

## Análise da qualidade da energia elétrica a partir da implantação de Sistema Fotovoltaico

*Analysis of the power quality from the implementation of a photovoltaic generation system*

Berthiê de Castro Furtado<sup>1</sup>, José Luis Domingos<sup>2</sup>, Aylton José Alves<sup>3</sup>, Alana da Silva Magalhães<sup>4</sup>

### RESUMO

Este trabalho apresenta a análise da qualidade de energia elétrica antes e após a implantação do Sistema Fotovoltaico em uma instituição de ensino. A pesquisa se justifica pela crescente utilização de cargas sensíveis à variação nos parâmetros da rede elétrica, ocasionando prejuízos aos usuários, e a aplicação de dispositivos não lineares, que são responsáveis pela injeção de componentes harmônicas de corrente na rede. A metodologia adotada consiste em caracterizar as distorções harmônicas de tensão e corrente, através de campanhas de medições, com o intuito de verificar se as instalações elétricas do local comportam-se em conformidade com os limites estabelecidos pelas normas vigentes. Os resultados mostram que na primeira campanha de medição os fenômenos da qualidade do produto em análise mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST e a Norma IEEE 519 – 2014. Na segunda campanha observou-se considerável contribuição de distorções harmônicas de corrente, isso proveniente da implantação do sistema fotovoltaico em conjunto com as cargas existentes. Num futuro próximo, essa situação poderá promover problemas nas instalações elétricas. Por fim, entende-se que realizar monitoramento da qualidade da energia, permite identificar a causa e propor solução para possíveis danos causados nas instalações elétricas da edificação em estudo.

**Palavras-chave:** Sistema Fotovoltaico. Dispositivos não lineares. Qualidade da energia elétrica.

### ABSTRACT

*Analysis of the power quality from the implementation of a photovoltaic generation system*

This work presents the analysis of the power quality before and after the implementation of a Photovoltaic System in an educational institution. The research is justified by the growing use of loads that are sensitive to variations in the grid parameters, causing losses to the users, and the application of non-linear devices, which are responsible for the injection of harmonic current components into the grid. The methodology adopted consists of characterizing the voltage and current harmonic distortions, through measurement campaigns, in an attempt to verify if the local electrical installations behave in conformity with the limits established by the standards. The results show that in the first measurement campaign the product quality phenomena under analysis remained within the limits established by Module 8 of PRODIST and IEEE Standard 519 - 2014. In the second campaign, a considerable contribution of current harmonic distortions was observed, resulting from the implementation of the photovoltaic system together with the existing loads. In the future, this situation may promote problems in the electrical installations. Finally, it is understood that monitoring the power quality allows identifying the cause and proposing solutions for possible damage caused in the electrical installations of the building under study.

**Keywords:** Photovoltaic System. Nonlinear devices. Power Quality.

<sup>1</sup> Mestre em Tecnologia de Processos Sustentáveis pelo IFG. Docente da Faculdade de Tecnologia SENAI Ítalo Bologna, Goiânia, Brasil.

E-mail: profberthie@gmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Elétrica pela UFU. Docente do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás. Goiânia, Brasil.

E-mail: jose.domingos@ifg.edu.br

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Elétrica pela UFU. Docente do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás. Goiânia, Brasil.

E-mail: aylton.alves@ifg.edu.br

<sup>4</sup> Doutora em Engenharia Elétrica pela UFG. Docente do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás. Goiânia, Brasil.

E-mail: alana.magalhaes@ifg.edu.br

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda por energia elétrica em todo o mundo é crescente e acelerada. Esse crescimento é provocado principalmente pelo aumento populacional e pela dependência de tecnologias que necessitam de energia elétrica. Essa dependência gera uma necessidade cada vez maior por energia disponível, sobretudo com o intuito de diminuir a dependência de combustíveis fósseis e a preferência por fontes de energia que não poluem, levando à busca de novas fontes de energia para a geração de eletricidade (VILLALVA; GAZOLI, 2012; FURTADO et al., 2021).

Além da busca de novas fontes de energia, que também permitam diversificar a matriz energética brasileira, há a preocupação com os indicadores da qualidade da energia elétrica. Isso se deve, especialmente, ao fato de que a inserção de sistemas de energias renováveis, como sistema de geração fotovoltaica (SGFV) e geração eólica, além de sistemas de iluminação através de lâmpadas com tecnologia de diodos emissores de luz (LED), dentre outras cargas, utilizam muitos componentes não lineares que, por sua vez, provocam a elevação dos níveis de distorções harmônicas no sistema elétrico (INDRA,2011; WANG,2013; BARBOSA, 2021).

Aliado a mesma preocupação, menciona-se o estudo realizado por Teixeira et al. (2016), onde avaliaram um sistema fotovoltaico centralizado de 1 MVA que apresenta inversores e módulos fotovoltaicos com distintas tecnologias. Durante as medições constatou-se que a corrente harmônica e o fator de potência apresentaram valores acima dos limites permitidos pelas normas nacionais e internacionais. Essas medições foram apresentadas em momentos que se constatou menor geração, isto é, ao amanhecer e ao pôr do sol. Apesar de apresentar valores acima do permitido, nesses horários ocorrem baixa injeção de corrente na rede, dessa forma não afetando os indicadores de qualidade do produto do sistema elétrico da concessionária.

Na mesma abordagem a pesquisa de Irfan et al. (2015), apresenta um estudo de caso de auditoria da qualidade da energia realizado na Nagesh Karajagi Orchid College of Engg. e Tecnologia, em Solapur na Índia (NKOCET). Durante o período em que a maioria das cargas na faculdade estavam energizadas, constatou-se incidência acentuada de potência reativa, implicando em baixo fator de potência e desequilíbrio de cargas. As análises das distorções harmônicas de tensão e corrente apresentaram valores que excedem as prescrições da Norma IEEE 519-2014.

De modo geral, os estudos apresentados na literatura buscam a identificação e a forma de se mitigar problemas que afetam os parâmetros da qualidade da energia elétrica, investigando o comportamento do sistema elétrico de consumidores, desde de uma Usina Solar Fotovoltaica de 1 MVA até instituições de ensino que não apresentam sistema de geração fotovoltaica. Constata-se nesses estudos apenas a análise da qualidade da energia elétrica após a implantação de Projeto de Eficiência Energética.

Diante do exposto, esse estudo consiste em realizar um estudo de caso com a utilização de método consolidado na literatura, que possibilite avaliar a qualidade da energia elétrica antes e após a implantação de um SGFV e ações de eficiência energética no IFG Campus Goiânia. Tais análises visam verificar se as instalações elétricas do local comportaram-se em conformidade com os limites estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST e a Norma IEEE 519 – 2014.

## 2. QUALIDADE DA ENERGIA

A qualidade da energia elétrica permite que máquinas, equipamentos e demais dispositivos, que constituem as instalações elétricas funcionem de maneira adequada, não comprometendo o desempenho e a vida útil, porém condicionado ao comportamento dos sinais elétrico de tensão e corrente (DUGAN, 2004; LEÃO, 2014).

A avaliação da qualidade da energia elétrica pode ser realizada através da qualidade do serviço, observando-se a continuidade do fornecimento de energia elétrica, como também com relação à qualidade do produto, que se refere à capacidade do sistema elétrico em fornecer energia com tensões equilibradas e sem deformações na forma de onda, ou seja, tensões senoidais, equilibradas e com amplitudes e frequências constantes (ANEEL,2018; BARROS, 2016). Para avaliar a qualidade do produto, nesse estudo, serão analisadas as distorções harmônicas de tensão e corrente, descritos conforme a seguir.

### 2.1 Distorção harmônica de tensão e corrente

As distorções harmônicas são fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental e a qualidade da energia pode ser afetada quando o sistema elétrico apresenta estas deformações (ANEEL,2018).

Na análise da distorção harmônica de tensão são utilizados para quantificar a qualidade dos sinais: a distorção harmônica individual (DIT<sub>h</sub>) e a distorção total de tensão (DTT). A distorção harmônica individual de tensão é obtida através da expressão (1) e utilizando a expressão (2) obtém-se a distorção harmônica total de tensão (IEEE, 2014):

$$DIT_h \% = \frac{V_h}{V_1} \cdot 100 \quad (1)$$

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} V_h^2}}{V_1} \cdot 100 \quad (2)$$

onde

- h é a ordem harmônica individual;
- h<sub>max</sub> é a ordem harmônica máxima;
- V<sub>h</sub> é a tensão harmônica de ordem h;
- V<sub>1</sub> é a tensão fundamental medida.

Os limites das distorções harmônicas de tensão, são definidos pelo Módulo 8 do PRODIST e representado pela Tabela 1.

**Tabela 1.** Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental).

Indicador	Tensão nominal (kV)		
	V <sub>N</sub> ≤ 1	1 < V <sub>N</sub> < 69	69 ≤ V <sub>N</sub> < 230
Distorção harmônica total de tensão (DTT <sub>95%</sub> )	10,0%	8,0%	5,0%
Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3 (DTT <sub>p,95%</sub> )	2,5%	2,0%	1,0%
Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3 (DTT <sub>i,95%</sub> )	7,5%	6,0%	4,0%
Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3 (DTT <sub>3,95%</sub> )	6,5%	5,0%	3,0%

Fonte: ANEEL (2018).

Em geral, as normas e resoluções nacionais não descrevem limites de distorções harmônicas de corrente para unidades consumidoras. Entretanto a Norma IEEE Std 519 estabelece limites harmônicos tanto para tensão, quanto para corrente.

Para análise dos limites harmônicos da corrente, inicialmente é necessário determinar a distorção harmônica individual de corrente (DHI-i %) e a distorção harmônica total de corrente (DHT-i %), que são obtidos através das expressões (3) e (4):

$$DHI - i\% = \frac{I_h}{I_1} \cdot 100 \quad (3)$$

$$DHT - i\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} V_h^2}}{I_1} \cdot 100 \quad (4)$$

onde

- h é a ordem harmônica individual;
- h<sub>max</sub> é a ordem harmônica máxima;
- I<sub>h</sub> é a corrente harmônica de ordem h;
- I<sub>1</sub> é a corrente fundamental medida.

Os limites das distorções harmônicas de corrente, são definidos pela Norma IEEE 519 – 2014 e apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Limites de distorção harmônica de corrente para sistemas de 120 V a 69 kV.

Distorção harmônica máxima de corrente em porcentagem de I <sub>L</sub>						
Ordem harmônica individual (harmônicos ímpares) <sup>a, b</sup>						
I <sub>CC</sub> /I <sub>L</sub>	3 ≤ h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h ≤ 50	DDT
< 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

Fonte: IEEE (2014).

<sup>a</sup> Harmônicas pares são limitadas a 25% dos limites de harmônicos ímpares acima.

<sup>b</sup> Distorções de corrente que resultam em um deslocamento CC, por exemplo, conversores de meia onda, não são permitidas.

<sup>c</sup> Todo equipamento de geração de energia é limitado a esses valores de distorção de corrente, independentemente do I<sub>CC</sub>/I<sub>L</sub> real.

Onde:

I<sub>CC</sub> = Corrente máxima de curto circuito no PAC (Ponto de Acoplamento Comum).

I<sub>L</sub> = Corrente de carga de demanda máxima (componente de frequência fundamental) no PAC sob condições normais de operação de carga.

DDT = Distorção de demanda total.

### 3. METODOLOGIA

Nesse trabalho será analisada a qualidade da energia elétrica na primeira etapa de um Projeto de Eficiência Energética, onde o sistema de iluminação antigo, composto por mais de 90% de lâmpadas fluorescentes tubulares, são substituídas por lâmpadas LED tubulares. A segunda etapa do Projeto contempla a instalação de um SGFV nos telhados das edificações do IFG Campus Goiânia com potência instalada total de 251,875 kWp.

A metodologia é apresentada de forma sumarizada na Figura 1, onde mostra a sequência das ações a serem realizadas quanto à análise da qualidade do produto, para obter resultados após a eficientização do sistema de iluminação e após a implantação do sistema fotovoltaico. Por fim, é elaborado um relatório contendo a descrição da proposta de melhoria, quanto à possíveis anomalias nas instalações elétricas do local de estudo em relação a qualidade da energia.

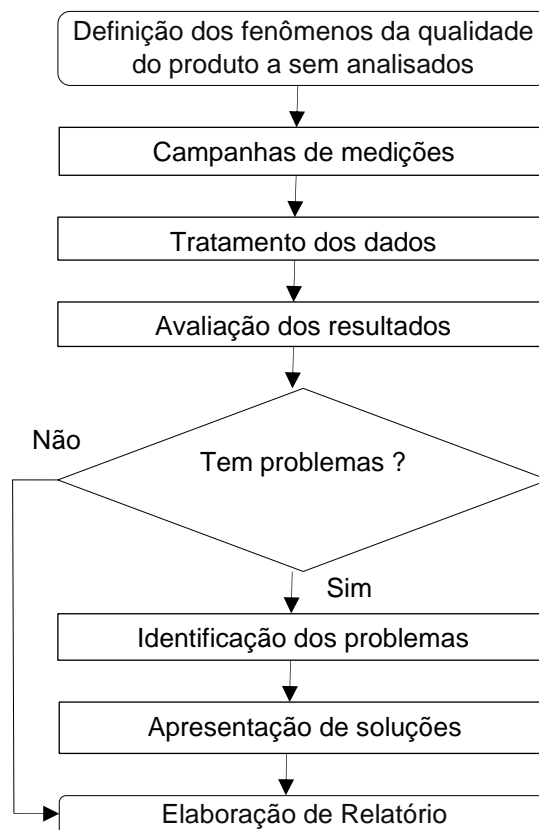


Figura 1. Fluxograma da metodologia

Pela Figura 1, para realizar a análise da qualidade da energia inicialmente é necessário definir os fenômenos da qualidade do produto, que são as distorções harmônicas de tensão e corrente.

Em seguida, para monitorar o sistema elétrico, onde permita contemplar as etapas do projeto de eficiência energética, serão realizadas duas campanhas de medições. A primeira possibilitará a obtenção de resultados após a substituição do sistema de iluminação e a segunda campanha resultados de todas as cargas do local de estudo e ainda do sistema fotovoltaico, desta forma contemplando todas as etapas do projeto de eficiência energética.

Durante o período de monitoramento são definidos dois pontos de medições para cada campanha, onde o primeiro está no secundário do transformador 1 de 500 kVA, definido como ponto de medição (M1) e o segundo ponto de medição (M2) está no secundário do transformador 2 de 225 kVA. Na segunda campanha de medições, o instrumento foi conectado no ponto de medição (M3) no secundário do transformador 1, contemplando apenas o sistema fotovoltaico, conforme mostra a Figura 2. Nas duas campanhas de medições utilizou-se um único instrumento do fabricante *Fluke*, modelo 435 II, tipo classe A.

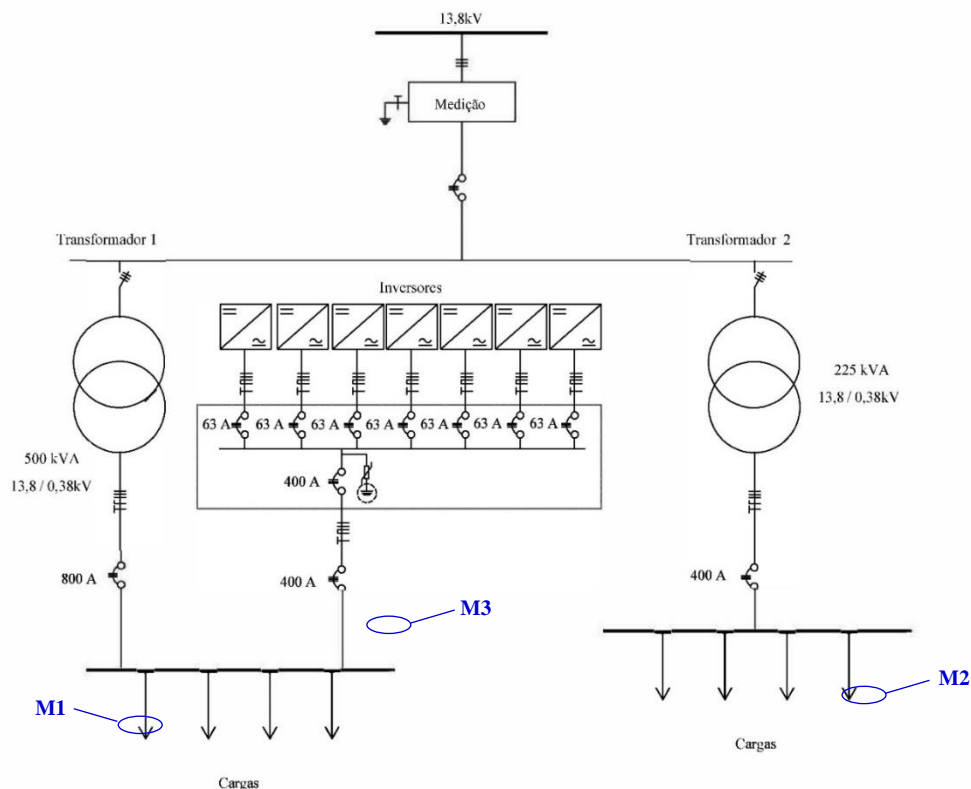


Figura 2. Diagrama elétrico da subestação abrigada do IFG – Campus Goiânia.

Após a realização das medições nos pontos estabelecidos, os dados são tratados através dos *softwares* Excel e MATLAB para a geração de tabelas e gráficos. Para fins de análise nesta pesquisa considera-se o registro de 1008 (mil e oito) leituras válidas obtidas em intervalos consecutivos (período de agregação) de 10 minutos, totalizando o registro de 7 dias consecutivos (ANEEL, 2018).

Com a avaliação dos resultados realizada após o tratamento dos dados é possível identificar se o sistema tem problema ou não. Caso seja identificado problemas pertinentes as distorções harmônicas de tensão ou corrente deverá apresentar medidas mitigadoras, que constará no Relatório Técnico.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados das medições realizadas nos transformadores 1 e 2, com potência de 500 kVA e 225 kVA respectivamente. A primeira campanha contempla a análise antes da instalação do SGFV e a segunda campanha apresenta a situação após a instalação do SGFV no IFG Campus Goiânia. Os resultados são apresentados a partir de tabelas e gráficos, que contemplam os níveis de distorção harmônica de tensão e corrente.

### 4.1 Primeira e segunda campanhas de medição no transformador 1

A primeira campanha de medição foi realizada no período de 06/05 a 12/05/2019, após à efficientização do sistema de iluminação e antes da energização do SGFV. A segunda campanha de medição foi realizada em duas etapas, onde a primeira foi efetuada no período de 09/08 a 15/08/2021, que contemplou todas as cargas juntamente com o SGFV instalado. A segunda etapa ocorreu no período de 25/08 à 31/08/2021 contemplando apenas o SGFV.

No primeiro momento foi analisado o comportamento das distorções harmônicas totais e individuais de tensões nas fases A, B e C. Os resultados mostram que as distorções total e individuais ( $3^a$ ,  $5^a$ ,  $7^a$ ,  $9^a$ ,  $11^a$ ,  $13^a$ ,  $15^a$ ,  $17^a$ ,  $19^a$ ,  $21^a$ ,  $23^a$ ,  $25^a$ ,  $27^a$  e  $29^a$ ) apresentam índices iguais a 0,00%, desta forma em conformidade com os limites estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST e a Norma IEEE 519 – 2014.

Em seguida foi analisado o comportamento das distorções harmônicas totais e individuais de corrente nas fases A, B e C, que é apresentado na Tabela 3.

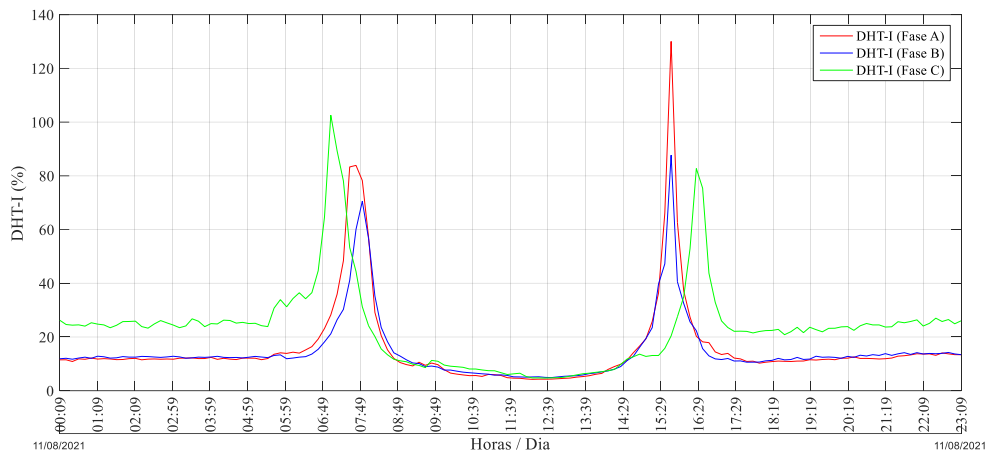


**Tabela 3.** Distorções harmônicas das correntes nas fases A, B e C (transformador 1 / primeira e segunda campanha).

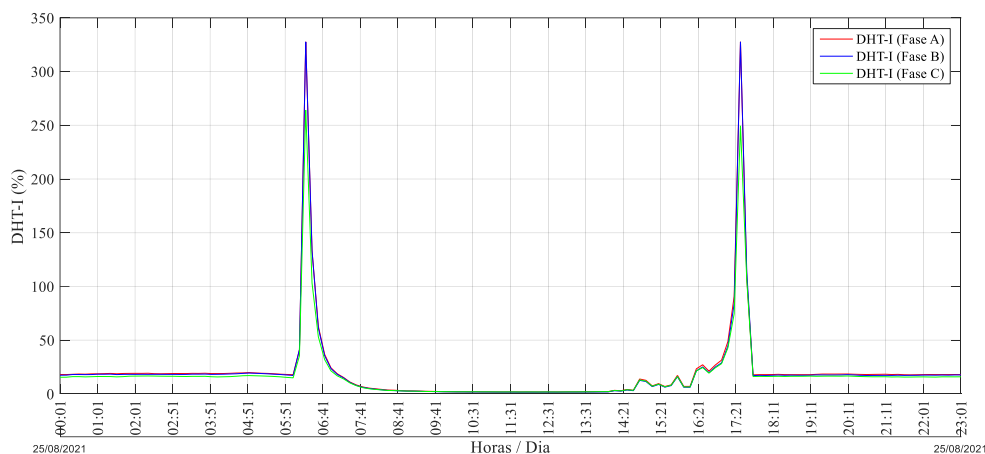
Primeira e segunda campanha de medição				
Ordem harmônica	P95 (%) Primeira campanha	P95 (%) Segunda campanha	Máximo permitido (%)	Fase
DTT - i	0,00	11,80	20,00	A
3	0,00	9,82	15,00	
5	0,00	7,63	15,00	
13	0,00	5,45	7,00	
23	0,00	5,15	2,50	
25	0,00	5,85	2,50	
DTT - i	0,00	11,90	20,00	B
3	0,00	9,72	15,00	
5	0,00	7,93	15,00	
DTT - i	0,89	46,03	20,00	C
3	0,00	58,43	15,00	
5	0,00	6,64	15,00	
13	0,00	6,05	7,00	
23	23,61	0,79	2,50	
25	0,00	6,05	2,50	

Na primeira campanha ocorreu violação do valor máximo permitido apenas na fase C, na 23ª harmônicas com índices igual a 23,61%. Na segunda campanha identificou-se inúmeras violações, onde na fase A apresentou na 3ª, 5ª, 13ª, 23ª e 25ª componentes harmônicas com índices de 9,82%, 7,63%, 5,45%, 5,15% e 5,85% respectivamente e ainda na componente total com índice igual a 11,80%. Na fase B ocorreu violação na 3ª e 5ª componentes com valores iguais a 9,72% e 7,93%, respectivamente, e ainda na componente total com índice igual a 11,90% e, por fim, na fase C identificou-se violação na 3ª, 5ª, 13ª e 25ª componentes com índices de 58,43%, 6,64%, 6,05% e 6,05%, respectivamente, e ainda na componente total com índice igual a 46,03%.

As Figuras 3 e 4 apresentam o comportamento das distorções harmônicas totais de corrente (DHT-I) nas fases A, B e C no secundário do transformador 1, contemplando a segunda campanha de medição.



**Figura 3.** Comportamento das DHT-I nas fases A,B e C (SGFV e cargas).



**Figura 4.** Comportamento das DHT-I nas fases A, B e C (SGFV).

A Figura 3 mostra os resultados das medições de todas as cargas conectadas no transformador 1 juntamente com o sistema fotovoltaico. Quando inicia a geração de potência (começo do dia) através do SGFV, percebe-se um pico de distorção harmônica. No decorrer do dia ocorre decréscimo do valor, entretanto não tende a zero, pois nessa situação mesmo o SGFV propiciando baixos valores de harmônicos, tem-se a participação das cargas, que contribui na elevação dos valores de harmônicos. No final do dia ocorre diminuição de geração e assim percebe-se novamente um pico de distorção harmônica, durante a noite e até o amanhecer em virtude da ausência da irradiação solar não ocorre a geração de potência. Entretanto, os valores de harmônicos são maiores em relação ao

período do dia em que ocorre a geração, isso, em virtude da atuação das cargas alimentadas pelo transformador 1 durante a noite.

Na Figura 4, onde as medições foram realizadas apenas no SGFV, percebe-se que durante o dia (geração de energia) os valores de harmônicos são baixos, inclusive tendem a zero, comportamento contrário ao que ocorre na Figura 3, pois os valores de harmônicos são maiores.

É importante salientar que os picos de distorções harmônicas no início e término da geração de energia, acontecem em horários que ocorrem baixa injeção de corrente na rede, dessa forma não afetando os indicadores de qualidade do produto do sistema elétrico. Entretanto, nos outros horários identifica-se elevação dos valores de distorções harmônicas de corrente, oriunda da contribuição conjunta do SGFV e das cargas instaladas no transformador 1 e assim afetando a qualidade da energia do local em estudo.

#### 4.2 Primeira e segunda campanhas de medição no transformador 2

A primeira campanha de medição foi realizada no período de 27/05 a 02/06/2019, após a eficientização do sistema de iluminação e antes da energização do SGFV. A segunda campanha de medição foi realizada no período de 16/08 a 23/08/2021, que contemplou todas as cargas juntamente com o SGFV.

Nessa seção foi analisado o comportamento das distorções harmônicas totais e individuais de tensões nas fases A, B e C. Os resultados mostram que todas as componentes apresentam índice igual a 0,00%, desta forma em conformidade com os limites estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST e a Norma IEEE 519 – 2014.

A Tabela 4 mostra o comportamento das distorções harmônicas totais e individuais de corrente nas fases A, B e C, no transformador 2.

**Tabela 4.** Distorções harmônicas das correntes nas fases A, B e C (transformador 2 / primeira e segunda campanha).

Primeira e segunda campanha de medição				
Ordem harmônica	P95 (%) Primeira campanha	P95 (%) Segunda campanha	Máximo permitido (%)	Fase
DTT - i	27,28	23,71	20,00	A
3	30,05	32,83	15,00	
23	7,93	0,00	2,50	
DTT - i	2,27	26,98	20,00	

5	0,29	27,38	15,00	C
11	1,38	21,92	7,00	
23	6,44	10,01	2,50	
25	0,39	27,57	2,50	

Na Tabela 4 é possível identificar na primeira campanha que ocorreu na fase A violação nos limites estabelecidos, onde a harmônica total apresentou valor igual a 27,28% e as componentes 3ª e 23ª com valores iguais a 30,05% e 7,93%, respectivamente, na fase C a 23ª componente harmônica apresentou valor igual a 6,44%. Na segunda campanha identificou violação na fase A, onde a harmônica total apresentou valor igual a 23,71% e na 3ª componente harmônica individual valor igual a 32,83%. Na fase C ocorreu violação na harmônica total e nas componentes harmônicas 5ª, 11ª, 23ª e 25ª, com índices iguais a 26,98%, 27,38%, 21,92%, 10,01% e 27,57%, respectivamente.

De forma geral observa-se que ocorreu na segunda campanha de medição um aumento da transgressão dos valores de distorção harmônica de corrente, tornando um fator preocupante e necessário ações mitigadoras.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal desse trabalho foi avaliar a qualidade da energia elétrica em uma instituição de ensino antes e após a implantação de um sistema de geração fotovoltaico. As análises realizadas tiveram como intuito verificar as conformidades da instalação elétrica com os limites estabelecidos pelas normas vigentes.

Diante dos resultados obtidos observou-se que na primeira campanha de medição os fenômenos da qualidade do produto em análise mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST e a Norma IEEE 519 – 2014. Avaliando os resultados da segunda campanha, observou-se considerável contribuição de distorções harmônicas de corrente, isso proveniente da implantação do sistema fotovoltaico em conjunto com as cargas existentes. Desta forma, é recomendada à instalação de filtros, evitando que correntes harmônicas penetrem em determinadas partes do sistema elétrico.

Por fim, entende-se que realizar monitoramento pertinente a qualidade da energia elétrica, permite identificar a causa e propor solução para mitigar possíveis danos causados nas instalações elétricas do local em estudo.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST- **Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**, 2018, Revisão 10. Resolução Normativa nº 794/2017.
- BARBOSA, L. H. A.; FERREIRA, A. R.; SANTOS, I. N.; TAVARES, J. J. C. **Análise das distorções harmônicas da conexão de um complexo eólico nas proximidades de um Sistema HVDV**. In: Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica – XIV CBQEE, 2021, Foz do Iguaçu.
- BARROS, B; BORELLI, R; GEDRA, R. **Gerenciamento de Energia: Ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica**. 2ª Ed. São Paulo: Editora Érica, 2016. 177p.
- DUGAN, R.C.; MCGRANAGHAN, M.F.; SANTOSO, S.; BEATY, H.W. **Electrical Power Systems Quality**. 2ª edição, EUA: Editora McGraw-Hill, 2004.
- FURTADO, B. C.; MARTINS, A. M.; DOMINGOS, J. L.; ALVES, A. J. **Análise da qualidade de energia elétrica no IFG - Campus Goiânia, a partir de retrofit de iluminação**. In: Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica – XIV CBQEE, 2021, Foz do Iguaçu.
- IEEE Std. 519 – **Recommend Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems**, 2014.
- INDRA, N; ISMAIL, D.; SYAFRUDIN, M.; CHAN B. R.; SURYA, H. **Harmonic Monitoring at UniMAP Distributed Campus**. In: The 5th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO2011), Shah Alam, Selangor, Malaysia : 6-7 June 2011.
- IRFAN, I. M.; KOMAL, S. D.; SUCHITRA, V. I.; SNEHA, N. N.; ISAK, I. M. **Power Quality Audit of NKOCET-A Case Study**. In: IEEE International Conference on Energy Systems and Applications (ICESA 2015), Pune, India 30 Oct - 01 Nov, 2015.
- LEÃO, R. P. S.; SAMPAIO, R. F.; ANTUNES, F. L. M. **Harmônicos em sistemas elétricos**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- TEIXEIRA, M.D.; BLOCK, P.A.B; RETORTA, F.S.; DONADON, A. R.; CAMARGO, J.C.; RONCOLATTO, R. A.; SALAMANCA, H.L.L. **Análise da Qualidade de Energia de um Sistema Fotovoltaico em Larga Escala**. In: XXII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica – SENDI, 2016, Curitiba, Brasil, p. 1-11.
- VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações - Sistemas isolados e conectados à rede**. 1ª. ed. São Paulo: Érica, 2012.
- WANG, Y.; YAZDANPANAHI, H.; XU, W. **Harmonic impact of LED lamps and PV panels**. In: Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE), IEEE 26º, 2013, Canadá. Regina, SK: IEEE Canadá, 2013. p.1-4.