



ANÁLISE DAS DISTORÇÕES HARMÔNICAS NAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE UMA INDÚSTRIA DE MARINGÁ – PR

ANALYSIS OF HARMONIC DISTORTIONS IN THE ELECTRICAL INSTALLATIONS OF AN INDUSTRY IN MARINGÁ – PR

DOI: 10.5281/zenodo.19197842



Florentino Fontenele dos Santos¹

Jackson Tsukada²

Guilherme Américo Rosa³

Mauro Vanderlei de Amorim⁴

Getúlio Teruo Tateoki⁵

RESUMO

A qualidade da energia elétrica tornou-se um fator fundamental para o funcionamento adequado de sistemas elétricos modernos, especialmente em ambientes industriais que utilizam grande quantidade de cargas não lineares. Entre os principais fenômenos que afetam a qualidade da energia destacam-se as distorções harmônicas, caracterizadas pela presença de componentes de frequência múltiplas da

1 Graduado em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário – UNIFEITEP.

2 Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário – UNIFEITEP. Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Unicesumar e mestrado em Engenharia de Automação e Sistemas pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

3 Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá – UEM. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC; mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP; doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

4 Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP. Graduado em Física pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, especialização em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP; mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP; doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

5 Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP. Graduado em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia de Lins - EEL; mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP.





frequência fundamental do sistema elétrico. Essas distorções podem provocar diversos impactos negativos, como aumento das perdas elétricas, aquecimento excessivo em equipamentos e redução da vida útil de componentes do sistema. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar os efeitos das distorções harmônicas na qualidade da energia elétrica, abordando seus principais conceitos teóricos, causas e impactos em sistemas elétricos. A pesquisa foi realizada por meio de revisão bibliográfica e análise técnica do fenômeno das harmônicas, destacando a importância do monitoramento da qualidade da energia elétrica para garantir a confiabilidade e eficiência operacional dos sistemas de potência. Os resultados evidenciam que o aumento da utilização de equipamentos eletrônicos e dispositivos de potência tem contribuído significativamente para o crescimento da presença de harmônicas nos sistemas elétricos, tornando necessária a adoção de estratégias de mitigação e controle.

Palavras-chave: Qualidade de energia elétrica. Harmônicas. Distorção harmônica. Sistemas elétricos.

ABSTRACT

Electric power quality has become a fundamental factor for the proper operation of modern electrical systems, especially in industrial environments that use a large number of non-linear loads. Among the main phenomena affecting power quality, harmonic distortions stand out, characterized by the presence of frequency components that are multiples of the system's fundamental frequency. These distortions can cause several negative impacts, such as increased electrical losses, excessive heating in equipment, and a reduction in the useful life of system components. In this context, the present work aims to analyze the effects of harmonic distortions on electric power quality, addressing its main theoretical concepts, causes, and impacts on electrical systems. The research was conducted through a bibliographic review and technical analysis of the harmonic phenomenon, highlighting the importance of monitoring electric power quality to ensure the reliability and operational efficiency of power systems. The results show that the increased use of electronic equipment and power devices has significantly contributed to the growth of harmonics in electrical systems, making it necessary to adopt mitigation and control strategies.

Keywords: Electric power quality. Harmonics. Harmonic distortion. Electrical systems.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade da energia elétrica é caracterizada por vários parâmetros que têm seus valores delimitados pela agência que normatiza a distribuição de energia, sendo no caso do Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2018), a responsável por determinar o quanto cada parâmetro pode estar fora do valor estipulado como padrão.





Problemas como harmônicas e afundamentos de tensão, transitórios, dentre outros, nem mesmo conseguem ser medidos por equipamentos comuns. Segundo Isoni (2019), ainda não há uma norma brasileira que forneça as devidas diretrizes e limites sobre estes distúrbios, deste modo tem-se tomado como referência os manuais e documentos de fabricantes de equipamentos, e normas internacionais como IEC 61800-3, IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-4 e IEEE 519-92.

A companhia normalizadora normalmente rege a parte de distribuição de energia, o que compreende desde a geração da energia nas usinas até o ponto de entrega desta à unidade consumidora. No entanto, grande parte dos distúrbios na energia são gerados dentro da própria unidade consumidora devido aos tipos de cargas utilizadas.

Com o advento de novas tecnologias, cada vez mais estas cargas passam a ser geradoras de interferências na rede elétrica, em função do fato destas não serem cargas lineares, ou seja, em sua maioria, são cargas formadas por elementos capacitivos ou indutivos, que podem gerar variados tipos de interferências (JIANG et al., 2012).

Segundo Paulilo (2013), o termo qualidade de energia é muito abrangente, sendo este um termo genérico capaz de englobar desde interferências na rede elétrica até mesmo interferências em sistemas de comunicação e de transmissões de dados. Perda de qualidade de energia constitui "qualquer desvio que possa ocorrer na magnitude, forma de onda ou frequência da tensão e/ou corrente elétrica, que resulte em falha ou operação indevida de equipamentos elétricos" (PAULILO, 2013).

Dentre as interferências elétricas, as harmônicas são de grande importância devido aos problemas que podem causar, que podem ser desde a elevação na conta de energia, danos nos equipamentos e cabos, ou até mesmo paradas no funcionamento de máquinas, sendo que cada um destes problemas pode estar relacionado a um único tipo de harmônica presente no sistema, o que dificulta, em muitos casos, a identificação deste tipo de distúrbio na rede elétrica (GARCIA, 1994).





Neste contexto, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre o impacto gerado pela má qualidade da energia nos ambientes industriais, em especial aqueles gerados pelas harmônicas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Características das Distorções Harmônicas

Distorções harmônicas são fenômenos relacionados às formas de onda dos componentes de tensão e corrente na rede de distribuição elétrica, sendo estes caracterizados principalmente por possuírem amplitudes distintas da senoide fundamental e apresentarem frequências múltiplas destas ondas (ANEEL, 2018). Podem ser definidas ainda como ondas ou sinais senoidais de tensão ou corrente, nos quais as frequências são múltiplos inteiros da frequência do sinal fundamental (HILTON, 2001).

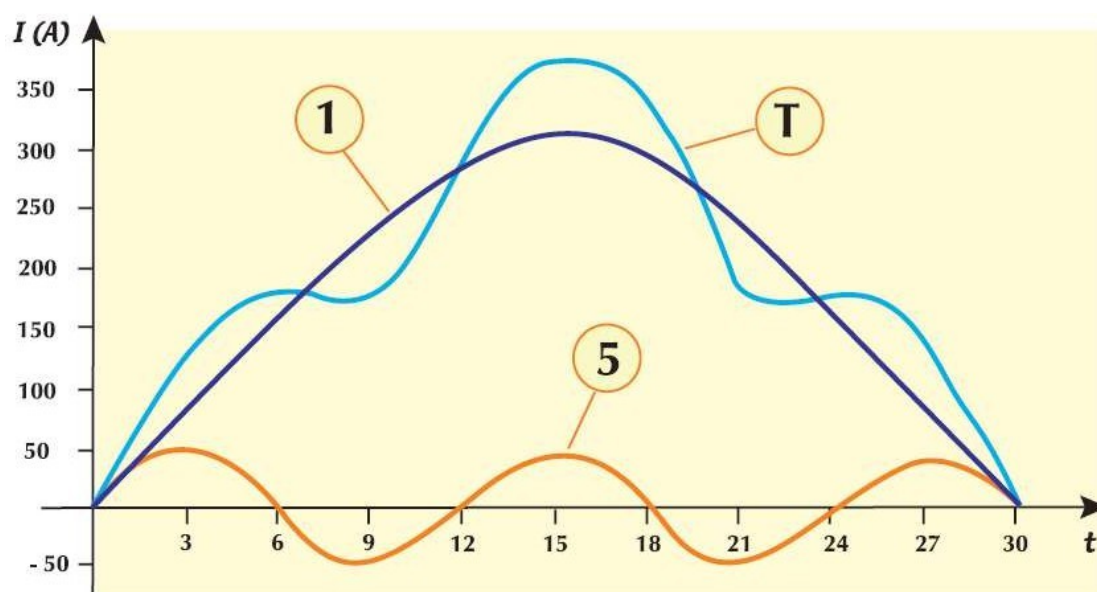
Uma ferramenta matemática muito importante no estudo das harmônicas é a "Série de Fourier", desenvolvida pelo matemático francês Jean Baptiste Josef Fourier. Trata-se de uma poderosa ferramenta que permite que uma função senoidal e periódica seja decomposta em uma série de componentes contínuas, ou seja, no caso de uma onda de tensão ou corrente, pode-se chegar a quais harmônicas juntamente com a onda fundamental formaram esta onda distorcida (ISONI, 2019).

A Figura 1 mostra um sinal senoidal onde se pode perceber a presença de dois outros sinais harmônicos, sendo o sinal T uma deformação do sinal fundamental (na mesma frequência que este último), enquanto que o sinal 5 representa a 5ª harmônica do sinal fundamental.





Figura 1 - Onda deformada e suas componentes harmônicas.



Fonte: Hilton (2001)

Os sinais harmônicos podem ser classificados de acordo com sua ordem, frequência e sequência, conforme pode ser observado na Tabela 1. O sinal fundamental tem frequência de 60 Hz, ordem 1 e sequência positiva.

Tabela 1 - Ordem, frequência e sequência das harmônicas.

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

Fonte: Hilton (2001)



De acordo com a Tabela 1, constata-se que há dois tipos de harmônicas quanto à sua sequência: as pares e as ímpares. As harmônicas ímpares podem ser encontradas nas instalações elétricas em geral, enquanto que as harmônicas pares são encontradas nos casos onde há simetria de sinal devido à presença de componentes contínuas (HILTON, 2001). As harmônicas possuem três sequências distintas: positivas (+), negativas (-) e nulas (0), sendo que cada sequência possui efeitos distintos sobre as instalações elétricas.

2.2 Efeitos Provocados pelas Harmônicas

Os efeitos de cada sequência podem ser demonstrados quando se toma como base um motor trifásico alimentado por quatro fios (3F + N). De acordo com Magalhães et al. (2007), neste caso, teoricamente as harmônicas de sequência positiva tendem a fazer o motor girar no mesmo sentido da componente fundamental, no entanto, isto ocasionaria um aumento da corrente nos enrolamentos do motor, o que consequentemente levaria a um aumento de temperatura, resultando em danos prematuros ao equipamento.

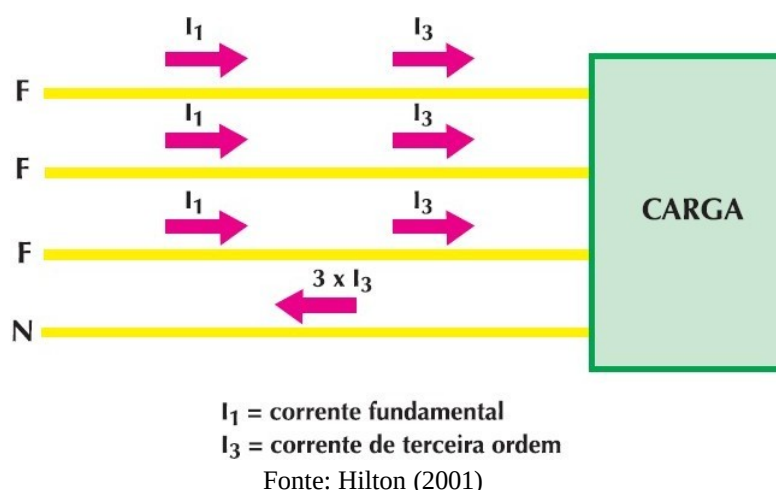
As harmônicas de sequências positivas normalmente causam aquecimento em condutores, motores e transformadores, enquanto que as harmônicas de sequência negativa fazem o motor girar no sentido contrário ao sentido de giro da senoide fundamental, causando assim uma frenagem no motor e, consequentemente, aquecimento indesejado (MAGALHÃES et al., 2007).

As harmônicas de sequência nula não causam interferência no sentido de giro dos motores, no entanto, somam-se algebricamente no condutor neutro, o que pode levar a casos em que a circulação de corrente de terceira ordem induza aquecimento excessivo nos condutores de neutro (RIBEIRO, 2017). A Figura 2 ilustra a corrente de terceira ordem fluindo pelo condutor neutro.





Figura 2 - Correntes de terceira ordem fluindo pelo condutor neutro.



2.3 Efeito das Harmônicas nos Transformadores

Segundo Garcia (2018), as correntes harmônicas são responsáveis pelo aumento das perdas no cobre, bem como as que envolvem perdas nos fluxos de dispersão, o que, por sua vez, gera sobreaquecimento e perdas pelo efeito Joule e no ferro. Estas também demandam maiores solicitações de isolamento devido às sobretensões e possíveis ressonâncias entre os enrolamentos do transformador e as capacitâncias existentes nas linhas.

O efeito da corrente harmônica sobre a perda I^2R pode ser demonstrada de acordo com as proposições de Sguaçabia et al. (2011): se o valor eficaz da corrente de carga sofrer um aumento devido às componentes harmônicas, a perda I^2R também sofrerá um acréscimo proporcional ao quadrado dessa corrente. A perda por correntes parasitas no enrolamento (PEC), considerando a frequência fundamental e harmônicas associadas, tende a ser proporcional ao quadrado da corrente de carga e ao quadrado da frequência, conforme mostrado na expressão:

$$P_{EC} = P_{EC,R} \sum_{h=1}^{h=h_{max}} \frac{I h^2}{[IR] h^2} w \quad (1)$$



2.4 Efeitos das Harmônicas em Componentes do Sistema Elétrico

Segundo Paulilo (2013), a crescente busca por consumo eficiente de energia proporciona um aumento da utilização de equipamentos eletrônicos de alta eficiência, como acionamentos eletrônicos e dispositivos de correção de fator de potência, o que proporciona um aumento de amplitude das distorções nas redes elétricas.

De acordo com Pomilio (2018), os equipamentos mais susceptíveis às harmônicas são os que presumem uma alimentação por uma forma de onda senoidal, dentre eles, pode-se destacar os equipamentos de comunicação e de informática. O efeito mais prejudicial das harmônicas nas máquinas rotativas é o aquecimento, que gera perdas de energia nos materiais como o ferro e o cobre, ocasionando perda de torque e ruídos na máquina.

No caso dos transformadores, as harmônicas também provocam grandes perdas. Enquanto as harmônicas de tensão causam perdas no ferro, as harmônicas de corrente causam perdas no cobre, devido ao efeito pelicular provocado pelas harmônicas, que reduz a área de condução na proporção que a frequência aumenta (POMILIO, 2018).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Tipo de pesquisa

Este trabalho caracteriza-se como pesquisa experimental, de abordagem quantitativa, envolvendo a coleta e análise de dados sobre distorções harmônicas em instalações industriais. Segundo Marconi e Lakatos (2003), a pesquisa de campo exploratória caracteriza-se por uma investigação empírica que tem como objetivo uma descrição quantitativa ou qualitativa de determinado fenômeno, incluindo a busca das inter-relações entre as variáveis do objeto em estudo.

3.2 Materiais e componentes

Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v.4 n.3 (2026) - ISSN 2965-2634

A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)





Para a realização deste trabalho foi utilizado um analisador de qualidade de energia da marca IMS, modelo Power NET P-600 G4 (Figura 3), com as seguintes características:

- Alimentação AC: 70 a 300 Vac;
- Consumo: 20 VA;
- Frequência: 50 ou 60 Hz.

Medição de corrente com alicate rígido (10 a 200A) e sensor flexível (1000A a 3000A)

Tabela 2 - Exatidão do equipamento utilizado.

Grandeza	Valor de referência
1 – Tensão	$\pm 20\%$
2 – Corrente	$\pm 20\% \pm 1\%$ do sensor de corrente
3 – Frequência	$\pm 0,01$ Hz
4 – Potência	$\pm 0,4\% \pm 1\%$ do sensor de corrente
5 – Fator de Potência	$\pm 0,4\% \pm 1\%$ do sensor de corrente

Fonte: IMS (2019)

Figura 3 - Analisador de energia IMS P-600 G4.



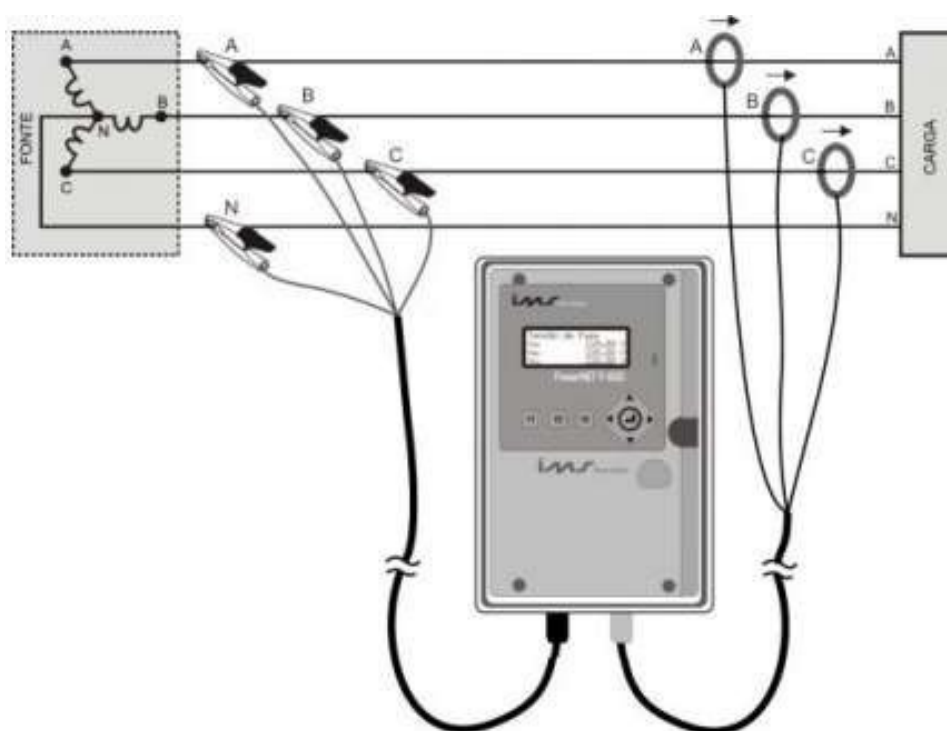
Fonte: IMS (2019)



3.3 Realização das coletas

Foram realizadas medições em dois ambientes distintos dentro da mesma indústria, utilizando o tipo de instalação para sistema trifásico a quatro fios (FFF+N), conforme Figura 4.

Figura 4 - Tipo de instalação utilizada no analisador de qualidade de energia.



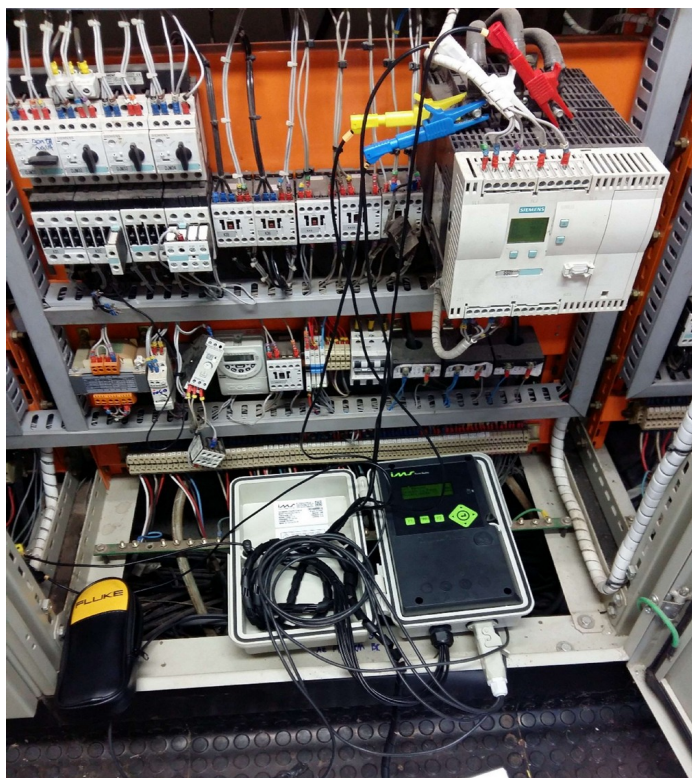
Fonte: Manual Power NET P600 G4 (2019)

O primeiro ambiente (CCM-1) está localizado no ambiente de descanso das aves, sendo responsável pelo acionamento dos ventiladores. É alimentado por um transformador de 75 kVA, com entrada de tensão de 13,8 kV e tensão secundária de 220 V trifásico. A coleta



neste ambiente teve duração de aproximadamente 72 horas, para observar variações de carga devido ao horário de ponta estipulado pela concessionária.

Figura 5 – Analisador coletando dados no CCM-1 (ventiladores).



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

O segundo ambiente (CCM-2) está localizado na sala de cortes, sendo alimentado por um transformador de 1500 kVA, com alimentação primária de 13,8 kV e tensão secundária de 380 V trifásico. Este ambiente possui vários comandos de motores que utilizam inversores de frequência (Figura 6).



Figura 6 - Painel CCM-2 onde há a presença de vários inversores de frequência.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise das formas de onda

Ao observar as Figuras 7 e 8, obtidas com as medições realizadas no CCM-1, foi possível verificar deformações nas formas de onda da tensão e corrente, evidenciando a presença de harmônicas (HILTON, 2001). A intensidade das harmônicas sofreu alterações no decorrer do dia, conforme comparação com os valores de THD (Distorção Harmônica Total) das Figuras 9 e 10.



Figura 7 - Gráfico tensão x corrente do CCM-1 ventiladores às 18:50 hs.

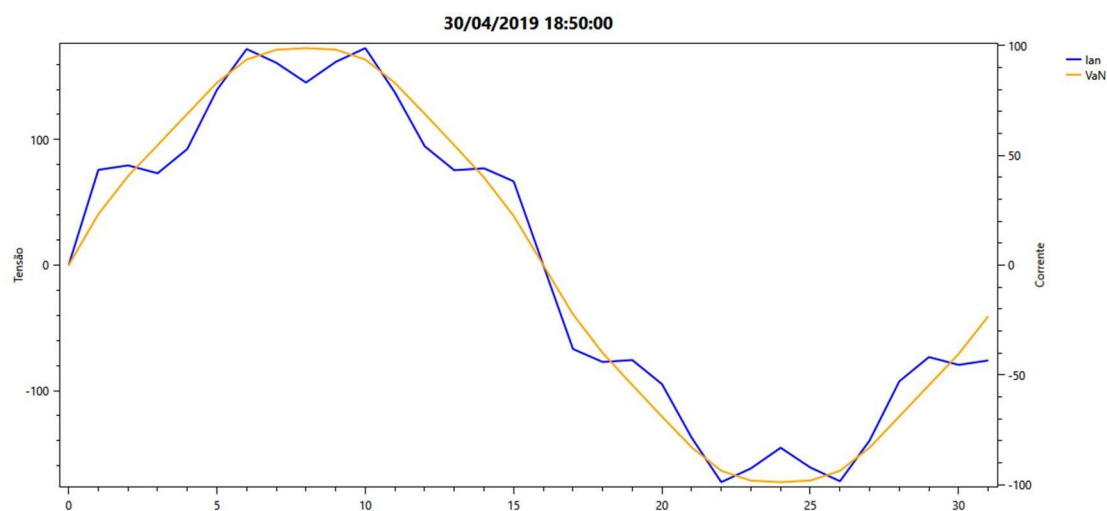
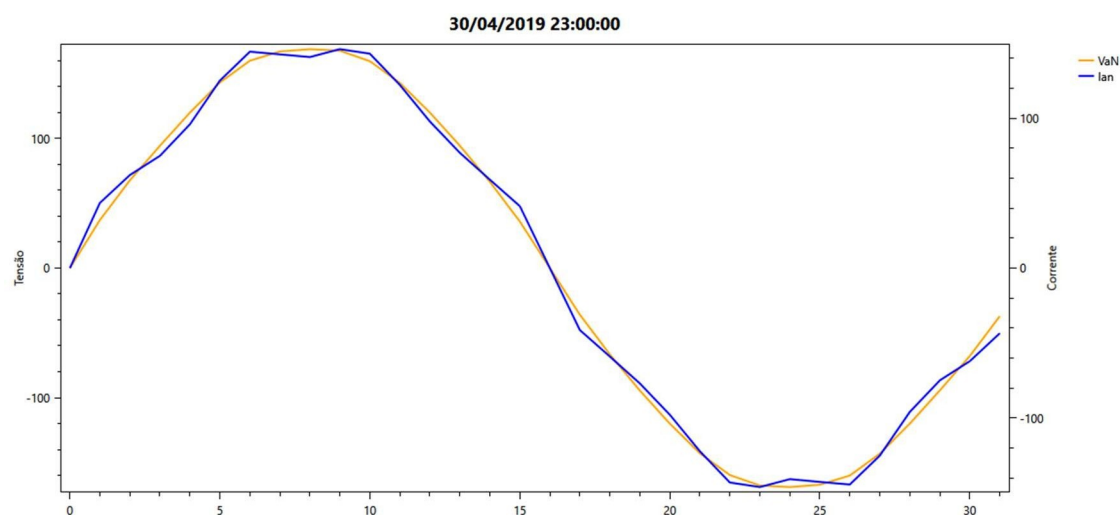


Figura 8 - Gráfico tensão x corrente do CCM-1 às 23:00 hs.





No CCM-1, cerca de 90% da carga é formada por motores de indução trifásicos, o que implica em grande probabilidade de serem encontradas somente harmônicas de ordem ímpar (MAGALHÃES et al., 2007), o que se confirmou pelos resultados obtidos.

Segundo o PRODIST(Procedimentos de Distribuição) Módulo 8 (ANEEL, 2019), os valores da Tabela 3 correspondem aos valores máximos desejáveis em sistemas de distribuição, utilizados como referência para análise.

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

Indicador	Tensão nominal		
	$V_n \leq 1,0 \text{ kV}$	$1,0 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
DTT 95%	10,0%	8,0%	5,0%
DTT p 95%	2,5%	2,0%	1,0%
DTT,i 95%	7,5%	6,0%	4,0%
DTT 3 95%	6,5%	5,0%	3,0%

Fonte: PRODIST ANEEL (2019)

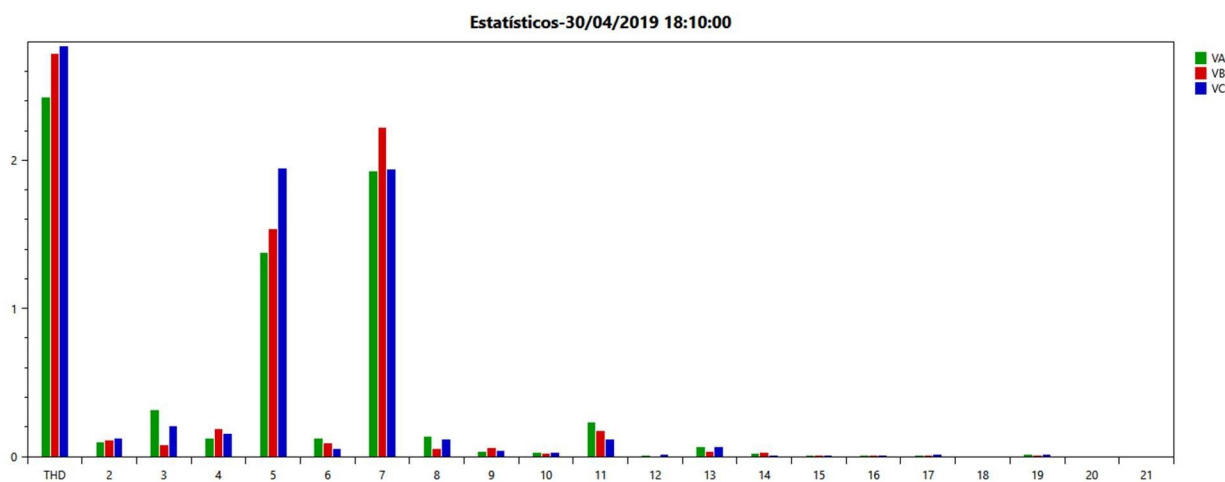
4.2 Análise das harmônicas no CCM-1

Conforme o histograma das harmônicas detectadas no CCM-1 (Figura 9), foram encontradas somente duas harmônicas de ordem ímpar com valores representativos (acima de 1,5%): a 5ª e a 7ª harmônicas. Estas são consideradas as mais significativas e danosas ao sistema elétrico devido aos seus efeitos diretos nos equipamentos e cabos (ISONI, 2019).



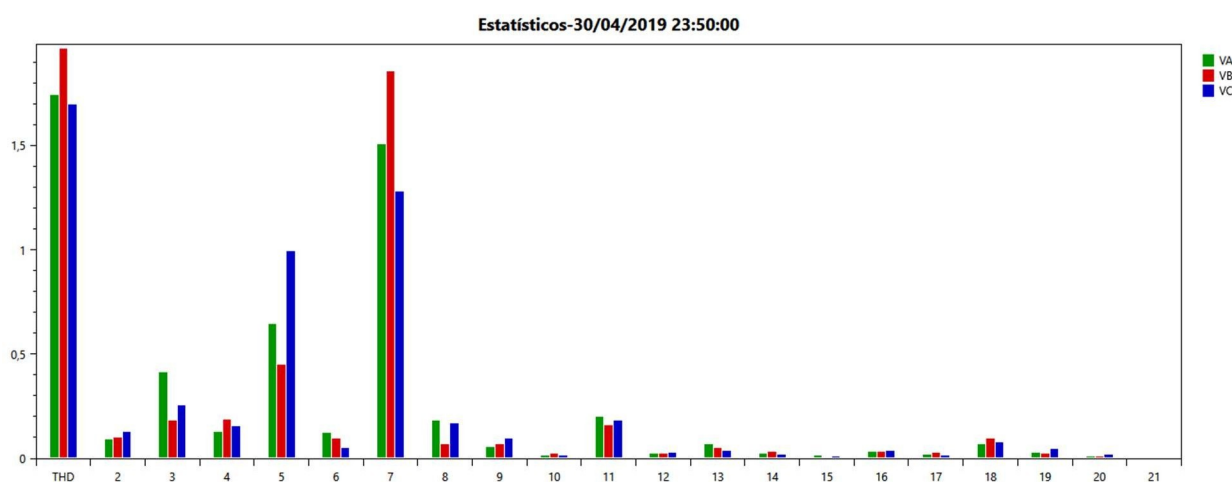


Figura 9 - Harmônicas presentes no CCM-1 às 18:10 hs.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Figura 10 - Harmônicas presentes no CCM-1 às 23:00 hs.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

A 3ª harmônica, comum neste tipo de circuito, não foi expressiva (valores abaixo de 1%), possivelmente devido à ausência de conexão do condutor neutro nos motores deste CCM, que foram instalados no formato trifásico equilibrado a três fios.



A 5ª harmônica é particularmente prejudicial aos motores de indução por possuir sequência negativa, gerando torque reverso que atua na diminuição do torque total do motor, causando aquecimento e danos prematuros (MAGALHÃES et al., 2007).

4.3 Análise das harmônicas no CCM-2

No CCM-2, também foram obtidos valores baixos de THD, com as harmônicas mais representativas sendo a 5ª e a 7ª. Adicionalmente, a 11ª harmônica apresentou valor mais significativo neste ambiente (Figuras 11 e 12).

Figura 11 - Harmônicas presentes no CCM-2 às 18:10 hs.

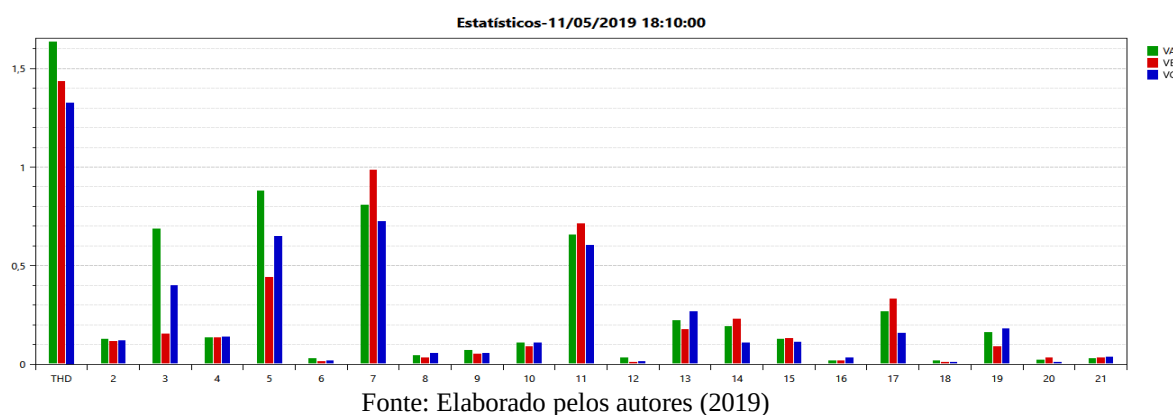
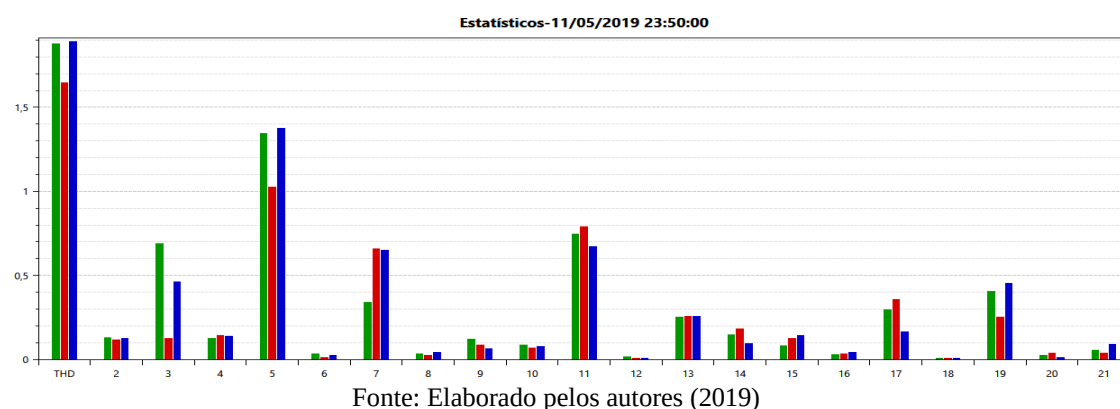


Figura 12 - Harmônicas presentes no CCM-2 às 23:00 hs.





Observou-se pequena alteração nas intensidades das harmônicas ao longo do dia, com variação conjunta entre a 5ª e a 7ª harmônicas, mantendo o THD estável.

A presença de harmônicas de ordens superiores a 7ª neste CCM pode ser explicada pela presença de inversores de frequência nos motores. Inversores de seis pulsos sem filtros de entrada podem gerar harmônicas de 5ª e 7ª ordem, enquanto retificadores de 12 pulsos, comumente encontrados em carregadores de baterias, podem gerar harmônicas de 11ª e 13ª ordem (GOMEZ; MORCOS, 2003; ISONI, 2019).

As harmônicas de sequência negativa (5ª e 11ª) são geradoras de perda de torque nos motores, vibrações e perdas por aquecimento (DECKMANN; POMILIO, 2017). A 7ª harmônica, de sequência positiva, não interfere no torque, mas gera vibrações e aquecimentos devido ao efeito pelicular a partir de 350 Hz (ISONI, 2019).

4.4 Proposições de medidas corretivas

Para ambientes com THD inferior aos valores recomendados pelo PRODIST, recomenda-se:

1. Plano gradual de substituição de equipamentos que geram maiores harmônicas por outros que já possuam filtros mitigadores;
2. Para carregadores de bateria, utilizar modelos com retificadores de 12 pulsos, que apresentam THD mais baixo (entre 12% e 15%) devido à defasagem de 30° entre ciclos de retificação (GOMEZ; MORCOS, 2003; BASU; GAUGHAN; COYLE, 2004).

5. CONCLUSÃO

Em geral, pôde-se inferir que os ambientes analisados neste estudo não sofreram grandes impactos em consequência da presença das harmônicas encontradas. Entretanto, estas





ainda podem causar danos às instalações elétricas da indústria, como desgaste de componentes e do sistema elétrico, que muitas vezes não são relacionados, em um primeiro momento, à persistência destas harmônicas no sistema.

O desconhecimento da existência das harmônicas pode ter como consequências diretas o aquecimento dos cabos elétricos, enrolamentos dos motores, queima de componentes de proteção, bem como a redução da vida útil desses equipamentos. Indiretamente, podem causar paradas na produção pelo acionamento de dispositivos de proteção e relés, falhas nos sistemas de comunicação, entre outros problemas que, a longo prazo, podem gerar grandes prejuízos.

Este trabalho é de grande importância tanto para o conhecimento dos problemas destacados, orientando profissionais que atuam em ambientes industriais, quanto para a aplicação de medidas de correção diretamente relacionadas às harmônicas presentes nesses sistemas.

A conscientização sobre a necessidade de correção dos problemas relacionados às harmônicas pode gerar impacto positivo não somente para a empresa na forma de redução de custos, mas também na redução do impacto ambiental, relacionado à redução de consumo de energia e de matérias-primas na fabricação de novos componentes.

6. REFERÊNCIAS

ANEEL. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 05 nov. 2018.

BASU, M.; GAUGHAN, K.; COYLE, E. **Harmonic distortion caused by EV battery chargers in the distribution systems network and its remedy**. In: UPEC 2004: 39th International Universities Power Engineering Conference, 2004.

DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A. **Avaliação da qualidade da energia elétrica**. Universidade Estadual de Campinas, 2017.





GARCIA, F. R. **Harmônicos em sistemas elétricos de potência: causas, efeitos e soluções.** CEFET – Curitiba, 1994.

GARCIA, F. R. **Harmônicos em sistemas elétricos de potência.** 2018.

GOMEZ, J. C.; MORCOS, M. M. **Impact of EV battery chargers on the power quality of distribution systems.** IEEE Transactions on Power Delivery, v. 18, n. 3, p. 975-981, jul. 2003.

HILTON, M. **Harmônicas nas instalações elétricas.** 2001.

IEEE. **Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.** IEEE std 519-2014.

IMS. **Analizador de energia Power NET P-600 G4 – manual de instruções.** 2019.

ISONI, M. **A moderna eficiência energética e seus possíveis efeitos sobre o desempenho operacional de equipamentos e instalações elétricas.** 2019.

JIANG, C.; SALLES, D.; XU, W.; FREITAS, W. **Assessing the Collective Harmonic Impact of Modern Residential Loads.** IEEE Transactions on Power Delivery, v. 27, n. 4, p. 1947-1955, out. 2012.

MAGALHÃES, C. M. S. et al. **Análise da influência das distorções harmônicas em motores de indução acionando correias transportadoras.** In: VII CBQEE – Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica, Santos, 2007.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia Científica.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

PAULILO, G. **Conceitos gerais sobre qualidade da energia.** Revista O Setor Elétrico, ed. 84, p. 30-37, jan. 2013.

POMILIO, J. A. **Efeitos e causas de harmônicas no sistema de energia elétrica.** 2018.

RIBEIRO, L. R. B. **Análise de harmônicos em cargas não lineares.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso – UniCEUB, Brasília, 2017.





SGUAÇABIA, R. R.; CARVALHO, M. M.; LUNARDI, T. **Estudo de avaliação do impacto de distorções harmônicas sobre transformadores do tipo seco.** In: IX CBQEE – Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica, Cuiabá, 2011.

Recebido em: 22/02/2026

Aprovado em: 10/03/2026

Publicado em: 23/03/2026

