta clínica, mas também a outras unidades consumidoras.

Instalou-se um medidor de qualidade de energia do fabricante Embrasul, modelo ANL 7000, no ramal do ponto de entrega de energia da clínica. Como este medidor não possui a capacidade

de registrar os níveis individuais das harmônicas separadamente, só foram registrados os valores relacionados às harmônicas totais, DTT%. Os valores deste indicador podem ser observados na Tabela 2 bem como seus limites estabelecidos pelo Módulo 8 Revisão 6 do PRODIST, pela Nota Técnica 0105 da ANEEL e pela norma IEEE 519.

Tabela 2 - Indicadores de distorção harmônica da Bioscan – Diagnóstico por Imagem

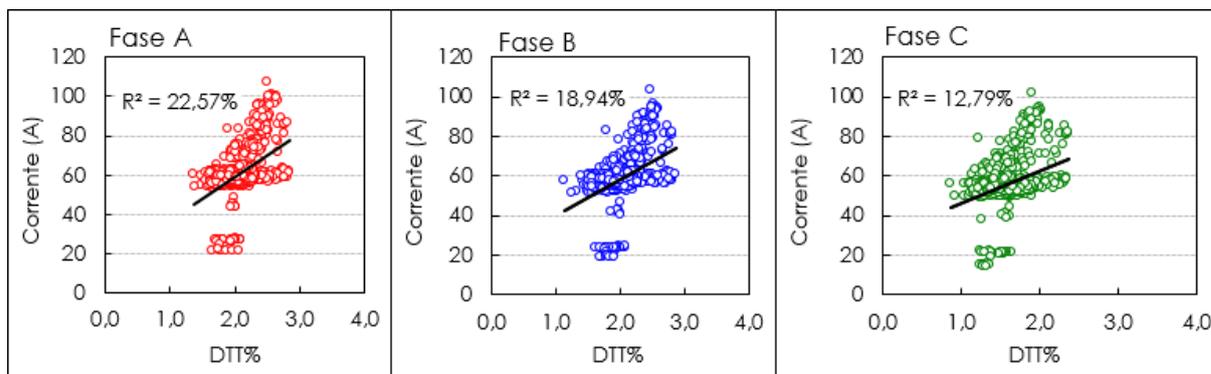
Indicador	Fase	Medido	Limites Estabelecidos		
			PRODIST Módulo 8	Nota Técnica 0105 - ANEEL	IEEE 519
DTT95%	A	2,53%	10%	8%	8%
	B	2,51%			
	C	1,99%			

FONTE: Produção do próprio autor

Ao se comparar o resultado desta medição com os valores limites estabelecidos nota-se que não houve violação da Distorção Harmônica Total de Tensão. Logo, os níveis de distorção harmônica totais de tensão inseridos na rede de distribuição, por esta clínica, são baixos e estão de acordo com os limites nacionais e internacionais. Devido à limitação do medidor de qualidade de energia utilizado para esta medição, não é possível afirmar se os indicadores individuais de harmônicas também estão abaixo dos limites estabelecidos.

No Gráfico 3 observa-se que a correlação ( $r = 47,51\%$  na fase A,  $43\%$  na fase B e  $35,76\%$  na fase C) entre a corrente e a DTT95% é fraca ou moderada, que não há uma forte relação linear entre o uso de cargas pela clínica e o aumento da distorção harmônica total.

Gráfico 3 - Correlação entre a Corrente e DTT% na Bio Scan Diagnóstico por Imagem



FONTE: Produção do próprio autor

### 3.1.2 Diagnóstico Unimed Vitória

Esta clínica está localizada no município de Vitória – ES, é atendida em 11,4 kV e possui uma subestação própria na qual estão instalados dois transformadores, um de potência nominal de 150 kVA e tensões 11,4 kV / 380 V, responsável pelo sistema de condicionamento de ar da clínica, e outro de potência nominal de 300 kVA – 11,4 kV / 220 V, responsável pelo fornecimento de energia às demais cargas da clínica, inclusive os equipamentos de diagnóstico por imagem. Instalou-se um medidor de qualidade de energia do fabricante *HT Instruments*, modelo PQA 824, no secundário do transformador de 300 kVA. Com os dados da medição, calculou-se os indicadores  $DIT_h\%$ ,  $DTT\%$ ,  $DTT_p\%$ ,  $DTT_i\%$  e  $DTT_3\%$  e, com a aplicação do percentil 95, obteve-se os indicadores  $DTT_{95\%}$ ,  $DTTP_{95\%}$ ,  $DTTi_{95\%}$  e  $DTT_{395\%}$ . Os valores desses indicadores podem ser observados na Tabela 3, bem como seus limites estabelecidos pelo Módulo 8 Revisão 6 do PRODIST, pela Nota Técnica 0105 da ANEEL e pela norma IEEE 519.

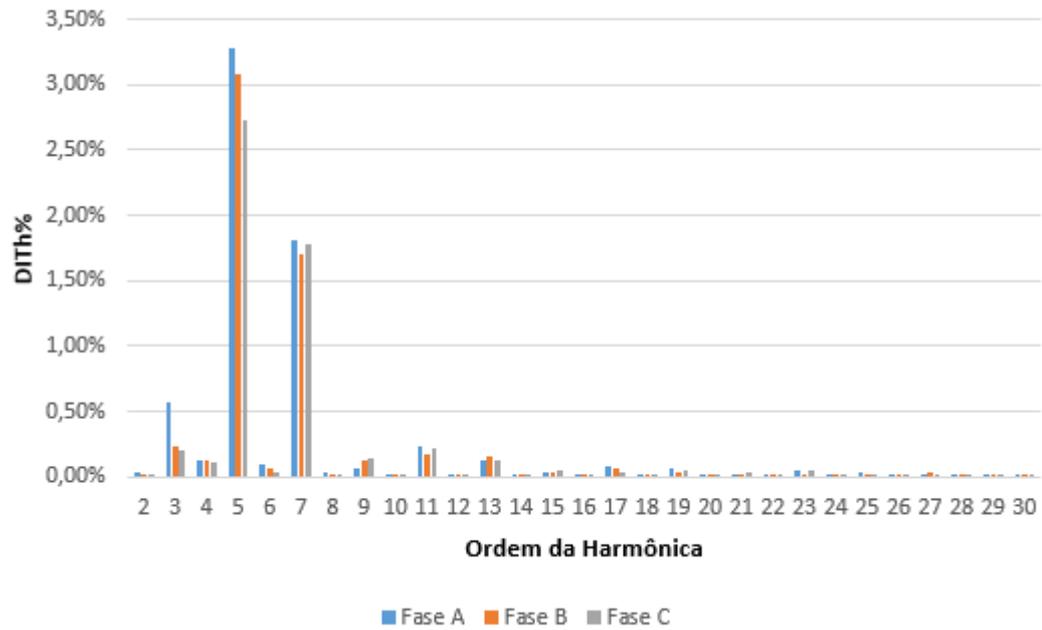
Tabela 3 – Indicadores de distorção harmônica da Diagnóstico Unimed Vitória

Indicador	Fase	Medido	Limites Estabelecidos		
			<b>PRODIST Módulo 8</b>	<b>Nota Técnica 0105 - ANEEL</b>	<b>IEEE 519</b>
<b>DTT<sub>95%</sub></b>	A	2,90%	10%	8%	8%
	B	2,82%			
	C	2,46%			
<b>DTT<sub>P95%</sub></b>	A	0,03%		2%	
	B	0,04%			
	C	0,04%			
<b>DTT<sub>i95%</sub></b>	A	2,88%	Não prevê limite para estes indicadores.	6%	Não prevê limite para estes indicadores.
	B	2,82%			
	C	2,46%			
<b>DTT<sub>395%</sub></b>	A	0,5%		5%	
	B	0,2%			
	C	0,17%			

FONTE: Produção do próprio autor

Conforme dados apresentados na Tabela 3, observa-se que não houve violação dos indicadores DTT<sub>95%</sub>, DTT<sub>P95%</sub>, DTT<sub>i95%</sub> e DTT<sub>395%</sub> ao se comparar os dados obtidos na medição com os limites nacionais e internacionais. Foi observado um maior valor de distorção harmônica para as harmônicas ímpares não múltiplas de 3, justificada pela maior presença das harmônicas de 5ª e 7ª ordem como plotado no Gráfico 4 e demonstrado na Tabela 4. Uma possível explicação para a presença destas ordens é a instalação de equipamentos com conversores de 6 pulsos os quais produzem harmônicas de ordem 5 e 7.

Gráfico 4 - DITH% obtido na Diagnóstico Unimed Vitória



FONTE: Produção do próprio autor

Na Tabela 4 estão os valores obtidos para a DITH95% e os limites estabelecidos nacional e internacionalmente. Ao se analisar os dados, nota-se que não houve violação destes limites estabelecidos. Nesta tabela também pode ser observado que valores de DITH95% para ordens superiores à 14<sup>a</sup> são inferiores à 0,1%, ou seja, inexpressíveis.

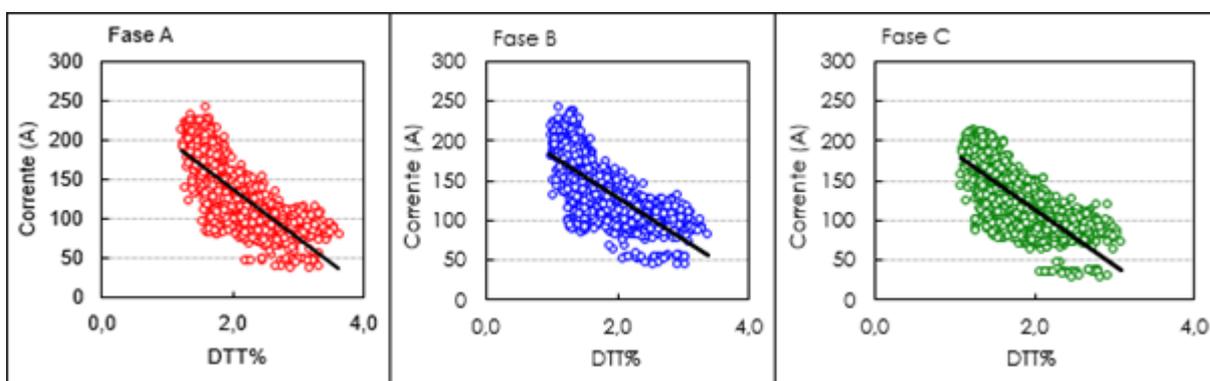
Tabela 4 - Indicadores de distorção harmônica individuais da Diagnóstico Unimed Vitória

	Ordem	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Medido	Fase A	0,03	0,57	0,13	3,28	0,10	1,82	0,03	0,07	0,02	
	DIT <sub>h95%</sub> Fase B	0,03	0,23	0,12	3,09	0,06	1,70	0,02	0,12	0,02	
	Fase C	0,01	0,21	0,11	2,73	0,04	1,78	0,02	0,14	0,02	
Limites (%)	PRODIST Módulo 8	2,5	6,5	1,5	7,5	1	6,5	1	2	1	
	Nota Téc. 0105	Não prevê limites para estes indicadores.									
	IEEE 519	5									
	Ordem	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Medido	Fase A	0,24	0,01	0,13	0,00	0,04	0,01	0,08	0,00	0,07	0,00
	DIT <sub>h95%</sub> Fase B	0,17	0,00	0,16	0,01	0,03	0,01	0,06	0,00	0,03	0,01
	Fase C	0,23	0,01	0,12	0,01	0,06	0,00	0,04	0,01	0,04	0,00
Limites (%)	PRODIST Módulo 8	4,5	1	4	1	1	1	2,5	1	2	1
	Nota Téc. 0105	Não prevê limites para estes indicadores.									
	IEEE 519	5									
	Ordem	21	22	23	24	25					
Medido	Fase A	0,02	0,00	0,05	0,00	0,03					
	DIT <sub>h95%</sub> Fase B	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01					
	Fase C	0,04	0,01	0,04	0,00	0,02					
Limites (%)	PRODIST Módulo 8	1	1	2	1	2					
	Nota Téc. 0105	Não prevê limites para estes indicadores.									
	IEEE 519	5									

FONTE: Produção do próprio autor

Conforme o Gráfico 5 a correlação entre a Corrente e a DTT95% ( $r = -80,38\%$  na fase A,  $-78,23\%$  na fase B e  $-79,23\%$  na fase C) é forte e negativa indicando que há uma correlação mais forte do que na clínica Bioscan Diagnóstico por Imagem, mas, por essa correlação ser negativa, à medida que esta clínica aumenta a sua carga ativa ao longo do dia ocorre uma diminuição da DTT95%, ou seja, há muita carga linear sendo ligada, aumentando a parcela da corrente fundamental e diminuindo o DTT%.

Gráfico 5 - Correlação entre a Corrente e DTT% na Diagnóstico Unimed Vitória



FONTE: Produção do próprio autor

### 3.1.3 Multiscan Diagnóstico Por Imagem

Esta clínica está localizada no município de Vitória – ES, é atendida em 11,4 kV e possui uma subestação própria na qual está instalado um transformador de potência nominal de 225 kVA e tensões 11,4 kV / 220 V, responsável pelo fornecimento de energia às cargas da clínica, inclusive os equipamentos de diagnóstico por imagem.

Instalou-se um medidor de qualidade de energia da fabricante Embrasul, modelo ANL 7000 com módulo de avaliação da QEE, no secundário do transformador de 225 kVA. Com os dados da medição, calculou-se os indicadores  $DIT_h\%$ ,  $DTT\%$ ,  $DTT_p\%$ ,  $DTT_i\%$  e  $DTT_3\%$  e, com a aplicação do percentil 95, obteve-se os indicadores  $DTT_{95\%}$ ,  $DTT_{p95\%}$ ,  $DTT_{i95\%}$  e  $DTT_{395\%}$ . Os valores obtidos para esses indicadores podem ser observados na Tabela 5, bem como seus limites estabelecidos pelo Módulo 8 Revisão 6 do PRODIST, pela Nota Técnica 0105 da ANEEL e pela norma IEEE 519.

Tabela 5 - Indicadores de distorção harmônica da Multiscan Diagnóstico por Imagem

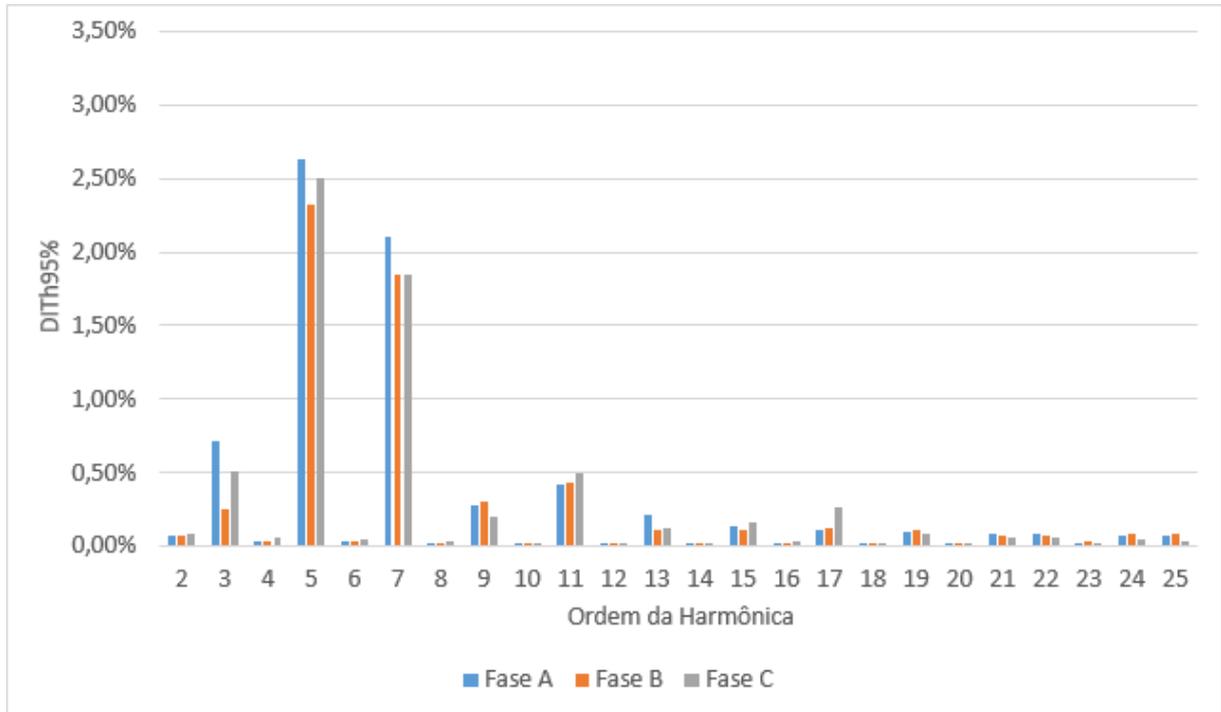
Indicador	Fase	Medido	Limites Estabelecidos		
			PRODIST Módulo 8	Nota Técnica 0105 - ANEEL	IEEE 519
DTT <sub>95%</sub>	A	3,41%	10%	8%	8%
	B	2,97%			
	C	3,11%			
DTT <sub>p95%</sub>	A	0,11%		2%	
	B	0,10%			
	C	0,12%			
DTT <sub>i95%</sub>	A	3,37%	Não prevê limite para estes indicadores.	6%	Não prevê limite para estes indicadores.
	B	2,96%			
	C	3,09%			
DTT <sub>395%</sub>	A	0,78%		5%	
	B	0,37%			
	C	0,55%			

FONTE: Produção do próprio autor

Conforme dados mostrados na Tabela 5, observa-se que não houve violação dos indicadores DTT<sub>95%</sub>, DTT<sub>p95%</sub>, DTT<sub>i95%</sub> e DTT<sub>395%</sub> ao se comparar os dados obtidos na medição com os limites nacionais e internacionais. Foi observado um maior valor de distorção harmônica para as harmônicas ímpares não múltiplas de 3, justificada pela maior presença das harmônicas de 5ª e 7ª ordem, como plotado no Gráfico 6 e demonstrado na Tabela 6. Nota-se também a baixa presença de harmônicas de ordem par não múltipla de três e de harmônicas múltiplas de três.

Os resultados obtidos para esta clínica são bem próximos aos valores obtidos para a Diagnóstico Unimed Vitória, confirmando assim um padrão harmônico para essas unidades consumidoras.

Gráfico 6 - DITh% obtido na da Multiscan Diagnóstico por Imagem



FONTE: Produção do próprio autor

Na Tabela 6 estão os valores obtidos para a DITh95% e os limites estabelecidos nacional e internacionalmente. Ao se analisar os dados, nota-se que não houve violação destes limites propostos. Nesta tabela também pode ser observado que valores de DITh95% para ordens superiores à 20ª são inferiores à 0,1%, ou seja, inexpressíveis. Os valores dos indicadores aqui obtidos também estão bem próximos aos da Diagnóstico Unimed Vitória.

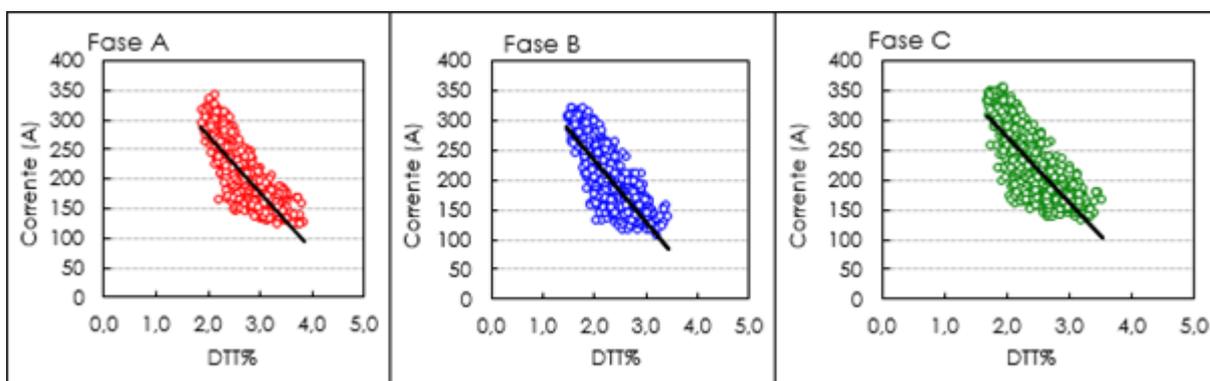
Tabela 6 - Indicadores de distorção harmônica individuais da Multiscan Diagnóstico por Imagem

		<b>Ordem</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
<b>Medido</b>	DIT <sub>h</sub> 95%	Fase A	0,07	0,72	0,03	2,63	0,03	2,10	0,02	0,28	0,42	
		Fase B	0,07	0,24	0,03	2,32	0,03	1,85	0,02	0,31	0,02	
		Fase C	0,08	0,51	0,06	2,50	0,04	1,84	0,03	0,19	0,02	
<b>Limites (%)</b>	<b>PRODIST Módulo 8</b>		2,5	6,5	1,5	7,5	1	6,5	1	2	1	
	Nota Téc. 0105		Não prevê limites para estes indicadores.									
	IEEE 519		5									
		<b>Ordem</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
<b>Medido</b>	DIT <sub>h</sub> 95%	Fase A	0,42	0,02	0,21	0,02	0,14	0,02	0,10	0,10	0,10	0,02
		Fase B	0,43	0,02	0,11	0,02	0,10	0,02	0,12	0,02	0,10	0,02
		Fase C	0,49	0,02	0,12	0,02	0,17	0,03	0,26	0,02	0,08	0,02
<b>Limites (%)</b>	<b>PRODIST Módulo 8</b>		4,5	1	4	1	1	1	2,5	1	2	1
	Nota Téc. 0105		Não prevê limites para estes indicadores.									
	IEEE 519		5									
		<b>Ordem</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>					
<b>Medido</b>	DIT <sub>h</sub> 95%	Fase A	0,09	0,09	0,02	0,07	0,06					
		Fase B	0,07	0,07	0,03	0,08	0,08					
		Fase C	0,06	0,06	0,02	0,05	0,03					
<b>Limites (%)</b>	<b>PRODIST Módulo 8</b>		1	1	2	1	2					
	Nota Téc. 0105		Não prevê limites para estes indicadores.									
	IEEE 519		5									

FONTE: Produção do próprio autor

No Gráfico 7 é demonstrada que a correlação entre a Corrente e a DTT95% ( $r = -82,38\%$  na fase A,  $-79,28\%$  na fase B e  $-77,48\%$  na fase C) na Multiscan Diagnóstico por Imagem é forte e negativa, ou seja, há uma relação linear forte entre essas grandezas e, pela correlação ser negativa, à medida que a clínica aumenta a sua carga ativa ao longo do dia ocorre uma diminuição no DTT95%, ou seja, há muita carga linear sendo ligada, aumentando a parcela da corrente fundamental e diminuindo o DTT%..

Gráfico 7 - Correlação entre Corrente e DTT95% na Multiscan Diagnóstico por Imagem



FONTE: Produção do próprio autor

### 3.1.4 Centro De Diagnóstico Por Imagem

Esta clínica está localizada no município de Vitória – ES, é atendida em 11,4 kV e possui uma subestação própria na qual está instalado um transformador de potência nominal de 225 kVA e tensões 11,4 kV / 380 V, responsável pelo fornecimento de energia às cargas da clínica, inclusive os equipamentos de diagnóstico por imagem.

Instalou-se um medidor de qualidade de energia da fabricante IMS modelo P600 na BT do transformador de 225 kVA. Com os dados da medição, calculou-se os indicadores  $DIT_h\%$ ,  $DTT\%$ ,  $DTT_p\%$ ,  $DTT_i\%$  e  $DTT_3\%$  e, com um tratamento estatístico, obteve-se os indicadores  $DTT_{95\%}$ ,  $DTT_{p95\%}$ ,  $DTT_{i95\%}$  e  $DTT_{395\%}$ . Os valores obtidos para esses indicadores podem ser observados na Tabela 7, bem como os limites estabelecidos pelo Módulo 8 Revisão 6 do PRODIST, pela Nota Técnica 0105 da ANEEL e pela norma IEEE 519.

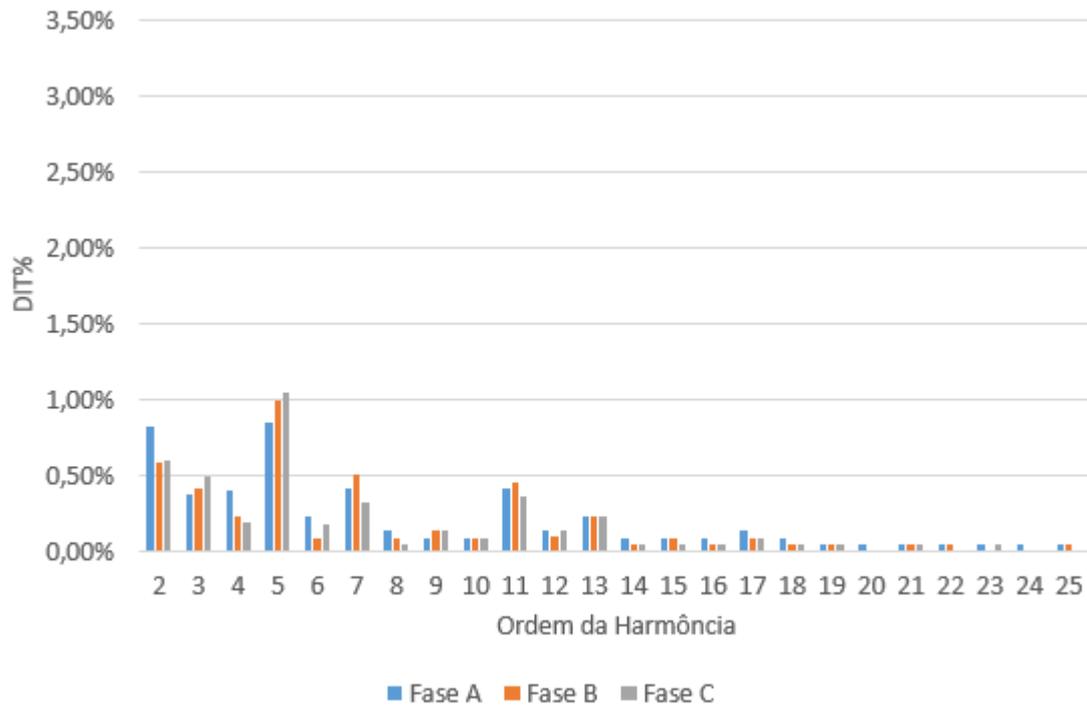
Tabela 7 - Indicadores de distorção harmônica do Centro de Diagnóstico de Imagem

Indicador	Fase	Medido	Limites Estabelecidos		
			PRODIST Módulo 8	Nota Técnica 0105 - ANEEL	IEEE 519
DTT <sub>95%</sub>	A	1,33%	10%	8%	8%
	B	1,30%			
	C	1,33%			
DTT <sub>P95%</sub>	A	0,94%		2%	
	B	0,63%			
	C	0,63%			
DTT <sub>I95%</sub>	A	0,96%	Não prevê limite para estes indicadores.	6%	Não prevê limite para estes indicadores.
	B	1,11%			
	C	1,11%			
DTT <sub>395%</sub>	A	0,46%		5%	
	B	0,45%			
	C	0,53%			

FONTE: Produção do próprio autor

Conforme dados mostrados na Tabela 7, observa-se que não houve violação dos indicadores DTT<sub>95%</sub>, DTT<sub>P95%</sub>, DTT<sub>I95%</sub> e DTT<sub>395%</sub> ao se comparar os dados obtidos na medição com os limites nacionais e internacionais. Os níveis de DTT<sub>95%</sub>, DTT<sub>P95%</sub>, DTT<sub>I95%</sub>, DTT<sub>395%</sub> e DITH% obtidos para essa clínica foram inferiores às outras três. Um provável motivo para essa redução é o fato desta clínica ser atendida por uma tensão secundária de 220 V / 380 V enquanto as outras são atendidas por uma tensão de 127 V / 220 V. Como a tensão fundamental é maior e os indicadores de harmônicas são inversamente proporcionais à tensão fundamental, obteve-se indicadores com valores inferiores. Como pode ser visto no Gráfico 8 houve uma presença de harmônicas de ordem 2, isto se deve às cargas monofásicas em 220V, pois os níveis de tensão da clínica são 380V / 220 V.

Gráfico 8 - DITh% obtido no Centro de Diagnóstico de Imagem



FONTE: Produção do próprio autor

Na Tabela 8 estão os valores obtidos para a DITh95% e os limites estabelecidos nacional e internacionalmente. Ao se analisar os dados, nota-se que não houve violação destes limites propostos. Nesta tabela também pode ser observado que valores de DITh95% são todos inferiores à 1%, exceto para a quinta ordem.

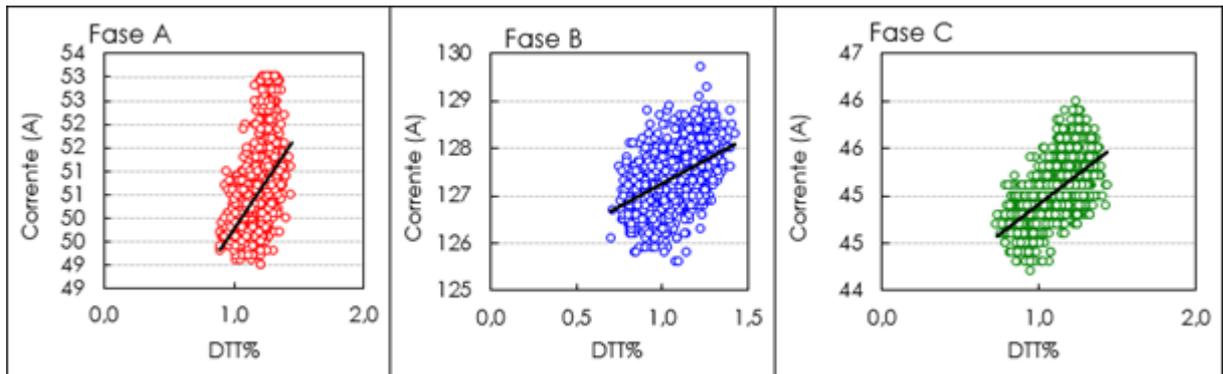
Tabela 8 - Indicadores de distorção harmônica individuais do Centro de Diagnóstico de Imagem

<b>Medido (%)</b>	<b>Ordem</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>		
	<b>DIT<sub>h95%</sub></b>	<b>Fase A</b>	0,83	0,37	0,40	0,85	0,23	0,41	0,14	0,09	0,09	
		<b>Fase B</b>	0,59	0,42	0,23	1,00	0,09	0,50	0,09	0,14	0,09	
		<b>Fase C</b>	0,60	0,50	0,19	1,04	0,18	0,32	0,05	0,14	0,09	
<b>Limites (%)</b>	<b>PRODIST Módulo 8</b>	2,5	6,5	1,5	7,5	1	6,5	1	2	1		
	<b>Nota Téc. 0105</b>	Não prevê limites para estes indicadores.										
	<b>IEEE 519</b>	5										
<b>Medido (%)</b>	<b>Ordem</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	
	<b>DIT<sub>h95%</sub></b>	<b>Fase A</b>	0,41	0,14	0,23	0,09	0,09	0,09	0,14	0,09	0,05	0,05
		<b>Fase B</b>	0,46	0,09	0,23	0,05	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	0,00
		<b>Fase C</b>	0,37	0,14	0,23	0,05	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	0,00
<b>Limites (%)</b>	<b>PRODIST Módulo 8</b>	4,5	1	4	1	1	1	2,5	1	2	1	
	<b>Nota Téc. 0105</b>	Não prevê limites para estes indicadores.										
	<b>IEEE 519</b>	5										
<b>Medido (%)</b>	<b>Ordem</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>						
	<b>DIT<sub>h95%</sub></b>	<b>Fase A</b>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05					
		<b>Fase B</b>	0,05	0,05	0,00	0,00	0,05					
		<b>Fase C</b>	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00					
<b>Limites (%)</b>	<b>PRODIST Módulo 8</b>	1	1	2	1	2						
	<b>Nota Téc. 0105</b>	Não prevê limites para estes indicadores.										
	<b>IEEE 519</b>	5										

FONTE: Produção do próprio autor

De acordo com o Gráfico 9 há uma correlação ( $r = 51,36\%$  na fase A,  $47,64\%$  na fase B e  $63,02\%$  na fase C) moderada entre a Corrente e DTT95, ou seja, a medida que a corrente aumenta, a DTT95% também aumenta.

Gráfico 9 - Correlação entre Corrente e DTT% no Centro de Diagnóstico por Imagem



FONTE: Produção do próprio autor

#### 4. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS

Na Tabela 9 estão resumidos os valores obtidos com as medições realizadas e os limites estabelecidos pelas normas.

Tabela 9 – Comparação entre os resultados obtidos e os limites nacionais e internacionais

Indicador	Fase	Clínicas				Limites Estabelecidos		
		Bioscan	Unimed	Multiscan	CDI	Nota Téc. 0105	Mód. 8 PRODI ST	IEEE 519
DTT <sub>95%</sub>	A	2,53	2,90	3,41	1,33	8 %	10 %	8 %
	B	2,51	2,82	2,97	1,30			
	C	1,99	2,46	3,11	1,33			
DTT <sub>p95%</sub>	A	-	0,03	0,11	0,94	2 %		
	B	-	0,04	0,10	0,63			
	C	-	0,04	0,12	0,63			
DTT <sub>i95%</sub>	A	-	2,88	3,37	0,96	6 %		
	B	-	2,82	2,96	1,11			
	C	-	2,46	3,09	1,11			
DTT <sub>395%</sub>	A	-	0,5	0,78	0,46	5 %		
	B	-	0,2	0,37	0,45			
	C	-	0,17	0,55	0,53			
Correlação	A	47,51	-80,38	-82,38	51,36			
Corrente x	B	43	-78,23	-79,28	47,64			
DTT [%]	C	35,76	-79,23	-77,48	63,02			

FONTE: Produção do próprio autor

Através da análise da Tabela 9 pode-se concluir que as clínicas eletromédicas analisadas, apesar de possuírem equipamentos com características de possível inserção de altos níveis de correntes harmônicas na rede, não inserem níveis de tensões harmônicas superiores aos limites nacionais e internacionais. Observa-se um padrão no que se diz respeito aos indicadores, pois há uma baixa incidência de harmônicas pares e múltiplas de 3 e uma maior incidência das harmônicas

ímpares não múltiplas de três, sendo as harmônicas de quinta e sétima ordem as mais expressivas.

Todas as clínicas que recebem energia elétrica em 11,4 kV possuem um banco de capacitores instalado no secundário dos transformadores para a correção do fator de potência. Como a medição foi feita diretamente nos secundários, é possível que estes bancos de capacitores possam estar atuando como um filtro passivo de harmônicas.

Outro ponto que merece destaque é em relação à medição realizada na clínica CDI que registrou valores de distorção harmônica bem inferiores aos registrados na Unimed, na Multiscan e na Bio Scan, o que era esperado visto que a CDI possui um transformador com tensões 11,4 kV / 380 V e a Unimed, a Multiscan e a Bioscan possuem transformadores 11,4 kV / 220V. Como o nível de tensão no secundário do trafo da CDI é superior ao nível das outras clínicas, consequentemente os indicadores possuirão valores inferiores, pois os indicadores são inversamente proporcionais ao nível de tensão fundamental. Para a CDI também foi notada uma maior presença de harmônicas de ordem par, principalmente de 2ª Ordem. Essa distorção harmônica de 2ª ordem pode estar presente na rede e/ou sendo injetada por algum equipamento com simetria de meia onda que esteja com o controle desajustado.

Na correlação, nota-se um padrão entre a Unimed e a Multiscan. Há uma correlação forte e negativa entre a Corrente e a DTT% para essas clínicas indicando que o maior nível de harmônicas registrado ocorre nos momentos de menor carga.

## 5. CONCLUSÕES

Conforme demonstrado ao longo do trabalho as clínicas eletromédicas não injetam harmônicas na rede fora dos limites nacional e internacional. Apesar de possuírem cargas com essa característica, a presença de bancos de capacitores para correção do fator de potência pode estar atenuando o nível destas distorções harmônicas.

Notou-se que para clínicas que tem nível de tensão no secundário do transformador de 220 V / 380 V o nível de distorção harmônica é inferior se comparado às que possuem nível de tensão 127 V / 220V. Outro ponto observado é a maior presença de harmônicas pares, principalmente 2ª ordem, para clínicas que possuem alimentação 220 V / 380 V, se comparada às outras clínicas.

Também se observou que a quinta e sétima ordem foram as predominantes em clínicas que possuem 220 V / 127 V no secundário do transformador. Uma possível explicação para isso é a presença de retificadores de seis pulsos nos equipamentos destas.

Sendo assim, mesmo com a implantação dos indicadores propostos pela Nota Técnica 0105 da ANEEL e seus limites, as clínicas eletromédicas são unidades consumidoras que já estarão adequadas à norma sem a necessidade da instalação de filtros para correção dos níveis de harmônicas ou adoção de outras medidas como recondutoramento.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional**. Qualidade da Energia Elétrica 8, 2015. Disponível em: <[http://www.ANEEL.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8\\_Revis%C3%A3o\\_6\\_Retifica%C3%A7%C3%A3o\\_1.pdf](http://www.ANEEL.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8_Revis%C3%A3o_6_Retifica%C3%A7%C3%A3o_1.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2015.

BERNARDES, W.M. S.; SILVA.S.F.P. **Análise da Influência de equipamentos eletromédicos na qualidade de energia**. 2009. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Núcleo de Qualidade e Racionalização da Energia Elétrica. Disponível em: < <http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/viewFile/11652/7816>> Acesso em: 15 abr. 2015.

CORREIA, P.J.F. **O Impacto dos Problemas de Qualidade de Energia em instalações Eléctricas. O Caso Particular das Perturbações Harmônicas**, 2007. Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2007.

DECKMAN, S.M.;POMÍLIO.J.A. Avaliação da Qualidade de Energia Elétrica. 2010. **Apostila do curso de Avaliação da Qualidade de Energia Elétrica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas**. Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/it012.html>> Acesso em: 10 abr. 2015.

DUARTE, C.H. **Impactos Econômicos dos Harmônicos de Corrente das Cargas não Lineares em Redes Elétricas de Distribuição Residenciais**. 2010. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems**, 2014.

ISONI, M. **A Moderna Eficientização Energética e Seus Possíveis Efeitos Sobre o Desempenho Operacional de Equipamentos e Instalações Elétricas**. Distorções Harmônicas – Uma Revisão de Conceitos Gerais. Disponível em: <[http://documento.ifnmg.edu.br/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.actions.document.view&fDocumentId=2908](http://documento.ifnmg.edu.br/action.php?kt_path_info=ktcore.actions.document.view&fDocumentId=2908)> Acesso em: 16 abr. 2015.

MAMEDE, J.F. **Instalações Elétricas Industriais**. 7. Ed, LTC Editora, 2000.

MORENO, H. **Harmônicas nas Instalações Elétricas. Causas, efeitos e Soluções**. 1. ed. São Paulo, 2001.

POMÍLIO.J.A. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/htmlfile/harmo/fpcap4/cap4.html>> Acesso em: 09 Nov. 2015

SANTOS, F. M. F. **Qualidade de energia – Comparação das normas IEC 61000-3-2 e IEEE 519**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro, 2007.

SILVEIRA, M., **Qualidade de Energia em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde**. 2002. Dissertação (Mestrado em Regulação da Indústria de Energia) – Programa de Pós-Graduação em Regulação da Indústria de Energia, Universidade de Salvador, Salvador, 2002

## APÊNDICE A

```

clc, clear all, close all

%% INICIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS E DEFINIÇÃO DO SINAL
fs = 7000;           % frequência de amostragem
Ts = 1/fs;          % período de amostragem
t = 0:Ts:1-Ts;      % intervalo de amostragem
n = length(t);      % tamanho do vetor

f1 = 60;            % frequência 1
f2 = 2*f1;          % frequência 2
f3 = 3*f1;          % frequência 3
f4 = 4*f1
f5 = 5*f1
f6 = 6*f1
f7 = 7*f1
f8 = 8*f1
f9 = 9*f1
f10 = 10*f1

A1 = 127*sqrt(2);   % amplitude 1
A2 = 127/3;         % amplitude 2
A3 = 75;            % amplitude 3
A4 = 40;
A5 = 50;
A6 = 30;
A7 = 35;
A8 = 20;
A9 = 30;
A10 = 10;

A = A1*sin(2*pi*f1*t);
B = A2*sin(2*pi*f2*t);
C = A3*sin(2*pi*f3*t);
D = A4*sin(2*pi*f4*t);
E = A5*sin(2*pi*f5*t);
F = A6*sin(2*pi*f6*t);
G = A7*sin(2*pi*f7*t);
H = A8*sin(2*pi*f8*t);
I = A9*sin(2*pi*f9*t);
J = A10*sin(2*pi*f10*t);

K = A + B + C + D + E + F + G + H + I + J;

final = 118;

plot(A(1:final), '--')
hold on
plot(B(1:final), '*')
hold on
plot(C(1:final), '-.')
hold on
plot(D(1:final))
hold on
plot(E(1:final))
hold on
plot(F(1:final))

```

```
hold on
plot(G(1:final))
hold on
plot(H(1:final))
hold on
plot(I(1:final))
hold on
plot(J(1:final))
hold on

plot(K(1:final),'b')
hold on

%% TRANSFORMADA DE FOURIER
Y = fft(D);          % módulo da transformada de Fourier

%plota a transformada em troncos
figure(2)
plot(abs(Y));
grid
xlabel('Frequência')
ylabel('Amplitude')
title('Primeira iteração da FFT')

%% NORMALIZANDO E CENTRALIZANDO O ESPECTRO DE FREQUÊNCIA
N = length(D);      % número de pontos da fft
w = -fs/2:fs/2-1;   % intervalo de frequência centralizado

Yshift = fftshift(Y);
% plota a transformada normalizada em troncos
figure
plot(w(3500:4000),abs(Yshift(3500:4000)))
grid
xlabel('Frequência (Hz)')
ylabel('Amplitude')
```