

ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA COM A INSERÇÃO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA DE 62,7KWP NA UFERSA CAMPUS CARAÚBAS

Jardel Figueiredo da Silva (UFERSA) - jardelfigueiredo458@gmail.com

Thaís Milla Simão Araújo (UFERSA) - thais.araujo@ufersa.edu.br

Resumo:

O crescimento econômico e a qualidade de vida estão associados a quantidade de energia elétrica ofertada, de modo que, quanto maior o desenvolvimento de uma região maior será o consumo de energia elétrica. Em virtude disso, a busca por fontes de energias renováveis cresce gradualmente como forma de solucionar a dependência energética das fontes tradicionais de geração de energia. No entanto, ao utilizar energias renováveis deve-se levar em consideração também possíveis danos que a energia elétrica gerada pode causar na rede de distribuição. Nessa perspectiva, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece diretrizes sobre qualidade de energia que são apresentados no módulo 8 do Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Nacional (PRODIST). Sendo assim, este trabalho apresenta uma análise de vários parâmetros de qualidade de energia de um sistema fotovoltaico de microgeração distribuída e seu fornecimento de energia elétrica na rede de baixa tensão do bloco de aulas dois (2) da UFERSA Campus Caraúbas. São apresentadas a descrição da usina fotovoltaica, os procedimentos de medição dos dados de qualidade de energia elétrica, bem como a análise dos dados obtidos que indicaram que o sistema fotovoltaico influencia a rede de baixa tensão ao qual está conectado. A alteração mais relevante foi quanto a tensão que apresentou um aumento de até 1,6V quando a usina esteve ligada. O único parâmetro que apresentou discordância com as normas vigentes foi a Taxa de Distorção Harmônica Total de Corrente (THDI) do bloco de aulas dois (2), que apresentou valores acima do permitido nos períodos em que a usina esteve ligada e desligada.

Palavras-chave: *Qualidade de energia elétrica, Sistema fotovoltaico, PRODIST.*

Área temática: *Conversão Fotovoltaica*

Subárea temática: *Aspectos técnicos de sistemas fotovoltaicos instalados*

ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA COM A INSERÇÃO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA DE 62,7 kWp NA UFERSA CAMPUS CARAÚBAS

Jardel Figueiredo da Silva – jardelfigueiredo458@gmail.com

Thais Milla Simão Araújo – thais.araujo@ufersa.edu.br

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Departamento de Engenharia Elétrica

Resumo. *O crescimento econômico e a qualidade de vida estão associados a quantidade de energia elétrica ofertada, de modo que, quanto maior o desenvolvimento de uma região maior será o consumo de energia elétrica. Em virtude disso, a busca por fontes de energias renováveis cresce gradualmente como forma de solucionar a dependência energética das fontes tradicionais de geração de energia. No entanto, ao utilizar energias renováveis deve-se levar em consideração também possíveis distúrbios que a energia elétrica gerada pode causar na rede de distribuição. Nessa perspectiva, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece diretrizes sobre qualidade de energia que são apresentados no módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Nacional (PRODIST). Sendo assim, este trabalho apresenta uma análise de vários parâmetros de qualidade de energia de um sistema fotovoltaico de microgeração distribuída e seu fornecimento de energia elétrica na rede de baixa tensão do bloco de aulas dois (2) da UFERSA Campus Caraúbas. São apresentadas a descrição da usina fotovoltaica, os procedimentos de medição dos dados de qualidade de energia elétrica, bem como a análise dos dados obtidos que indicaram que o sistema fotovoltaico influencia a rede de baixa tensão ao qual está conectado. A alteração mais relevante foi quanto a tensão que apresentou um aumento de até 1,6 V quando a usina esteve ligada.*

Palavras-chave: *Qualidade de energia elétrica, Sistema fotovoltaico, PRODIST.*

1. INTRODUÇÃO

Na história da humanidade, a descoberta da energia elétrica foi um marco para o desenvolvimento da sociedade. Desde então, o crescimento econômico e a qualidade de vida estão associados a quantidade de energia elétrica ofertada, de modo que, quanto maior o desenvolvimento de uma região maior será o consumo de energia elétrica. Além do quesito quantidade, é preciso também gerar energia de qualidade. A qualidade de energia elétrica (QEE) representa o quão bem a energia elétrica é gerada e consumida baseada em diversos parâmetros que identificam possíveis anomalias prejudiciais à rede elétrica (Leão, 2009; González, 2011).

No âmbito da geração de energia, percebe-se que na última década houve uma grande expansão de usinas geradoras de energia elétrica por fontes renováveis, diversificando assim, a matriz energética do Brasil. A substituição de fontes não renováveis por fontes que produzem energia limpa acarreta muitos benefícios para o meio ambiente, visto que o impacto ambiental causado por tais fontes é notoriamente menor quando comparado as tradicionais fontes de geração de energia. Uma das fontes de energia renovável em ascensão é a energia solar fotovoltaica, que de acordo com os dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), no mês de setembro de 2019 a potência instalada centralizada alcançou 2.244 MW (EPE; MME, 2018; ONS, 2019).

O crescimento da energia solar fotovoltaica também foi impulsionado pela Resolução Normativa (RN) de nº482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, empregando, por exemplo, sistemas fotovoltaicos. De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), no ano de 2017 a potência instalada de micro e minigeração distribuída chegou a 174,5 MW, já no ano de 2019 a potência instalada atingiu a marca de 1493,5 MW, um crescimento de cerca de 855% em apenas 2 anos. Neste contexto, os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) caracterizados como geração distribuída, que são hoje os sistemas mais utilizados, devem seguir a RN citada. (EPE, 2018; ONS, 2019; ABSOLAR, 2019).

Com o aumento de SFCR surgem também questionamentos sobre os impactos da conexão desses sistemas na rede elétrica. A influência da inserção dos SFCR pode causar problemas para as concessionárias e clientes, provenientes de distúrbios na rede, principalmente quando os parâmetros associados a QEE estão fora do estabelecido pelo Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Nacional (PRODIST) (Ramljak; Bago, 2018; Nunes, 2017).

Diante da perspectiva do crescimento dos SFCR, este trabalho buscou analisar vários parâmetros de qualidade de energia elétrica com base nos indicadores do módulo 8 do PRODIST de um sistema de microgeração distribuída e sua influência no fornecimento de energia elétrica na rede de baixa tensão. A usina fotovoltaica analisada neste artigo possui uma potência instalada de 62,7 kWp, situada na cidade de Caraúbas, no estado do Rio Grande do Norte.

2. QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA E CONEXÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS À REDE ELÉTRICA

A Qualidade de Energia Elétrica é a medida que quantifica quão bem a energia elétrica é fornecida para os consumidores. A discussão sobre o termo surgiu com o desenvolvimento da sociedade em paralelo com o crescimento do setor energético. A evolução da tecnologia diversificou os tipos de cargas eletrônicas conectadas à rede elétrica, que por sua vez, são constituídos de elementos que podem causar deformações na característica senoidal dos sistemas de potência em corrente alternada. (Rocha, 2015; Beliski, 2017).

Diante disso, surgiu a necessidade de quantificar parâmetros para que uma boa QEE seja fornecida ao consumidor. Com isso, a ANEEL, em 2009, incorporou o módulo 8 ao PRODIST. Essa resolução está em constante atualização, na qual a última revisão está em vigor desde 2018. Os indicadores presentes no módulo 8 são importantes parâmetros para a análise da QEE em regime permanente e transitório.

Diante do crescente avanço de conexões ao Sistema Elétrico de Potência (SEP) das usinas de micro e minigeração distribuídos, evidenciou-se que era necessário definir parâmetros no módulo 8 do PRODIST para esse tipo de geradores que fornecem energia elétrica ao SEP.

Sendo assim, este trabalho baseou-se na norma NOR.DISTRIBU-ENGE-0002 - Conexão de Microgeradores ao Sistema de Distribuição da Companhia Energética do Rio Grande do Norte (COSERN), no módulo 8 do PRODIST e nas recomendações técnicas 519 do Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) para realizar a análise dos parâmetros de QEE. A seguir, serão apresentados os parâmetros necessários para segurança e conexão dos sistemas de mini e microgeração estabelecidos pelas normas ditas anteriormente.

2.1 Tensão em regime permanente

O sistema de geração distribuída deve apresentar um valor de tensão de saída que seja o mesmo da tensão da rede de distribuição no ponto de conexão com a concessionária, sendo assim, o sistema deve ser capaz de perceber anomalias na tensão da rede elétrica e cessar o fornecimento de energia elétrica para segurança do usuário. Na Tab. 1 apresentam-se os valores de operação para o sistema de geração distribuída de acordo com a norma da COSERN.

Tabela 1 – Valores de operação para desligamento SFCR.

Tensão no ponto de conexão comum (% em relação à V nominal)	Tempo máximo de desligamento
$V < 80\%$	0,4 s
$80\% \leq V \leq 110\%$	Regime normal de operação
$110\% < V$	0,2 s

2.2 Frequência

Por questões de segurança, a conexão dos sistemas de geração distribuída que utilizam inversores devem atuar com frequência de entrada na rede elétrica no ponto de conexão entre 57,5 Hz à 60,5 Hz, sendo que qualquer valor além desses limites é necessário que o sistema de geração distribuída desconecte automaticamente da rede elétrica.

2.3 Fator de Potência

Um parâmetro de geração de grande relevância é o fator de potência (FP). A COSERN determina uma faixa aceitável do FP dos sistemas de geração distribuída de até 75 kW. Na Tab. 2 apresentam-se esses limites de FP para determinados valores de potência instalada de sistema de microgeração distribuída, no qual, tais valores são considerados quando a geração de energia do sistema é superior a 20% da potência nominal.

Tabela 2 – Valores limites de fator de potência estabelecido pela COSERN.

Potência nominal do sistema de microgeração (kW)	Faixa aceitável do fator de potência
$P < 3$	0,98 indutivo até 0,98 capacitivo
$3 \leq P \leq 6$	0,95 indutivo até 0,95 capacitivo
$6 < P$	0,90 indutivo até 0,90 capacitivo

2.4 Harmônicos

Um dos problemas da geração de energia elétrica são os harmônicos na rede. Neste trabalho analisou-se dois parâmetros de harmônicos: a Distorção Harmônica Total de Tensão (THD_v) e a Distorção Harmônica Total de Corrente (THD_i). Na Tab. 3 detalham-se os limites permitidos para a THD_v e a THD_i definidos pelo IEEE 519 e pela ANEEL, sendo que a THD_i deve ser somente analisado quando a produção do sistema de geração distribuída atua com sua potência nominal de geração.

Tabela 3 – Valores limites de taxa de distorção harmônica.

Distorção harmônica	Valor aceitável
Distorção Harmônica Total de Tensão	THD _v ≤ 8%
Distorção Harmônica Total de Corrente	THD _i ≤ 5%

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico serão apresentados os materiais que foram utilizados no decorrer da pesquisa, bem como a metodologia empregada e os meios de análise dos dados que foi utilizado no trabalho.

3.1 Descrição da usina solar da UFERSA Campus Caraúbas

O Campus da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) de Caraúbas possui um sistema fotovoltaico conectado à rede trifásica de baixa tensão com potência instalada de 62,7 kWp, sendo caracterizado como microgeração distribuída. O SFCR estudado é composto por cento e noventa (190) módulos fotovoltaicos, três (3) inversores, um quadro de proteção e seccionamento e uma cabine de proteção dos equipamentos. Os módulos fotovoltaicos da usina são da empresa Trina Solar, modelo TSM-330PEG14, de 330 W. A Fig. 1 apresenta a usina solar de 62,7 kWp.



Figura 1 – Usina solar de 62,7 kWp da UFERSA Campus Caraúbas.

A usina solar utiliza três (3) inversores Sunny Tripower, da empresa SMA, sendo dois (2) inversores com potência de 25 kW e um (1) inversor com potência de 15 kW, que convertem a corrente contínua (CC) gerada nos painéis fotovoltaicos, em corrente alternada (CA) injetada na rede elétrica do Campus. Além da conversão CC-CA, os inversores têm a função de sincronizar a usina com a rede elétrica. Na Fig. 2 detalham-se os três (3) inversores utilizados no SFCR estudado neste trabalho.



Figura 2 – Inversores Sunny Tripower da usina solar da UFERSA Campus Caraúbas.

As saídas em corrente alternada dos inversores estão conectadas ao quadro de proteção e seccionamento da usina, onde há um disjuntor tripolar para cada inversor e um disjuntor de 115 A para a proteção geral do quadro. A saída do disjuntor geral de 115 A está conectada a um disjuntor presente no quadro de distribuição da subestação aérea simplificada de 150 kVA que supri a potência demandada do bloco dois (2) de aulas do Campus. A Fig. 3 apresenta o quadro de distribuição da subestação aérea simplificada.



Figura 3 – Quadro de distribuição da subestação aérea simplificada do bloco de salas de aula dois (2) da UFERSA Campus Caraúbas.

No quadro de distribuição da subestação aérea simplificada de 150 kVA apresentado na Fig. 3, estão localizados três (3) disjuntores tripolares destinados a proteção do SFCR, bloco de aulas 2 e a proteção geral. O campus possui dez (10) subestações aéreas conectadas em paralelo, distribuídas em vários pontos da universidade, e a subestação abrigada de proteção e medição na entrada da unidade onde está localizado o medidor bidirecional responsável pela compensação de energia elétrica.

3.2 Descrição do bloco de aulas dois (2) do campus

O bloco de aulas dois (2) é destinado às aulas dos cursos de engenharia civil, elétrica e mecânica. A estrutura física desse bloco é composta por quinze (15) salas de aula, dois (2) banheiros, um (1) hall e um (1) depósito de material de limpeza. A carga instalada do bloco é de 133,662 kW, que é suprida por um trafo de 150 kVA. A Fig. 4 apresenta a fachada frontal do bloco de aulas dois (2).



Figura 4 – Fachada principal do bloco de salas de aula dois (2) da UFERSA Campus Caraúbas.

3.3 Procedimento de medição dos dados de Qualidade de Energia Elétrica (QEE)

Para realizar a coleta de dados dos parâmetros de QEE do sistema fotovoltaico e do bloco de aulas dois (2), foi utilizado o analisador de energia elétrica da empresa Minipa, modelo ET-5061C, sendo que o analisador possui os requisitos mínimos para instrumentos de medição estabelecidos pelo módulo 8 do PRODIST. O analisador foi configurado para determinar um conjunto de dados através de 1008 leituras em intervalos consecutivos de 10 minutos, durante 10 dias. Estando assim, de acordo com o que determina o módulo 8 do PRODIST para serem válidas as análises dos indicadores de QEE. Foram realizadas medições com o analisador em três (3) situações distintas, para cada situação foi realizada a medição dos indicadores de QEE durante 10 dias.

Primeiramente, realizou-se a medição no ponto de saída e conexão dos inversores com a rede elétrica trifásica, a fim de analisar e quantificar os parâmetros de geração do SFCR. A Fig. 5 apresenta a disposição do analisador no quadro de proteção do SFCR.



Figura 5 – Alocação do analisador de energia elétrica no quadro de proteção da usina solar da UFERSA Campus Caraúbas.

Posteriormente, realizou-se a medição no Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) do bloco de aulas dois (2) com o SFCR ligado, com o intuito de verificar os indicadores de QEE no QGBT do referente bloco. A Fig. 6 mostra o QGBT do bloco de aulas dois (2) com o analisador de energia elétrica.



Figura 6 – Alocação do analisador de energia elétrica no quadro de proteção do bloco de salas de aula dois (2) da UFERSA Campus Caraúbas.

Por fim, desligou-se o SFCR e realizou-se a medição no QGBT do bloco de aulas dois (2), a fim de verificar os parâmetros de fornecimento de energia elétrica da concessionária sem a influência da usina solar do campus.

3.4 Análise dos dados obtidos

Para a realização da análise dos dados aferidos pelo analisador de energia elétrica ET-5061C, utilizou-se o *software* TOPVIEW (Versão 2.1.0.0) disponibilizado pela empresa Minipa. Os parâmetros analisados de QEE foram: tensões, correntes, fator de potência, frequência, potência/energia ativa, potência/energia reativa, potência/energia aparente, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente.

4. RESULTADOS

4.1 Análise dos parâmetros de geração do SFCR

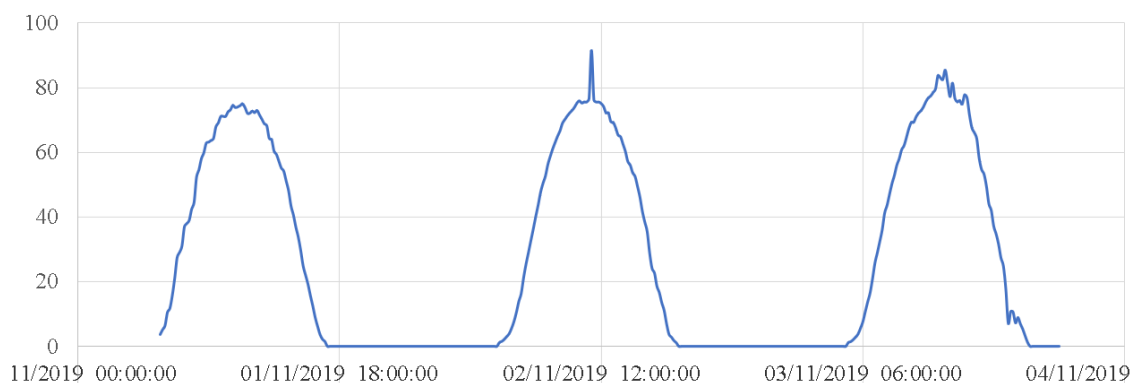
A partir dos dados obtidos com o analisador de energia elétrica quando inserido nas saídas dos inversores, foi possível analisar diversos parâmetros de QEE da usina solar.

Os primeiros parâmetros analisados foram as tensões, sendo estas medidas tanto em fase-neutro quanto em fase-fase. Os valores obtidos por meio da medição ficaram dentro do limite especificado pelo módulo 8 do PRODIST. Os valores médios das tensões (tensão máxima, tensão média e tensão mínima) estão dispostos na Tab. 4.

Tabela 4 – Valores de tensões.

Tensões	Tensões máximas	Tensões médias	Tensões mínimas
V ₁	224,8 V	223,6 V	221,4 V
V ₂	226,4 V	225,2 V	223,1 V
V ₃	223,3 V	222,1 V	220,1 V
V ₁₂	391,6 V	389,5 V	385,6 V
V ₂₃	390,2 V	388,2 V	384,6 V
V ₃₁	386,7 V	384,5 V	381,1 V

Finalizado o aferimento das tensões, foram analisadas as correntes do SFCR. Nesta medição foi verificado que as correntes (I₁, I₂ e I₃) geradas estão de acordo com o que estabelece os *datasheets* dos inversores, sendo que no pico de produção da usina, foi detectada na corrente I₃ um valor de 91,4 A no dia 02/11/2019 próximo às 12h. Dessa forma, os dispositivos de proteção estão dimensionados corretamente. A Fig. 7 apresenta o período de dias em que a corrente I₃ obteve os maiores valores.

Figura 7 – Período que a corrente I₃ do SFCR produziu as correntes mais elevadas.

Outro parâmetro analisado foi o fator de potência gerado pelo SFCR, sendo aferido um FP unitário em grande parte do dia. Já os valores com FP menor que 1 foram verificados em curtos períodos de tempo, principalmente quando era realizada a conexão e a desconexão da usina à rede elétrica. Dessa forma, percebeu-se que durante o período de vinte (20) minutos, tanto na conexão e desconexão da usina a rede, o FP esteve abaixo de 0,90. Analisando esse período em que o FP permaneceu menor que 0,90, constatou-se que a potência injetada na rede era menor que 20% da potência nominal da usina, sendo assim, o FP gerado pelo SFCR está de acordo com o que é estabelecido pela norma da COSERN. Os valores do fator de potência resultantes inferior ao valor nominal (unitário) foram devido a usina não está em um nível razoável de produção. A Fig. 8 mostra o FP medido na saída do SFCR durante três (3) dias do período de medições.

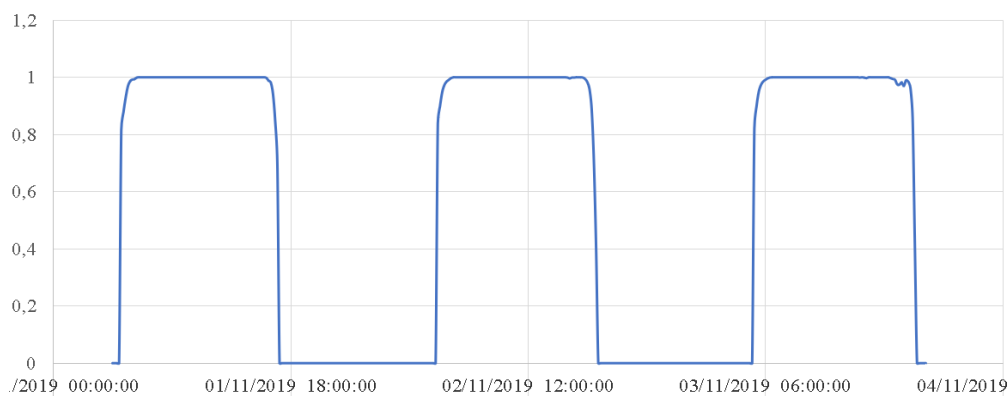


Figura 8 – Fator de potência gerado pelo SFCR durante três (3) dias no período de medição.

Além desses parâmetros, foi possível analisar a frequência do SFCR, nesse caso foram medidos valores entre 59,9 Hz a 60,1 Hz, sendo assim, o sistema se encontra dentro do estabelecido pela norma da COSERN.

Outro parâmetro analisado foi a geração de energia elétrica. No horário de meio-dia do dia 02/11/2019 a usina atingiu a produção de 55,42 kW de potência ativa, e no período de conexão e desconexão da usina à rede foi verificado uma geração de potência reativa com média de 300 VAR, devido à baixa produção do SFCR.

Diante da análise do parâmetro da THDv, foi possível concluir que a usina solar não apresentou anomalias prejudiciais à rede elétrica, visto que a THDv das três (3) fases apresentou valores bem abaixo do limite de 8% estabelecido pelas recomendações do IEEE 519. A Fig. 9 apresenta os valores da THDv produzida pelas três (3) fases do SFCR.

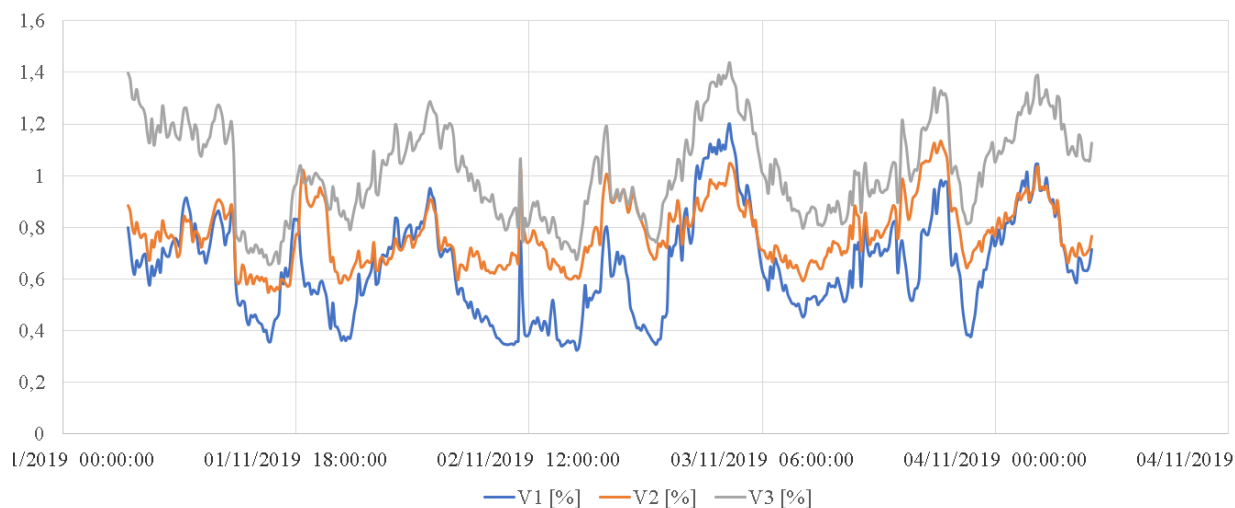


Figura 9 – THDv das três (3) fases do SFCR durante alguns dias que houve medição dos parâmetros de QEE.

Por fim, analisou-se a THDi, sendo verificado que no momento de conexão e desconexão da usina à rede elétrica, há uma grande taxa de distorção, chegando a mais de 100% em alguns dias de medição. Esses grandes picos de distorção são causados pelo chaveamento da Modulação da Largura de Pulso (PWM) do inversor no período de conexão e desconexão com a rede elétrica, sendo prejudicial a mesma. A norma NOR.DISTRIBU-ENGE-0002 da COSERN determina que para análise da THDi em SFCR, deve-se analisar somente o período em que a usina esteja em sua potência nominal. Desta maneira, observou-se que no período em que a usina produziu a THDi superior a 5%, a produção da usina não estava na potência nominal, e que no período em que a usina funcionou em sua potência nominal a THDi esteve abaixo dos 5%. Portanto, a THDi produzida pela usina esteve de acordo com o que estabelece a COSERN. Na Fig. 10 detalha o comportamento da THDi no dia em que o SFCR apresentou o maior valor na fase 1.

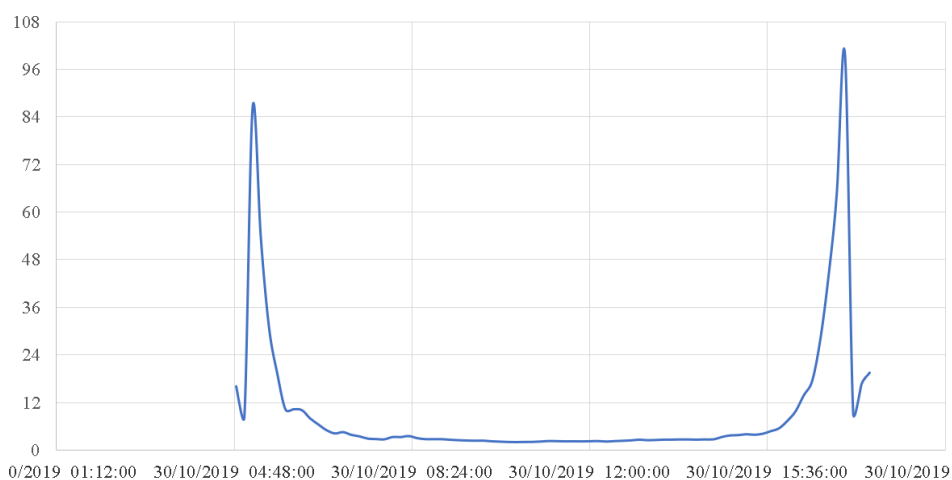


Figura 10 – THDi no dia que o SFCR produziu o maior pico de distorção na fase 1.

4.2 Análise de inserção do sistema fotovoltaico na rede elétrica de baixa tensão

A medição dos parâmetros de qualidade de energia elétrica do QGBT do bloco de aulas dois (2) do campus da UFERSA de Caraúbas foi realizada num período de 10 dias com o SFCR ligado. Na Tab. 5 apresentam-se alguns

parâmetros que foram analisados e diagnosticados como dentro dos limites dos valores estabelecidos pelo PRODIST e COSERN.

Tabela 5 – Valores das tensões medidas no QGBT do bloco de aulas dois (2) com SCR ligado.

Parâmetros	Valores médios		
	Tensão máxima	Tensão média	Tensão mínima
V ₁	226,2 V	224,6 V	222,6 V
V ₂	223,7 V	223,5 V	220,2 V
V ₃	225,4 V	223,7 V	221,7 V
V ₁₂	389,7 V	387,0 V	383,8 V
V ₂₃	387,0 V	386,9 V	381,7 V
V ₃₁	392,2 V	389,4 V	385,9 V
f	60,1 Hz	60 Hz	59,9 Hz
FP	0,95 a 1		

A THD_v se manteve de acordo com os limites recomendados do IEEE 519, ficando em torno de 1%. Analisando a THD_i das três (3) fases, foi aferido uma média de 10,08% durante o período de funcionamento do SFCR. Na Fig. 11 detalha-se a THD_i da fase um (1) em um dos dias que obteve as maiores taxas de distorção.

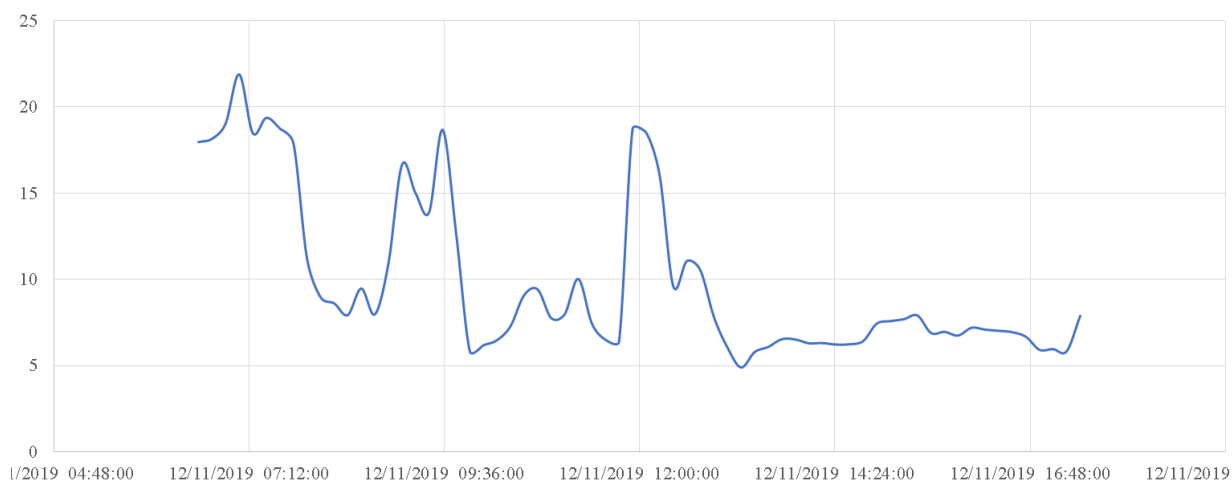


Figura 11 – THDi da fase um (1) do bloco de aulas dois (2) com o SFCR ligado.

Após a análise dos parâmetros de QEE do bloco de aulas dois (2) com a usina ligada, foi realizado o mesmo procedimento de análise do bloco de aulas dois (2) com o SFCR desligado. Sendo assim, verificou-se que quando o SFCR esteve ligado, houve um aumento de tensão no QGBT do bloco de aulas. A Tab. 6 mostra os parâmetros medidos que estão de acordo com o que é estabelecido pelo PRODIST e COSERN.

Tabela 6 – Valores das tensões medidas no QGBT do bloco de aulas dois (2) com SCR desligado.

Parâmetros	Tensão máxima	Tensão média	Tensão mínima
V ₁	225,8 V	224,2 V	222,1 V
V ₂	223,5 V	222,0 V	220,1 V
V ₃	225,0 V	223,4 V	221,3 V
V ₁₂	388,9 V	386,6 V	383,0 V
V ₂₃	387,9 V	385,3 V	382,0 V
V ₃₁	391,2 V	388,4 V	384,9 V
f	60,15 Hz	60 Hz	59,85 Hz
FP	0,98 a 1		

Ao analisar a THD_v do bloco de aulas dois (2) foi verificado que na ausência do SFCR, a THD_v apresentou um valor médio de 0,9%, sendo esse, próximo ao valor de quando a usina esteve ligada e de acordo com os valores recomendados do IEEE 519.

Aferindo os dados da THDi do bloco de aulas dois (2) quando o SFCR esteve desligado, notou-se que os valores permaneceram numa faixa superior a 11%, sendo este valor maior que o valor medido quando a usina esteve ligada. Na Fig. 12 apresenta o comparativo das THDi do bloco de aulas dois (2) com SFCR ligado e com o SFCR desligado, sendo que a comparação foi realizada no mesmo dia da semana, mas em datas diferentes.

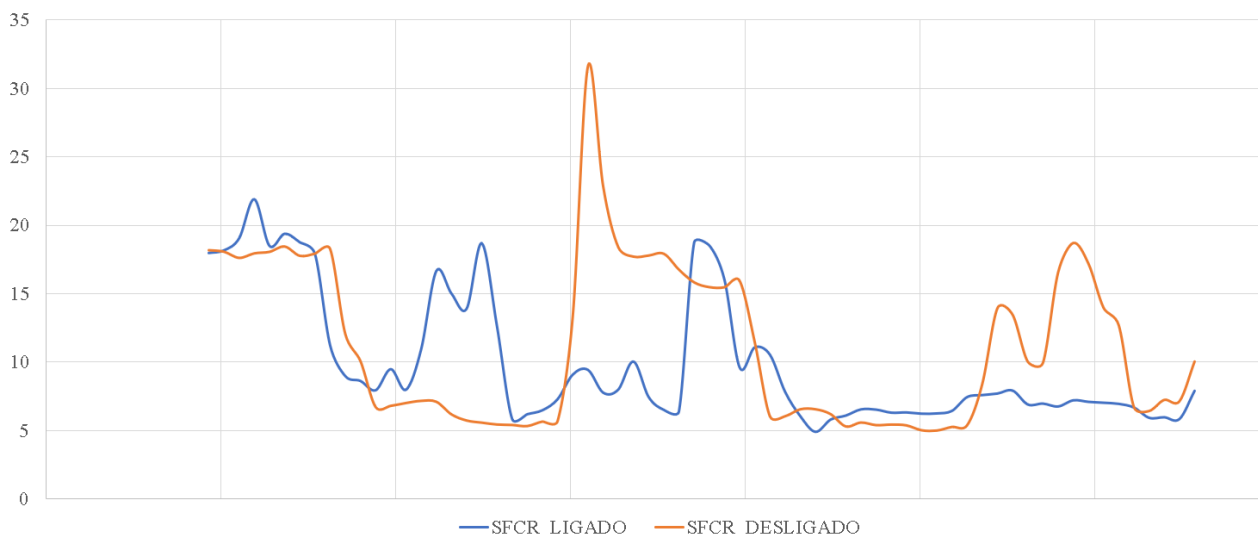


Figura 12 – Comparativo do THDi da fase um (1) do bloco de aulas dois (2) quando o SFCR está ligado e desligado.

De acordo com González et al. (2011), a THDi além do permitido pelas normas técnicas, é devido as formas de ondas atuais exigidas por cargas não lineares e também pela corrente injetada na rede pelos inversores fotovoltaicos quando operam em baixo carregamento.

5. CONCLUSÃO

No presente trabalho, foi realizado uma análise de dados coletados por um analisador de energia elétrica, com o objetivo de quantificar os parâmetros de geração de um sistema fotovoltaico de 62,7 kWp conectado à rede. Além disso, foi analisado o quanto o SFCR estudado neste trabalho interferiria na rede elétrica de baixa tensão.

Com base no módulo 8 do PRODIST, foi realizada a análise dos parâmetros de QEE do bloco de aulas dois (2) da UFERSA Campus Caraúbas/RN a fim de verificar a ocorrência de possíveis problemas na rede elétrica de baixa tensão causados pela inserção na rede do sistema fotovoltaico.

Com relação a geração de energia elétrica do sistema fotovoltaico, percebeu-se que os parâmetros de tensão de fase, tensão de linha, tensão neutro-terra, frequência, fator de potência, harmônicos de tensão e harmônicos de corrente estão de acordo com os parâmetros estabelecidos com as normas citadas neste trabalho. Deixando uma ressalva para o harmônico de corrente, que no período de conexão e desconexão da usina com a rede elétrica gerou grandes taxas, sendo, o principal responsável por esse distúrbio o chaveamento do inversor com a rede elétrica, a baixa produção da usina e a mudança do sentido do fluxo de potência causado pelo funcionamento da usina.

Diante da inserção do SFCR, concluiu-se que a tensão aumentou no QGBT do bloco de aulas dois (2) em até 1,6 V, mas ainda assim permaneceu dentro do limite estabelecido pelo PRODIST. Dessa forma, foi notado que quando a usina estava conectada à rede, a THDi do bloco de aulas manteve-se relativamente na mesma média de quando a usina não estava conectada à rede. A THDi gerada pelo SFCR se manteve inferior aos 5% quando a usina estava na sua potência nominal. Os parâmetros de QEE do bloco de aulas dois (2) que não foram expostos com a influência do SFCR ligado, obteve resultados satisfatórios de acordo com o módulo 8 do PRODIST.

Portanto, diante das análises dos dados medidos de QEE, percebeu-se que o sistema fotovoltaico influencia a rede de baixa tensão ao qual está conectado. Deste modo, a inserção da usina ao sistema elétrico de potência também pode ter alterado parâmetros operacionais da rede elétrica de distribuição, mesmo que de forma insignificante neste momento. Para a constatação da influência do SFCR na rede elétrica de distribuição, são necessários estudos considerando toda a rede elétrica do Campus e realizar medições na entrada da unidade consumidora. No contexto geral de mini e microgeração distribuída, tem-se que com o crescente aumento da inserção dos SFCR ao SEP, que não foi projetado para receber tais conexões, há necessidade de alocar dispositivos na rede elétrica para proteção de possíveis distúrbios causados com o aumento da inserção dos SFCR, tais como: flutuações de tensão, fluxo reverso de potência e aumento das tensões nas barras do SEP.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. **INFOGRÁFICO ABSOLAR**. 13. ed. São Paulo: Absolar, 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL – PRODIST**: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. 10 ed. Brasília: Aneel, 2017. 88 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **482: RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482**. 1 ed. Brasília: Aneel, 2012. 12 p.
- BELISKI, Letícia Mara. **ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM UNIDADES PROSSUMIDORAS RESIDENCIAIS**. 2017. 46 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2017
- COMPANHIA ENERGÉTICA DO RIO GRANDE DO NORTE. **NOR.DISTRIBU-ENGE-0002**: Conexão de Microgeradores ao Sistema de Distribuição. 1 ed. Natal: Cosern, 2016. 128 p.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética; MME, Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. 2. ed. Brasília: MME, 2018. 345 p.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética –. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**. Rio de Janeiro: Epe, 2018. 294 p.
- González, Pedro et al. Impact of Grid Connected Photovoltaic System in the Power Quality of a Distribution Network. In: Camarinha-Matos L.M. (eds) Technological Innovation for Sustainability. DoCEIS 2011. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 349. Springer, Berlin, Heidelberg.
- INSTITUTE OF ELECTRICIAN AND ELECTRONIC ENGINEERS. **IEEE 1100**: IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment. 2 ed. New York: Ieee, 2005. 313 p.
- INSTITUTE OF ELECTRICIAN AND ELECTRONIC ENGINEERS. **IEEE 519**: IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. 2 ed. New York: Ieee, 2014. 29 p.
- Ivan Ramljak and Drago Bago (December 8th 2018). PV Plant Influence on Distribution Grid in Terms of Power Quality Considering Hosting Capacity of the Grid, Electric Power Conversion, Marian Găiceanu, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.82441.
- LEÃO, Ruth. **GTD - GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**. 2009. Disponível em: <<http://http://www.clubedaeletronica.com.br/Eletricidade/PDF/Livro%20GTD.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2018.
- NUNES, Evandro Ailson de Freitas. **Análise de Impactos na Rede de Distribuição de Energia Elétrica Decorrentes da Inserção de Sistemas de Geração Fotovoltaicos**. 2017. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017
- ONS. **CAPACIDADE INSTALADA DE GERAÇÃO**. 2019. Disponível em: <http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/capacidade_instalada.aspx>. Acesso em: 02 out. 2019.
- ONS. **O SISTEMA EM NÚMEROS**. 2019. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 15 set. 2019.
- ROCHA, T. de O. A. **Contribuições para a estratégia de controle aplicada à geração fotovoltaica interconectada à rede elétrica**. Tese de doutorado, Dezembro 2015.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF A 62.7KWP PHOTOVOLTAIC POWER PLANT ON THE LOW VOLTAGE 2 BLOCK ELECTRIC NETWORK IN UFERSA / CARAUBAS-RN

Abstract. *Economic growth and quality of life are associated with the amount of electricity offered, so that the greater the development of a region, the greater the consumption of electricity. As a result, the search for renewable energy sources gradually grows as a way to solve the energy dependence on traditional sources of energy generation. However, when using renewable energies one must also take into account possible disturbances that the generated electrical energy can cause in the distribution network. In this perspective, the National Electric Energy Agency (ANEEL) establishes guidelines on energy quality that are presented in module 8 of the Electricity Distribution Procedures in the National System (PRODIST). Therefore, this work presents an analysis of several energy quality parameters of a distributed microgeneration photovoltaic system and its supply of electricity in the low voltage network of block two (2) of UFERSA Campus Caraubas. The description of the photovoltaic plant is presented, the procedures for measuring electricity quality data, as well as the analysis of the data obtained that indicated that the photovoltaic system influences the low voltage network to which it is connected. The most relevant change was in terms of the voltage that increased by up to 1.6V when the plant was on.*

Keywords: *Quality of electricity, Photovoltaic system, PRODIST.*