

## Proposta para Cálculo de Indicadores Globais de Sub-harmônicos e Inter-harmônicos

Luiz Américo Rico de Sousa\*. Paulo Márcio da Silveira\*.  
Carlos Augusto Duque\*\*.

\*QMAP – Qualidade da Energia e Proteção Elétrica, Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá, MG, Brasil (e-mails: [luzrico@hotmail.com](mailto:luzrico@hotmail.com), [pmsilveira@unifei.edu.br](mailto:pmsilveira@unifei.edu.br)).

\*\*PPEE – Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, MG, Brasil (e-mail: [carlos.duque@uff.edu.br](mailto:carlos.duque@uff.edu.br))

---

**Abstract:** Currently, power systems are presenting an increasing number of non-linear loads such as: power inverters, arc furnaces and others. These loads are sources of sub-harmonics and interharmonics. Interharmonics represent electrical components that are not synchronized with the fundamental frequency of the electrical system; due to this fact, there is a greater difficulty in the correct estimation of the amplitude. Subharmonics can be defined as frequency components in voltage and current signals that have a frequency lower than the fundamental frequency of the power system. This paper presents a methodology for measuring subharmonics and interharmonics in electrical distribution systems, calculating the RMS value for subharmonics and interharmonics with group and subgroup grouping and their respective global indicators.

**Resumo:** Atualmente os sistemas de energia estão apresentando um número crescente de cargas não lineares como: inversores de potência, fornos a arco, cargas chaveadas, etc. Essas cargas são fontes geradoras de sub-harmônicos e inter-harmônicos. Inter-harmônicos representam componentes elétricos que não são sincronizados com a frequência fundamental do sistema elétrico; devido a esse fato, existe uma maior dificuldade na correta estimação de sua amplitude. Sub-harmônicos podem ser definidos como componentes de frequência em sinais de tensão e corrente que tem a frequência inferior à frequência fundamental do sistema de energia. Este artigo tem como objetivo apresentar uma opção para medição de sub-harmônicos e inter-harmônicos em sistemas elétricos de distribuição, o cálculo do valor R.M.S. para os sub-harmônicos e inter-harmônicos com agrupamento de grupo e subgrupo e seus respectivos indicadores globais.

**Keywords:** Subharmonics; Interharmonics; FFT; Photovoltaic Generation; group and subgroup grouping.

**Palavras-chaves:** Sub-harmônicos; Inter-harmônicos; FFT; Geradores Fotovoltaicos; agrupamento de grupo e sub-grupo.

---

### 1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento da utilização da micro e mini geração distribuídas e de cargas não lineares, tem-se levantado a necessidade de avaliar novas metodologias para a medição das emissões sub-harmônicas e inter-harmônicas.

Redes de distribuição com elevado conteúdo harmônico tendem a gerar sérios problemas, tanto para os clientes consumidores de energia quanto para as concessionárias. Problemas tais como: perdas nas linhas de transmissão e distribuição, mau funcionamento dos equipamentos de proteção das linhas de distribuição, sobreaquecimento nos motores elétricos, erros na medição de energia dos consumidores, são devidos ao elevado nível de distorção do sinal (Costa et al., 2007).

Portanto, a correta estimação dos sub-harmônicos e inter-harmônicos é o primeiro passo para que ações de mitigação possam ser tomadas para eliminar ou amenizar os problemas causados nas redes de distribuição e, conseqüentemente, nos equipamentos que sofrem com tais fenômenos.

Diferentes técnicas têm sido desenvolvidas e testadas nos últimos anos para a estimação das componentes espectrais das redes de distribuição de energia. Técnicas baseadas em processamento de sinais incluem: Fast Fourier Transformer (George, 1991), filtros de Kalman (Machado et al., 2008), Phase-Locked Loop (Ghartemani et al., 2005), Redes Neurais (Kanegae, 2011), dentre outros. Os problemas associados a estas técnicas compreendem complexidade computacional, atraso de estimação e desempenho quando os parâmetros do sinal variam com o tempo.

Nesse cenário, alguns trabalhos seguem as recomendações dos padrões atuais descritos na IEC 61000-4-7 (Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto) (2002) e IEC 61000-4-30 (Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods) (2015), que estabelecem a metodologia para medição dos harmônicos e inter-harmônicos.

Alguns problemas podem ocorrer quando no sinal que está sendo medido contém componentes espectrais de inter-harmônicos ou sub-harmônicos, ou se a frequência da componente fundamental sofre algum tipo de variação e a taxa de amostragem deixa de ser uma múltipla inteira desta frequência.

Neste âmbito, o trabalho propõe analisar e comparar de forma teórica e através de uma aplicação a influência da aplicação dos algoritmos de grupo e sub-grupo e os resultados obtidos para os indicadores globais TID (Total Interharmonics Distortion) e TSHD (Total Subharmonic Distortion) obtidos na medição de um gerador fotovoltaico conectado à rede de distribuição.

## 2. DEFINIÇÕES

A IEC 61000-4-7 e IEC 61000-4-30, estabelecem a metodologia para medição dos harmônicos e inter-harmônicos utilizando a Transformada Discreta de Fourier com uma janela de tempo retangular de 10 ciclos para 50 Hz e 12 ciclos de 60 Hz, para ambos os casos os bins de saída da FFT (Fast Fourier Transformer) tem uma resolução de 5Hz.

Porém, um problema com o uso da FFT ocorre quando no sinal que está sendo medido contém componentes espectrais de sub-harmônicos ou inter-harmônicos, ou se a frequência da componente fundamental sofre algum tipo de variação e a taxa de amostragem deixa de ser uma múltipla inteira desta frequência. Isto faz com que o processo de amostragem seja assíncrono e, como consequência acontece um fenômeno denominado espalhamento espectral que faz a energia dos componentes se espalhar ao longo do espectro de frequência.

Em função do espalhamento espectral ocasionado devido às frequências não harmônicas ou falta de sincronismo no processo de amostragem com a utilização da FFT, a IEC 61000-4-7 desenvolveu o método de grupos e subgrupos para os harmônicos e inter-harmônicos, fazendo com que as energias das componentes espectrais sejam agrupadas. Em relação aos sub-harmônicos, as normas IECs não estabelecem nenhum padrão para os agrupamentos de grupo ou sub-grupo.

Os bins de saída da FFT com resolução de 5Hz, são agrupados para calcular os valores R.M.S. dos grupos e subgrupos dos sub-harmônicos e inter-harmônicos.

### 2.1 Sub-harmônicos

Os sub-harmônicos podem ser definidos como componentes espectrais nas formas de onda de tensão e corrente com

frequências menores do que a frequência fundamental do sistema elétrico de potência.

A norma IEC 61000-4-7 e outras normas de qualidade da energia elétrica definem métodos para medição de harmônicos e inter-harmônicos em sistemas elétricos de potência, porém nenhuma norma define oficialmente o conceito ou um método padrão para a medição dos sub-harmônicos.

O cálculo da magnitude do sub-harmônico é definido como a raiz quadrada da soma ao quadrado dos valores R.M.S. dos componentes espectrais menores que a frequência fundamental, como é mostrado na Equação (1) e na Figura 1.

$$G_{subg,h}^2 = \sum_{i=1}^n C_{kh+i}^2 \quad (1)$$

Onde:

- $C_{kh}$  é o valor R.M.S. da componente espectral correspondente ao um bin de saída da FFT;
- $n$  é igual a 9 para sistemas de potência de 50Hz e igual a 11 em sistemas de potência de 60Hz;
- $G_{subg}$  é o valor R.M.S. resultante do sub-harmônico de grupo.

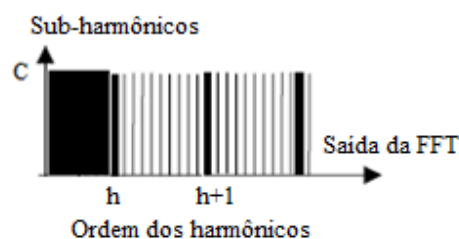


Fig.1. Definição dos Sub-harmônicos de grupo

### 2.2 Inter-harmônicos

Inter-harmônicos são tensões ou correntes com uma frequência que não seja um múltiplo inteiro da frequência fundamental do sistema de distribuição. Portanto, pode-se definir que as frequências inter-harmônicas são os conteúdos espectrais dispostos entre as frequências harmônicas. Segundo Macedo [9], atualmente o fenômeno da cintilação luminosa pode ser considerado um dos principais impactos decorrentes da presença de inter-harmônicas de tensão nas redes de distribuição.

Conforme supracitado, em função do espalhamento espectral ocasionado devido às frequências não harmônicas ou falta de sincronismo no processo de amostragem com a utilização da FFT, a IEC 61000-4-7 (IEC, 2002) desenvolveu o método de grupos e subgrupos de harmônicos e inter-harmônicos, fazendo com que as energias das componentes espectrais não harmônicas sejam somadas aos harmônicos.

Em relação aos inter-harmônicos, ressalta-se que a IEC 61000-4-7 não traz nenhuma definição em relação a um indicador global; é definida apenas a metodologia para agrupamento de grupo e subgrupo. Yang (2015), em seu trabalho avaliando a emissão de componentes espectrais em fontes eólicas, sugere a adoção de um índice de Distorção Inter-harmônica Total.

Na Figura 2 é apresentado o conceito que define a amplitude dos diversos subgrupos para inter-harmônicos.

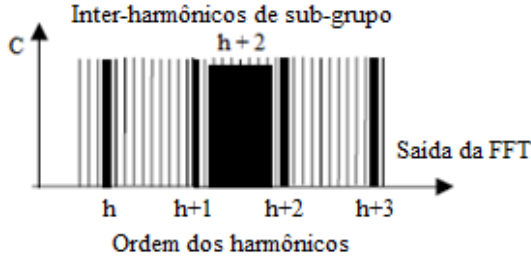


Fig.2. Definição dos Inter-harmônicos de sub-grupo (IEC 61000-4-7)

Na Figura 3 é apresentado o conceito que define a amplitude dos diversos grupos para inter-harmônicos.

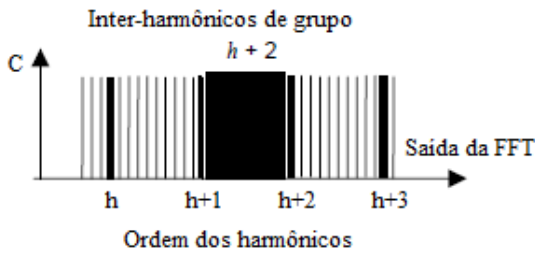


Fig.3. Definição dos Inter-harmônicos de grupo (IEC 61000-4-7)

O cálculo da magnitude do inter-harmônico de sub-grupo é definido como a raiz quadrada da soma ao quadrado dos valores R.M.S. dos componentes espectrais, conforme mostrado na Equação (2).

$$G_{isg12,h}^2 = \sum_{i=2}^n C_{kh+i}^2 \quad (2)$$

Onde:

- $C_{kh}$  é o valor R.M.S. da componente espectral correspondente ao um bin de saída da FFT;
- $n$  é igual a 8 para sistemas de potência de 50Hz e igual a 10 em sistemas de potência de 60Hz;
- $G_{isg}$  é o valor R.M.S. resultante do inter-harmônico de subgrupo.

Da mesma forma, o cálculo da magnitude do inter-harmônico de grupo é definido como a raiz quadrada da soma ao quadrado

dos valores R.M.S. dos componentes espectrais, conforme mostrado na Equação 3.

$$G_{ig12,h}^2 = \sum_{i=1}^n C_{kh+i}^2 \quad (3)$$

Onde:

- $C_{kh}$  é o valor R.M.S. da componente espectral correspondente ao um bin de saída da FFT;
- $n$  é igual a 9 para sistemas de potência de 50Hz e igual a 11 em sistemas de potência de 60Hz;
- $G_{ig}$  é o valor R.M.S. resultante do inter-harmônico de grupo.

### 2.3 Indicadores Globais

A fim de ter uma representação exata das distorções sub-harmônicas e inter-harmônicas contidas nos sinais, foi proposto neste artigo criar indicadores globais para os sub-harmônicos e inter-harmônicos, TID (Total Interharmonics Distortion) e TSHD (Total Subharmonic Distortion).

Os indicadores globais são a proporção da soma dos valores R.M.S. dos sub-harmônicos ou inter-harmônicos ( $G_{,h}$ ) em relação ao valor R.M.S. do valor da componente fundamental ( $G_{,1}$ ).

O indicador global TSHD (Total Subharmonic Distortion) para os sub-harmônicos é calculado utilizando-se a Equação (4).

$$TSHD = \sqrt{\sum_{h=2}^{I_{max}} \left( \frac{G_{subg,h}}{G_{g,1}} \right)^2} \quad (4)$$

Onde:

- $G_{subg}$  é o valor R.M.S. resultante do sub-harmônico de grupo;
- $G_g$  é a amplitude da componente fundamental.

O indicador global TID (Total Interharmonics Distortion) para os inter-harmônicos é calculado utilizando-se a equação (5).

$$TID = \sqrt{\sum_{h=2}^{I_{max}} \left( \frac{G_{isg,h}}{G_{sg,1}} \right)^2} \quad (5)$$

Onde:

- $G_{isg}$  é o valor R.M.S. resultante dos inter-harmônicos de grupo ou sub-grupo;
- $G_{sg}$  é a amplitude da componente fundamental.

### 3. METODOLOGIA

Neste tópicos serão abordados os equipamentos e metodologia utilizada na realização deste trabalho.

### 3.1 Sistema de Medição

Para realização dos cálculos e comparação das metodologias propostas, foi desenvolvido um analisador de qualidade da energia virtual utilizando o MATLAB R2014a, nesse analisador virtual foram implementados os protocolos de agrupamento das IECs, os protocolos de medição dos sub-harmônicos, inter-harmônicos e dos indicadores globais TSHD e TID.

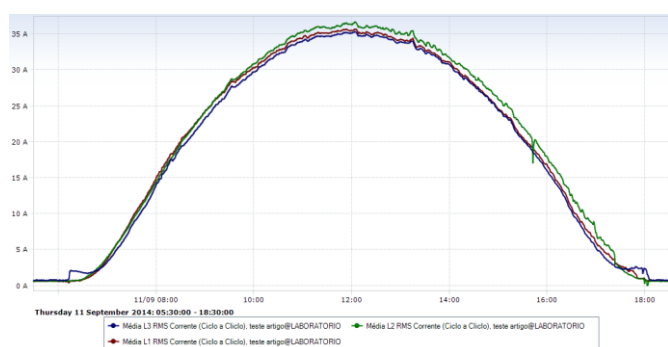
Para medição dos sinais reais do gerador fotovoltaico, foi utilizado o medidor de qualidade da Energia Elétrica G4500 BLACKBOX que é um analisador classe A que atende aos requisitos das normas IEC 61000-4-30 e IEC 61000-4-7. Tem precisão de 0,1%, registra os sinais com resolução de até 1.024 amostras por ciclo e tem certificação internacional referente à implementação dos protocolos da IEC 61000-4-30 pelo laboratório Power Standards Lab (PSL, 2019).

Após as medições os sinais foram exportados do G4500 BLACKBOX e utilizados no analisador virtual desenvolvido no software no MATLAB.

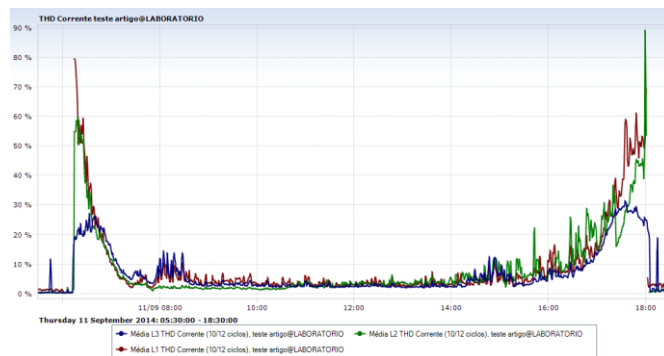
### 3.2 Resultados Experimentais

Esta seção apresenta parte dos resultados obtidos do monitoramento de um dia do gerador fotovoltaico e dos indicadores globais para os sub-harmônicos e inter-harmônicos no sistema de distribuição de energia.

A Figura 4 (a) mostra o comportamento da corrente de carga e a Figura 4 (b) mostra a da Distorção Harmônica Total (THD) de um período de um dia de medição de um microgerador fotovoltaico.



a)



b)

Fig.4. a) Comportamento da corrente TIDS: b) Comportamento do THD

O THD e a variação na amplitude da corrente mostram um comportamento típico no decorrer do dia, os quais podem ter uma variação mais significativa no decorrer do dia, pois depende de vários fatores, como por exemplo, o acesso de cargas à rede de distribuição ou ainda a variação da radiação solar. O valor máximo de THD é observado ao final da tarde quando o gerador fotovoltaico fornece menor corrente para a carga.

Para apresentação dos métodos propostos utilizou-se a janela de tempo retangular de 12 ciclos para amostragem de um período do sinal de teste, os indicadores globais THD, TID e TSHD foram calculados para que fosse possível fazer a comparação dos resultados obtidos.

Como exemplo, na Figura 5 pode-se observar um período de 12 ciclos do sinal de corrente do microgerador fotovoltaico, nota-se que o sinal tem um comportamento não temporal, tem altos níveis de distorção harmônica e modulação de baixa frequência.

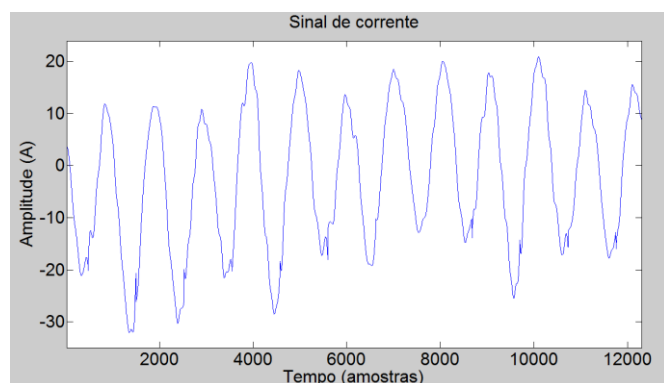


Fig.5. Sinal de corrente do gerador fotovoltaico

Aplicando-se a FFT no sinal, pode-se ver no espectro de frequência na Figura 6, que a distorção tem um grande conteúdo de frequências sub-harmônicas e inter-harmônicas.

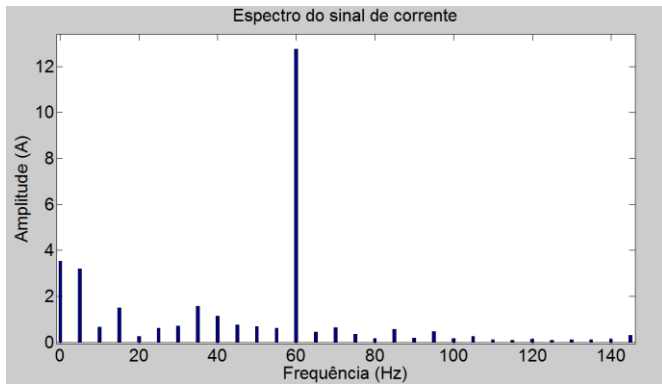


Fig.6. Espectro de frequência

Após a FFT, aplicou-se o agrupamento de grupo para o cálculo do indicador global THD, a Tabela 1 apresenta os valores mínimos e máximos encontrados no período analisado do sinal de corrente.

Tabela 1. THD com agrupamento de grupo

	Valor mínimo	Valor máximo
THDG	8,52%	11,18%

Na Figura 7 apresenta-se o comportamento no tempo do indicador global THD com agrupamento de grupo.

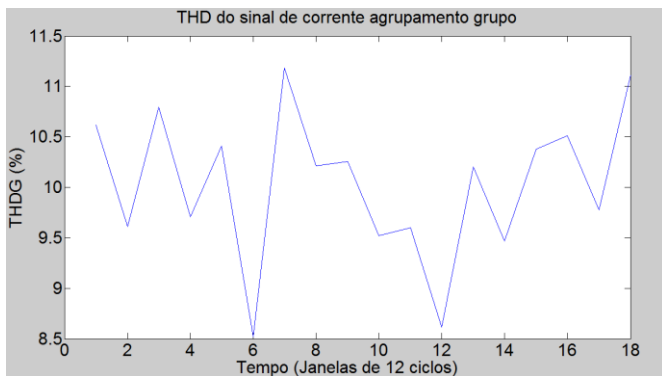


Fig.7. Indicador global THD com agrupamento de grupo

Para o mesmo sinal, utilizando-se a Equação (1) foi aplicado o cálculo de magnitude do sub-harmônico com agrupamento de grupo ( $G_{subg}$ ), na Figura 8 nota-se que o valor R.M.S. apresenta uma variação significativa na amplitude.

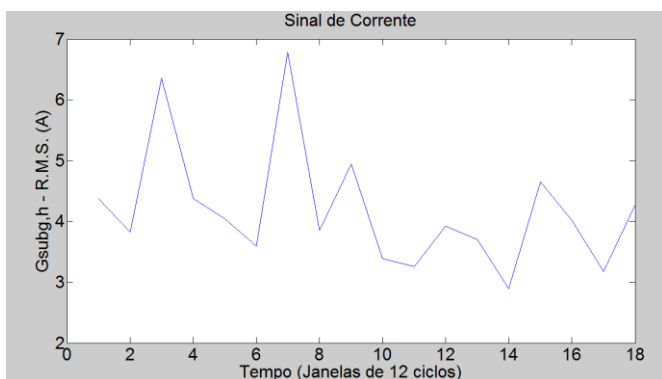


Fig.8. Valor R.M.S. do sub-harmônico de grupo

O valor R.M.S. de corrente do sub-harmônico de grupo foi obtido utilizando-se as amplitudes de corrente entre as frequências de 5Hz a 55Hz, na Tabela 2 apresenta-se os valores mínimos e máximos encontrados.

Tabela 2. Valor R.M.S. dos sub-harmônicos

	Valor mínimo	Valor máximo
Corrente	2,89A	6,78A

Após o cálculo de magnitude de corrente do sub-harmônico, aplicou-se a Equação (4) para obter o Indicador Global TSHD. Como pode ser visto na Figura 9 o sinal analisado é composto por elevado conteúdo sub-harmônicas e ocorreu uma grande variação na amplitude deste indicador global durante o período analisado.

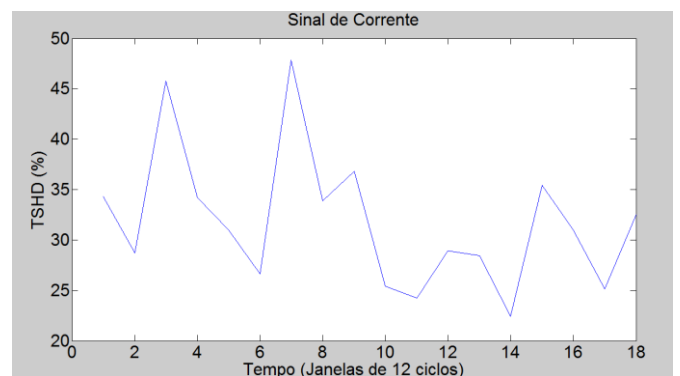


Fig.9. Indicador Global TSHD

Na Tabela 3 apresenta-se os valores mínimo e máximo para o Indicador Global TSHD, no período de medição nota-se que ocorreu uma variação de 25,44%.

Tabela 3. TSHD com agrupamento de grupo

	Valor mínimo	Valor máximo
TSHD	22,42%	47,86%

Da mesma forma, aplicou-se a Equação (2) para o cálculo da magnitude dos inter-harmônicos com agrupamento de sub-grupo ( $G_{sig,h}$ ) e a Equação (3) para o cálculo da magnitude dos inter-harmônicos com agrupamento de grupo ( $G_{ig,h}$ ).

A Figura 10 apresenta os valores R.M.S. da corrente calculados para os inter-harmônico de sub-grupo ( $G_{sig,h}$ ).

Onde:

- $G_{sig,1}$ , representa o valor R.M.S. da corrente dos inter-harmônicos entre as frequências de 70Hz a 110Hz;
- $G_{sig,2}$ , representa o valor R.M.S. da corrente dos inter-harmônicos entre as frequências de 130Hz a 170Hz;
- $G_{sig,3}$ , representa o valor R.M.S. da corrente dos inter-harmônicos entre as frequências de 190Hz a 230Hz.

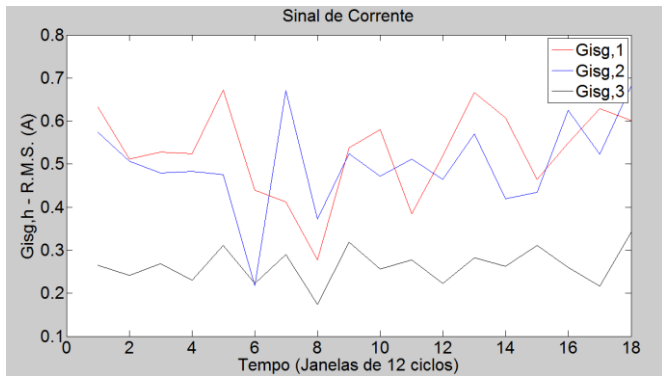


Fig.10. Valor R.M.S. do inter-harmônico de subgrupo

Na Tabela 4 apresenta-se os valores mínimo e máximo para o cálculo da magnitude da corrente dos inter-harmônicos com agrupamento de sub-grupo (Gisg,h).

Tabela 4. Valor R.M.S. dos inter-harmônicos de sub-grupo

	Valor mínimo	Valor máximo
Gisg,1 (70Hz a 110Hz)	0,28A	0,67A
Gisg,2 (130Hz a 170Hz)	0,22A	0,67A
Gisg,3 (190Hz a 230Hz)	0,17A	0,34A

A Figura 11 mostra os valores R.M.S. da corrente calculados para os inter-harmônicos de grupo (Gig,h).

Onde:

- Gig,1, representa o valor R.M.S. da corrente dos inter-harmônicos entre as frequências de 65Hz a 115Hz;
- Gig,2, representa o valor R.M.S. da corrente dos inter-harmônicos entre as frequências de 125Hz a 175Hz;
- Gig,3, representa o valor R.M.S. da corrente dos inter-harmônicos entre as frequências de 185Hz a 235Hz.

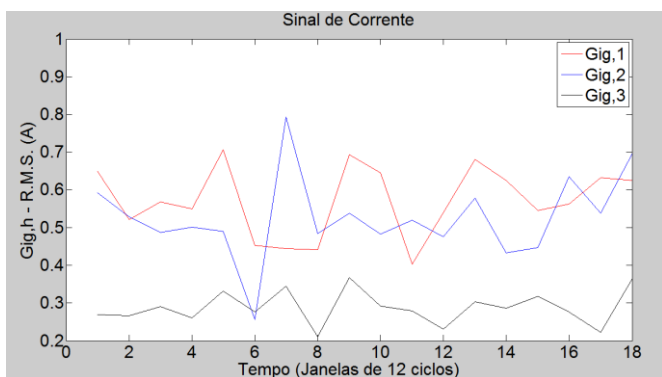


Fig.11. Valor R.M.S. do inter-harmônico de grupo

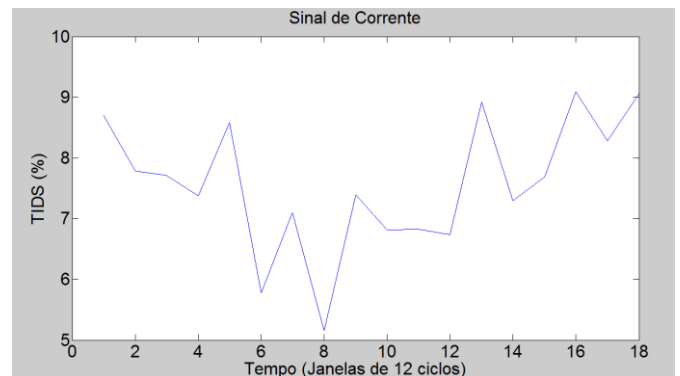
Na Tabela 5 apresenta-se os valores mínimo e máximo para o cálculo da magnitude da corrente dos inter-harmônicos com agrupamento de grupo (Gig,h).

Tabela 5. Valor R.M.S. dos inter-harmônicos de grupo

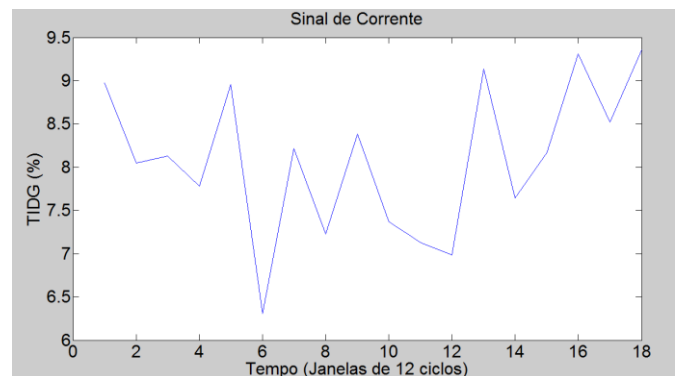
	Valor mínimo	Valor máximo
Gig,1 (65Hz a 11Hz)	0,40A	0,71A
Gig,2 (125Hz a 175Hz)	0,26A	0,79A
Gig,3 (185Hz a 235Hz)	0,21A	0,37A

Após o cálculo de magnitude de corrente dos inter-harmônicos com agrupamento de grupo e sub-grupo, aplicou-se a Equação (5) para obter o Indicador Global TID e TIDS.

Na Figura 12 apresenta-se o comportamento dos indicadores globais TIDS e TIDG no tempo, como pode ser visto os dois indicadores mostram um comportamento similar.



a)



b)

Fig.12.a) Indicador Global TIDS: b) Indicador Global TIDG

Na Tabela 6 apresenta-se os valores mínimo e máximo para os indicadores globais TIDS e TIDG.

Tabela 6. TIDS e TIDG

	Valor mínimo	Valor máximo
TIDS	5,16%	9,09%
TIDG	6,30%	9,36%

### 3.3 Comparação dos resultados

Na Tabela 7 apresenta-se os resultados obtidos para o cálculo de todos os indicadores globais propostos neste trabalho, avaliando os valores mínimos e máximos dos indicadores globais THD, pode-se notar que o sinal analisado apresenta grandes variações na amplitude e com elevado conteúdo inter-harmônico e que as frequências de maior amplitude são inferiores e não múltiplas da frequência fundamental.

Tabela 7. THD, TIDS, TIDG e TSHD

	Valor mínimo	Valor máximo
THDG	8,52%	11,18%
TIDS	5,16%	9,09%
TIDG	6,30%	9,36%
TSHD	22,42%	47,86%

### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho abordou a necessidade da evolução no desenvolvimento de novas técnicas e algoritmos para o cálculo dos indicadores de qualidade da energia elétrica relacionados às distorções harmônicas nos sinais de tensão e corrente no sistema elétrico de potência. Tais distorções são causadas pela integração da geração distribuída nos sistemas elétricos e pelo aumento de cargas não lineares e dispositivos eletrônicos que geram ou sofrem influência dos distúrbios.

Foi apresentada uma proposta de medição de indicadores globais para sub-harmônicos e inter-harmônicos, com agrupamento de grupo e subgrupo, utilizando-se os sinais de medição de uma instalação com gerador fotovoltaico.

Analisando os valores calculados dos indicadores globais, conclui-se que em sua grande maioria, as frequências contidas no sinal analisado não são múltiplas da frequência fundamental, neste caso, o cálculo do indicador global TID mostrou-se eficiente para indicar a amplitude das frequências inter-harmônicas, outra questão importante é que analisando apenas os valores do THD e do TID foi possível concluir que o sinal era composto, em sua grande maioria, por frequências não harmônicas.

Atualmente não existem definições para o cálculo dos sub-harmônicos pela IEC, o TSHD mostrou-se um importante indicador global para determinar se no sinal analisado contém frequências que são inferiores e não múltiplas da frequência fundamental, um dos principais efeitos das tensões sub-harmônicas é o Flicker ou flutuação de tensão, a utilização do cálculo do TSHD poderá ser uma ferramenta importante para determinação das redes de distribuição com flutuações no nível de tensão.

É importante ressaltar que a proposta do cálculo dos novos indicadores globais TID e TSHD em nada onera os analisadores de qualidade de energia atuais, pois os dados necessários para estes novos indicadores já são necessários para o cálculo atual do THD.

Por fim, este trabalho ressalta a importância da evolução das normas de qualidade de energia elétrica, uma vez que com o crescimento da geração distribuída e a instalação de cargas não lineares, os sistemas elétricos estão se tornando cada vez mais complexos.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UNIFEI, UFJF e Kron Medidores pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

### REFERÊNCIAS

- Costa, F. F., Cardoso A. J. M., Fernandes D. A. (2007). Harmonic analysis based on Kalman filtering and Prony's method, *Proc. Int. Conf. Power Engineering, Power Electrical Drives*.
- George T. A. (1991). Harmonic power flow determination using the Fast Fourier Transform, *IEEE Trans. on Power Delivery* 2(2).
- Ghartemani M. K., Iravani M. R. (2005). Measurement of harmonics/inter-harmonics of time-varying frequencies, *IEEE Trans. On Power Delivery* 20(1).
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION [IEC] (IEC 61000-4-7) Electromagnetic Compatibility – Part 4.7: Testing and Measurement Techniques – general guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation for power supply systems and equipment connected thereto. 2<sup>nd</sup> Edition (2002). IEC-CEI.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION [IEC] (IEC 61000-4-30) Electromagnetic Compatibility – Part 4.30: Testing and Measurement Techniques – Power quality measurement methods. 3<sup>rd</sup> Edition (2015) IEC-CEI.
- Kanegae, L. R. (2011). Estimação de Correntes Harmônicas por Redes Neurais Artificiais, *Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*.
- Machado, O. F., Silva, S. R., Aguirre, L. A. (2008). Uma abordagem prática sobre a estimação de harmônicos variantes no tempo utilizando estimadores recursivos, *XVII Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2008), Juiz de Fora (MG)*.
- Yang, K (2015). On Harmonic Emission, Propagation and Aggregation in Wind Power Plants, (*PhD Thesis*) *Electric Power Engineering - Department of Engineering Sciences and Mathematics, Lulea University of Technology, Skelleftea - Sweden*.