

## Análise do Impacto da Inserção de Geração Distribuída Fotovoltaica na Qualidade da Energia Elétrica

Eleandro Luis Marques da Silva \* Renata Mota Martins \*  
Gustavo Marchesan \* Ghendy Cardoso Junior \*  
Leonardo Audalio Ferreira do Nascimento \*\* Enoque Dutra Garcia \*\*\*

\* Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, RS, (e-mails: [eleandro.marques@gmail.com](mailto:eleandro.marques@gmail.com), [renata.martins@acad.ufsm.br](mailto:renata.martins@acad.ufsm.br), [gutomarchesan@gmail.com](mailto:gutomarchesan@gmail.com), [ghendy@ufsm.br](mailto:ghendy@ufsm.br)).

\*\* Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ (e-mail: [leonardoaudalio@ufrj.br](mailto:leonardoaudalio@ufrj.br))

\*\*\* Departamento de Engenharia de Energia, Universidade Federal do Pampa, RS (e-mail: [enoquegarcia@unipampa.edu.br](mailto:enoquegarcia@unipampa.edu.br))

---

### Abstract:

The high insertion of Distributed Generation (DG) in the distribution networks can cause overvoltage in the feeders, in the low load condition and when there is high energy production by the Photovoltaic (PV) plants. Thus, resulting in the transgression of the voltage limits imposed by the regulatory agency. Other effect in energy quality are the harmonic distortions caused by frequency inverter. The objective of this paper is to present a case study in a low voltage system where there are photovoltaic plants of the self-consumption type remote, in order to verify the energy quality levels at the connection point. 1008 measurements were made in a period of seven days, where voltage and harmonics data were collected. It was found that in terms of the quality of voltage, there were transgressions in the periods of high generation, where the maximum voltage in the reading was 1.08 pu. There were no harmonic voltage violations according to the standard values. On the other hand, it was verified levels of current harmonics.

**Resumo:** A alta inserção de Geração Distribuída (GD) nas redes de distribuição pode causar sobretensão nos alimentadores, na condição de baixo carregamento e quando há a maior produção de energia pelas usinas Fotovoltaicas (FV), resultando na transgressão dos limites de tensão impostos pelo agente regulador. Outro problema de qualidade de energia elétrica a ser analisado são as distorções harmônicas geradas pelos inversores de frequência. O presente trabalho realizou um estudo de caso em uma rede de baixa tensão onde há usinas fotovoltaicas do tipo autoconsumo remoto, com o objetivo de verificar os níveis de qualidade da energia elétrica, no ponto de conexão. Foram feitas 1008 medições em um período de sete dias, onde foram coletados dados de tensão e harmônicas. Constatou-se que em se tratando da qualidade de tensão, houveram transgressões nos períodos de maior geração, onde a tensão máxima na leitura foi de 1,08 pu. Com relação as distorções harmônicas na tensão não foi verificada violação de acordo com os índices da norma. No entanto, verificou-se níveis de harmônicas de corrente elevados, principalmente nos momentos de baixa geração do sistema fotovoltaico.

*Keywords:* Distributed generation; Power Quality; Distribution System; Overvoltage; Harmonics.

*Palavras-chaves:* Geração Distribuída; Qualidade de Energia; Sistema de Distribuição; Sobretensão; Harmônicas.

---

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o desenvolvimento tecnológico nas últimas décadas ocasionou um aumento da demanda por energia elétrica em todo o mundo, consequentemente promoveu a difusão das fontes de energia renováveis. Neste âmbito, surgiram as fontes de energia descentralizadas ou distribuídas, caracterizadas por estarem junto ou próximas ao consumidor, utilizando recursos renováveis (fonte hídrica, solar, eólica) ou não renováveis (termelétricas) (Goldemberg and Lucon, 2007).

A Geração Distribuída (GD)<sup>1</sup> representa uma parcela de contribuição significativa do mercado de energia atual e tem crescido de forma exponencial (Fiuza et al., 2022). No Brasil, este crescimento se deu principalmente após a Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº 482 de 2012, e sua revisão de 2015 (a Resolução 687) que define o sistema de compensação de energia elétrica para unidades consumidoras e as condições de acesso das GDs no sistema de distribuição (ANEEL, 2021).

Pesquisas apontam que o crescimento da GD no mundo é favorável para o setor elétrico, e traz inúmeros benefícios, tais como: redução das perdas de energia nas linhas de transmissão e distribuição, alívio de sobrecarga do sistema, atendimento a clientes isolados e de difícil acesso, e aumento da confiabilidade do sistema. Entretanto, devido a introdução destes novos meios de geração, surgem também preocupações com a qualidade da energia elétrica, proteção do sistema e perfil da tensão da rede (Sousa et al., 2020).

Estudos mostram que a alta penetração de GD na rede pode causar problemas, tais como: sobretensões, flutuação, afundamento e desequilíbrio de tensão, e distorções harmônicas (Sousa et al., 2020; Junior et al., 2020).

O presente artigo tem por objeto realizar a análise da qualidade da energia em um ponto de uma rede de distribuição onde há GDs de autoconsumo instaladas. Foram feitas 1008 medições em um período de sete dias, onde foram coletados dados de tensão e harmônicas. O trabalho está organizado da seguinte forma: no capítulo 2 são apresentados os aspectos normativos sobre os limites de tensão impostos pelo agente regulador, bem como os indicadores de harmônicos na tensão. No capítulo 3 é mostrado como o fluxo de potência se dá na presença da GD e o impacto no perfil da tensão. No capítulo 4 são apresentados alguns conceitos sobre componentes harmônicas. No capítulo 5 tem-se o estudo de caso, e no 6 as conclusões.

## 2. ASPECTO NORMATIVO

### 2.1 Procedimentos de Distribuição

A qualidade de energia elétrica é a condição do sinal elétrico de tensão e corrente que permite que equipamentos,

\* O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES/PROEX) - Código de Financiamento 001.

<sup>1</sup> O termo "Geração Distribuída" refere-se as centrais geradoras de energia elétrica conectadas diretamente ao sistema elétrico de distribuição, ou por meio de instalações de consumidores. Podendo operar de maneira isolada, em paralelo e despachadas - ou não - pelo ONS (ANEEL, 2018a).

processos e instalações elétricas operem de forma satisfatória. Os Procedimentos de Distribuição (PRODIST), são um conjunto de normativas que visam a regulamentação dos processos na distribuição. O módulo 8 do PRODIST tem como objetivo normatizar a qualidade do serviço e do produto.

### 2.2 Indicadores de Qualidade de Tensão

O PRODIST módulo 8 estabelece os limites adequados, precários e críticos para os níveis de tensão em regime permanente, os indicadores de conformidade de tensão elétrica, assim como os critérios de medição e compensação<sup>2</sup>. Define como adequadas as tensões no ponto de conexão que possuem uma variação de até  $\pm 5\%$  para sistemas com tensão nominal acima de 69 kV. Para sistemas entre 1 kV e 69 kV a tensão pode estar entre 0,93 e 1,05 pu. Para sistemas de baixa tensão (BT - com tensão nominal menor que 1 kV), os níveis adequados, precários e críticos, para um sistema de 380/220 V podem ser vistos na tabela 1 (ANEEL, 2018b).

Tabela 1. Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL).

Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (380/220 V)	
Tensão de Atendimento	Faixa de Variação da Tensão (V)
Adequada	$350 \leq TL \leq 399 / 202 \leq TL \leq 231$
Precária	$331 \leq TL < 350$ ou $399 < TL \leq 403$
Crítica	$191 \leq TL < 202$ ou $231 < TL \leq 233$
	$TL < 331$ ou $TL > 403$
	$TL < 191$ ou $TL > 233$

### 2.3 Indicadores de Tensão Precária e Crítica

As tensões nos pontos de conexão com a rede de distribuição devem estar em conformidade com os limites impostos pelo PRODIST módulo 8, e devem ser avaliadas de acordo com um conjunto de leituras. Este conjunto deve compreender 1008 leituras válidas obtidas em intervalos de dez minutos consecutivos. Com estas leituras obtêm-se os indicadores de duração relativa de transgressão para tensão precária (DRP) e para tensão crítica (DRC), e são calculadas de acordo com 1 e 2.

$$DRP = \frac{nlp}{1008} 100\%, \quad (1)$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} 100\%, \quad (2)$$

onde nlp e nlc são o maior valor entre as fases do número de leituras precárias e críticas, respectivamente.

A ANEEL calcula os indicadores coletivos conforme o DRP e DRC, com base nas medições individuais, e compensa os consumidores que estejam conectados no mesmo ponto de conexão, caso o DRP seja superior a 3% e o DRC a 0,5% (ANEEL, 2018b).

<sup>2</sup> O termo "conformidade de tensão elétrica" refere-se à comparação do valor de tensão obtido por medição apropriada, no ponto de conexão, em relação aos níveis de tensão especificados como adequados, precários e críticos.

## 2.4 Distorções Harmônicas

As distorções harmônicas são fenômenos associados a deformação nas formas de onda das tensões e correntes. Dentre os indicadores de distorções harmônicas normalizados pelo órgão regulador, tem-se ANEEL (2018b):

- $DTT\%$  - Distorção harmônica total de tensão;
- $DTT_p\%$  - 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 DTT3

## 3. FLUXO DE POTÊNCIA E OS IMPACTOS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NA TENSÃO

O sistema de distribuição é caracterizado pela baixa relação X/R (reatância/resistência) dos cabos dos alimentadores, o que influencia diretamente no perfil de tensão da rede onde a GD está inserida. A injeção de potência ativa P (kW) causa a elevação de tensão principalmente nas regiões próximas a GD (Junior et al., 2020; Luo and Shi, 2020).

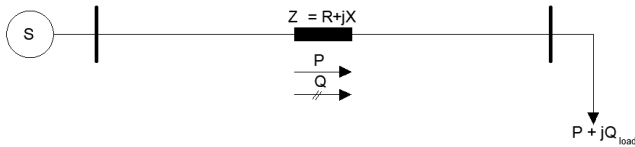


Figura 1. Rede com fluxo de potência unidirecional.

Na figura 1 tem-se pela LKT (Lei de Kirchhoff das Tensões) que:

$$-V_S + V_L + I(R + jX) = 0, \quad (3)$$

onde:

- $V_S$  - Fator de tensão na barra de geração.
- $V_L$  - Fator de tensão na barra de carga.
- $I$  - Corrente da linha.

A potência aparente complexa S na linha é:

$$S = P + jQ = V_S I^*, \quad (4)$$

e o fator de I:

$$I = \frac{P - jQ}{V_S^*}, \quad (5)$$

onde:

- $V_S^*$  - Conjugado da tensão.
- $I^*$  - Conjugado da corrente.

Por 3, 4 e 5, acha-se:

$$V_S = V_L + \left(\frac{P - jQ}{V_S^*}\right)(R + jX). \quad (6)$$

Fazendo  $\Delta V = V_S - V_L$ :

$$\Delta V = V_S - V_L = \frac{RP + XQ}{V_S^*} + j\left(\frac{XP - RQ}{V_S^*}\right). \quad (7)$$

Segundo Mahmud et al. (2011), se considerado que o ângulo entre as barras de geração e carga é muito pequeno, e tomando a barra de geração como referência ( $|V_S| = 1$ ), então pode-se assumir que:

$$\Delta V = V_S - V_L \approx RP + XQ. \quad (8)$$

A medida que  $\Delta V = 0$ :

$$\Delta Q \approx -\frac{R}{X} \Delta P. \quad (9)$$

Desta forma, entende-se que a variação de potência reativa interfere no perfil de tensão. E para um sistema de n barras, a variação de tensão entre as barras i e j ( $V_{ij}$ ) é (Mahmud et al., 2011; Chaudhary and Rizwan, 2018):

$$\Delta V_{ij} \approx \frac{R_{ij}P_{ij} + X_{ij}Q_{ij}}{V_i^*}. \quad (10)$$

Em um sistema convencional, o fluxo de potência é unidirecional (conforme figura 1), mas havendo um alto nível de penetração de geração FV, nos horários de maior irradiação solar, a produção de energia pode ser maior do que o consumo, resultando no fluxo de potência reverso, ou seja, da baixa para a média tensão (MT) (Holguin et al., 2020).

Na condição das cargas não absorverem toda a energia gerada pelas GDs, a rede deixa de ser passiva e passa a atuar como ativa, na condição de fluxo reverso de potência (figura 2), alterando os perfis de tensão do alimentador de distribuição (Teixeira et al., 2019; Luo and Shi, 2020).

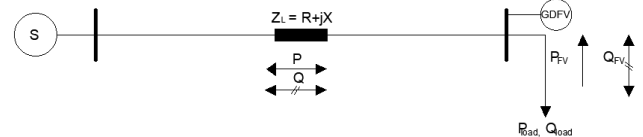


Figura 2. Rede com fluxo de potência bidirecional.

Neste cenário, torna-se:

$$\Delta V_{ji} \approx \frac{R_{ij}(P_{Gj} - P_{Lj}) + X_{ij}(\pm Q_{Gj} - Q_{Lj})}{V_j^*}, \quad (11)$$

onde  $P_G$  e  $Q_G$  são as potências ativa e reativa geradas pela GD, e  $P_L$  e  $Q_L$  são as consumidas

## 4. DISTÚRBIOS RELACIONADOS COM A QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

Comumente, o problema de qualidade de energia elétrica (QEE) é relacionado a forma de onda ou valor eficaz de tensão de alimentação dos circuitos. Assim, quase sempre a QEE é representada pela qualidade da tensão nos pontos de conexão das cargas com a rede (Ramos et al., 1997). A origem dos distúrbios normalmente está relacionada a eventos originados por cargas não lineares e pela atuação do próprio sistema de potência.

#### 4.1 Componentes Harmônicas

Harmônica é a componente senoidal de tensão ou corrente em que a frequência da componente analisada é múltipla inteira da frequência fundamental do sinal original, onde a ordem harmônica é o número de vezes em que a frequência da componente harmônica é múltipla inteira da frequência fundamental (Fortes, 2016). As distorções harmônicas são efeitos contínuos e não devem ser confundidos com fenômenos de curta duração, os quais duram apenas alguns ciclos (de Paula, 2005). Na figura 3 é mostrado a representação de um sinal fundamental e suas respectivas componentes harmônicas.

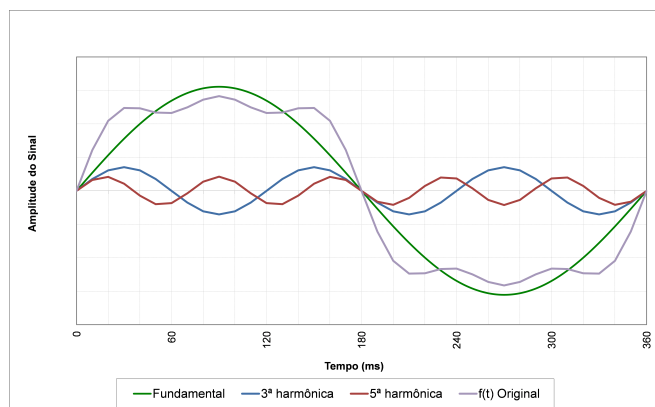


Figura 3. Representação de uma forma de onda em componentes harmônicas.

A característica não linear de alguns equipamentos é a causa principal da distorção harmônica. Esta não linearidade tende a causar uma distorção na corrente, e dependendo da impedância do circuito, por consequência a distorção na tensão elétrica. Quando uma carga não linear drena corrente do sistema, o fluxo passa por toda a impedância da rede elétrica, causando quedas de tensão proporcional a frequência contida na corrente. Contudo, quanto maior for o nível potência de curto-circuito no ponto de acoplamento comum (PAC), menor será a influência da corrente harmônica na forma de onda da tensão elétrica (Fortes, 2016).

Uma forma de onda não senoidal pode provocar efeitos indesejáveis ao sistema elétrico e nos equipamentos a ele ligados. As harmônicas de ordem elevada, ou seja, acima da ordem 5<sup>ª</sup>, normalmente não trazem prejuízos aos sistema de potência, entretanto as de menores ordem podem causar efeitos que vão desde disparos de dispositivos de proteção, aquecimento de motores, e geradores devido ao aumento da temperatura de operação em virtude do aumento de perdas nos enrolamentos e núcleo de transformadores e motores (Fortes, 2016).

### 5. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado com base em medições feitas em uma rede de baixa de tensão onde estão duas GDs de autoconsumo remoto, como mostra o diagrama unifilar do sistema da figura 4. As GDs estão localizadas na cidade de Taquari no Rio Grande do Sul, os dados das GDs são:

- GD1 - Possui 116 módulos fotovoltaicos com potência total de 51,62 kWp e inversor de 60 kVA, conectada na baixa tensão 380/220 V.
- GD2 - Possui 160 módulos fotovoltaicos com potência total de 71,2 kWp e inversor de 60 kVA, conectada na baixa tensão 380/220 V.

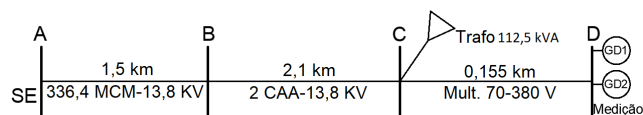


Figura 4. Unifilar do sistema.

A análise do sistema foi realizada pelo equipamento registrador de energia PowerNet PQ700 G4 da marca IMS, sendo o período de medição do dia 21/03/2022 às 17:00 horas ao dia 28/03/2022 às 16:00 horas, totalizando 1008 registros consecutivos em intervalos de 10 minutos.

#### 5.1 Análise de Tensão

Foram feitas as análises com base nos valores de tensões medidos. As figuras 5 e 8 mostram as tensões máximas e médias por fase no período, respectivamente. Para o cálculo de DRP e DRC foram considerados o maior valor medido entre as fases dentre as 1008 leituras. Os dados podem ser vistos na tabela 2 para os valores máximos, e na tabela 3 para os valores médios.

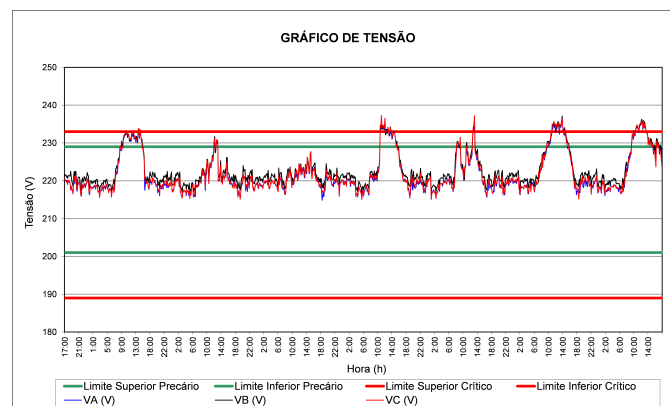


Figura 5. Tensões máximas medidas.

Tabela 2. Análise dos valores máximos de tensão.

Dados de Valores Máximos de Tensão			
Dados de Tensão	Fase A	Fase B	Fase C
Tensão Máxima (V)	236,9	237,1	237,3
Tensão Mínima (v)	214,9	215,8	215,1
DRP (%)	9,92	10,22	9,13
DRC (%)	5,26	6,15	6,25
Resumo			
Tensão Máxima	237,3 V	1,08 pu	
Tensão Mínima	214,9 V	0,98 pu	
DRP / DRC	10,22%/6,25%		

Apesar de não terem sido registradas subtensões que violem os limites inferiores para níveis adequados, houveram sobretensões nos horários onde há a maior produção de energia solar. Nota-se que apenas no terceiro dia de medição a tensão não transgrediu o limite superior adequado,

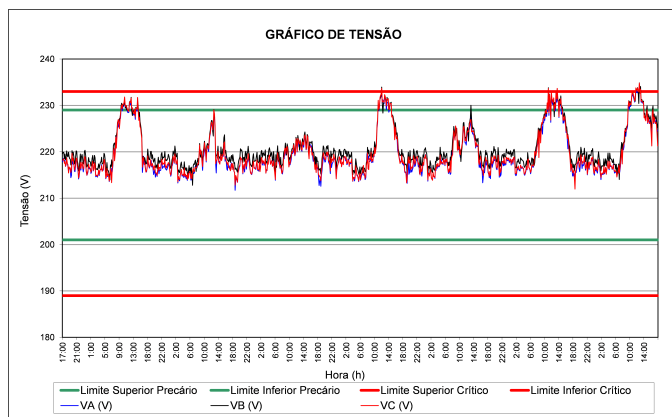


Figura 6. Tensões médias medidas.

Tabela 3. Análise dos valores médios de tensão.

Dados de Valores Médio de Tensão			
Dados de Tensão	Fase A	Fase B	Fase C
Tensão Máxima (V)	234,5	234,9	234,8
Tensão Mínima (v)	211,7	212,8	212
DRP (%)	7,74	8,73	8,73
DRC (%)	0,5	1,09	0,99
Resumo			
Tensão Máxima	234,9 V	1,07 pu	
Tensão Mínima	211,7 V	0,96 pu	
DRP / DRC	8,73%/1,09%		

e para os demais dias, as tensões estão precárias e críticas. Com base na tabela 3 pode-se ver que o valor de DRP é de 8,73% e ultrapassa o limite máximo de 3%, e o DRC é de 1,09% e ultrapassa o limite de 0,5% estabelecido pelo PRODIST módulo 8. Além do custo da compensação para os consumidores conectados no local da medição, as sobretensões causadas pela inserção das GDs pode ocasionar a falha dos equipamentos, que podem ter a sua vida útil reduzida quando submetidos a repetidas variações de tensão.

## 5.2 Análise de Harmônicas

Os resultados analisados constam na tabela 4. Em relação aos indicadores relativos as distorções de tensão total, total par e total ímpar não múltiplas de três, e as distorções múltiplas de três, em nenhuma das parcelas analisadas, foram encontradas violações relacionadas as distorções harmônicas de tensão, conforme os limites estabelecidos pelo PRODIST módulo 8, e mostrados na figura 7.

Tabela 4. Dados das distorções harmônicas.

Indicador	Valor	Va (%)	Vb (%)	Vc (%)
DTT %	Médio	2,55	2,62	2,48
	Máximo	3,81	4,32	3,52
DTT <sub>p</sub> %	Médio	0,11	0,1	0,09
	Máximo	0,68	0,59	0,59
DTT <sub>i</sub> %	Médio	2,52	2,6	2,47
	Máximo	3,57	3,95	3,41
DTT <sub>3</sub> %	Médio	0,37	0,25	0,23
	Máximo	1,49	1,67	1,58
Indicador	Limite (%)	Va (%)	Vb (%)	Vc (%)
DTT95%	10	3,18	3,25	3,11
DTT <sub>p</sub> 95%	2,5	0,22	0,27	0,15
DTT <sub>i</sub> 95%	7,5	3,14	3,21	3,1
DTT <sub>3</sub> 95%	6,5	0,72	0,77	0,32

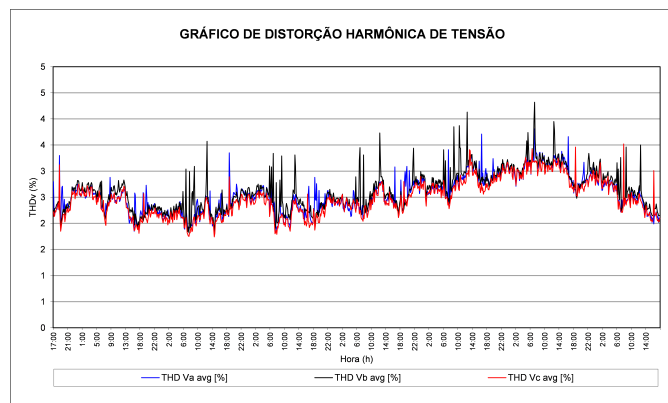


Figura 7. Distorção harmônica nas tensões.

Embora a resolução não traga referências sobre as distorções harmônicas de corrente, pode-se verificar pelas medições que nos períodos de grande variação de irradiância solar, os níveis de harmônicas inseridas no sistema oriundos dos inversores são altos, conforme figura 8.

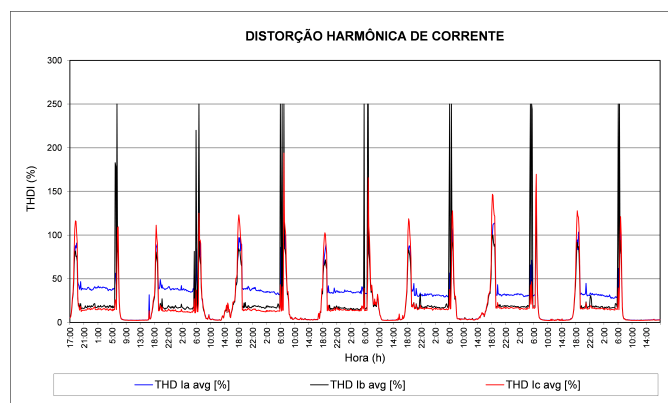


Figura 8. Distorção harmônica nas correntes.

## 6. CONCLUSÃO

As GDs podem influenciar na qualidade da energia, sobretudo nos níveis de tensão da rede ao qual estão conectadas. No presente estudo, verificou-se que a inserção de geração distribuída fotovoltaica pode ocasionar sobretensões no ponto de conexão, o que é prejudicial para os indicadores de qualidade de energia elétrica das distribuidoras, especialmente em relação as violações de DRP e DRC nos momentos de geração plena das GDs. Considerando ainda que o agente regulador normatiza apenas as harmônicas de tensão, não se percebeu violações neste sentido. No entanto, há de se realizar mais estudos relacionados com as distorções harmônicas de corrente, visto que, em determinadas condições de operação das usinas fotovoltaicas podem haver impactos significativos. Desta forma, o presente trabalho traz como contribuição, o estudo e validação de um caso real dos impactos da alta penetração de geração distribuída em um sistema de distribuição.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES/PROEX) - Código de Financiamento

001. Os autores agradecem a empresa CERTAJA Energia pela disponibilização do equipamento para a realização das medições de qualidade de energia.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL (2018a). *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST módulo 1*. Agência Nacional de Energia Elétrica. URL <https://bit.ly/3nj6VVp>. Acesso em: 20 ago. 2022.
- ANEEL (2018b). *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST módulo 8*. Agência Nacional de Energia Elétrica. URL <https://bit.ly/3nj6VVp>. Acesso em: 19 abr. 2021.
- ANEEL (2021). *Geração Distribuída*. Agência Nacional de Energia Elétrica. URL <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 18 abr. 2021.
- Chaudhary, P. and Rizwan, M. (2018). Voltage regulation mitigation techniques in distribution system with high pv penetration: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3279–3287. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.017>.
- de Paula, H. (2005). Uma nova metodologia para a determinação dos fenômenos de alta frequência em sistemas de acionamento de motores de indução através de inversores pwm. *Tese de doutorado*.
- Fiuza, E.L., Lotero, R.C., Pinheiro, B.C., and Ney, R.C. (2022). Identificação de fatores associados à geração distribuída que afetam os custos e benefícios de uma empresa de distribuição de energia elétrica. *Brazilian Journal of Development*, 8(6), 47761–47779.
- Fortes, R.R.A. (2016). Distorções harmônicas produzidas por inversores de geração distribuída fotovoltaica em condição de ressonância paralela.
- Goldemberg, J. and Lucon, O. (2007). Energias renováveis: um futuro sustentável. *Revista USP*, (72), 6–15.
- Holguin, J.P., Rodriguez, D.C., and Ramos, G. (2020). Reverse power flow (rpf) detection and impact on protection coordination of distribution systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 56(3), 2393–2401. doi:10.1109/TIA.2020.2969640.
- Junior, A.P.B., da Silva, K.F., Pimenta, C.O., and Barbosa, D. (2020). Estudo do impacto da inserção da geração fotovoltaica distribuída no perfil de tensão em um sistema de distribuição no brasil. *Anais da Sociedade Brasileira de Automática*, 2(1). doi:10.4801/asba.v2i1.1586.
- Luo, K. and Shi, W. (2020). Comparison of voltage control by inverters for improving the pv penetration in low voltage networks. *IEEE Access*, 8, 161488–161497. doi:10.1109/ACCESS.2020.3021079.
- Mahmud, M., Hossain, M., Pota, H., and Nasiruzzaman, A. (2011). Voltage control of distribution networks with distributed generation using reactive power compensation. In *IECON 2011-37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 985–990. Ieee.
- Ramos, Á.J., Bronzeado, H.S., and Lins, L.R. (1997). Proposta de procedimentos entre empresas de energia elétrica e seus consumidores visando a melhoria da qualidade da energia elétrica. *XIV SNPTEE, Belém*.
- Sousa, L.A., Rocha, R.V., Monaro, R.M., and de Sá, M.T. (2020). Análise de perdas técnicas em sistemas de distribuição com controle de potência reativa da geração distribuída. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE*, 1(1).
- Teixeira, L.G., Leite, L.H.M., Mafra, J., Boaventura, W.C., and Alessi, P.M. (2019). Análise dos impactos da difusão da geração distribuída fotovoltaica nas redes reais de baixa tensão considerando estratégias de controle do inversor. *Anais da Sociedade Brasileira de Automática*, 1(1).