

Integração de informações para o monitoramento de métricas de desempenho de uma *microgrid*

Bruno Pires de Campos

Luiz Edival de Souza

Paulo F. Ribeiro, IEEE Fellow Member

Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI

Itajubá -MG, Brasil

Resumo—Este trabalho implementa a integração dos diversos componentes de uma *microgrid* fotovoltaica em uma plataforma única de monitoramento. O sistema monitora a planta do Centro de Excelência em Redes Elétricas Inteligentes (CERIn) da Universidade Federal de Itajubá, que conta com uma capacidade instalada de 27 kWp, um sistema ininterrupto de energia e uma minicentral meteorológica. As medições elétricas são exibidas em tempo real e armazenadas em banco de dados, possibilitando posterior processamento e correlação de informações. A integração de todos os sistemas envolvidos na geração fotovoltaica do CERIn facilita a análise das principais métricas de desempenho dessa *microgrid*.

Palavras chave-- Geração fotovoltaica, Métricas de desempenho, Sistema de monitoramento

I. INTRODUÇÃO

O constante e rápido crescimento de demanda de energia elétrica e a necessidade mundial por sistemas sustentáveis estão estimulando grandes mudanças no sistema elétrico de potência tradicional. Em muitas partes do mundo, a rede elétrica de potência se baseia em um sistema planejado nos anos 50, em uma estrutura que atualmente necessita de reformas e ampliações. Essa se torna uma grande oportunidade de reinvenção da rede, aproveitando as novas tecnologias de geração, monitoramento e comunicação [1].

Como resultado da abertura do mercado da energia, os operadores estão cada vez mais preparados para reportar, a usuários e órgãos reguladores, informações relacionadas ao fornecimento de energia. No passado, qualidade de energia era vista como um dever implícito aos operadores do sistema, mas hoje qualidade de energia tem objetivos cada vez mais claros. Atingir metas de qualidade de energia é extremamente importante e como integrar e apresentar dados de qualidade é fundamental. [2]

Nos últimos anos tem havido um crescente interesse sobre o monitoramento da qualidade da energia e maior pressão por parte dos consumidores e órgãos reguladores para a

disponibilização de informações sobre o atual estado da qualidade da energia elétrica [2].

Em um contexto de difusão de energia renovável e distribuída, o consumidor de energia também se torna produtor. O gerenciamento do fluxo bidirecional de potência se torna muito mais complexo e passa a ser necessário o monitoramento de um número bem maior de pontos da rede. O interesse é saber o quanto o consumidor está consumindo de energia, gerando e com que qualidade faz ambos. Isso provoca um aumento exponencial na necessidade de processamento de dados e exige um sistema de monitoramento e gerenciamento da rede muito mais eficiente do que nos padrões atuais.

Um ponto de interesse é o impacto que um sistema elétrico altamente conectado a gerações distribuídas teria na qualidade da energia de fornecimento. Em especial na geração fotovoltaica que é intermitente e envolve transformação de corrente contínua em alternada.

De modo que se torna relevante a integração de medições dos diversos sistemas envolvidos na geração fotovoltaica em uma plataforma única, facilitando a correlação dos dados. Esses dados podem se transformar em informações úteis acerca das consequências desse tipo de geração.

Um dos fundamentos de uma aplicação *Smart Grid* é interoperabilidade entre seus sistemas, pois sem essa, os custos para integrar os diversos componentes de diversos fabricantes e as variadas aplicações iriam aumentar enormemente em função do grande número de novas interfaces e processos envolvidos [3]. Dessa forma, os projetos de *Smart Grid* devem estar em conformidade com as recomendações mais atuais das agências reguladoras do sistema elétrico (IEEE, IEC, etc).

Esse trabalho objetiva a implementação de uma plataforma de monitoramento e gerenciamento da qualidade da energia em uma aplicação de *Smart MicroGrid* no prédio do Centro de Excelência em Redes Elétricas Inteligentes (CERIn) no campus da UNIFEI. O CERIn conta com geração fotovoltaica de 27 kWp. A micro rede envolve 3 inversores de frequência, um

medidor de qualidade de energia, um sistema ininterrupto de energia e um sistema de meteorologia. Cada sistema é monitorado isoladamente por *software* proprietário. Esse trabalho visa integrar todos esses sistemas em uma plataforma única de monitoramento com visualização em tempo real de medições elétricas, bem como armazenamento em banco de dados. Posteriormente será feita uma análise e correlação de informações acerca das intermitências desse tipo de geração e dos possíveis impactos na qualidade da energia.

II. SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA

Um sistema de gerenciamento da energia é uma ferramenta de *software* destinada ao monitoramento e gerenciamento de tempo real da rede elétrica. O *software* depende de um sistema de comunicação de dados entre os IED's de campo (*Intelligent Electronic Devices*), que coletam informações sobre o estado da rede, e um servidor central que disponibiliza as informações em uma Interface Homem-Máquina (IHM).

O termo SCADA vem do inglês *Supervisory Control and Data Acquisition*, ou seja, se refere ao *software* de controle supervisão e aquisição de dados que fornece informações de tempo real do sistema através de ferramentas de análise e modelagem gráfica. Os dados são geralmente armazenados para posterior análise, geração de relatórios e etc. De modo que a integridade e expansibilidade do banco de dados SCADA são de extrema importância e independente de aplicação [1].

As principais funções do sistema SCADA são:

1) Aquisição de dados: As Unidades Terminais Remotas (UTR's) concentram as informações de campo sobre o estado dos equipamentos (como abertura ou fechamento de disjuntores), alarmes de sobretensão, temperaturas e etc. Todos esses dados são enviados a um centro de controle.

2) Monitoramento e processamento de eventos e alarmes: Uma das funções do SCADA é comparar constantemente as medições reais com valores determinados em normas e limites de segurança. Por exemplo, a frequência de fornecimento de tensão deve ser bem próxima da nominal, pequenas variações podem causar o mal funcionamento de equipamentos. Logo se essa medida sai dos limites especificados, um alarme é disparado para chamar atenção do operador para o problema. O sistema ainda conta com uma estampagem de tempo em cada medida armazenada. Isso é importante para que no caso de uma perturbação do sistema, seja feita uma análise sequencial dos eventos para o entendimento das causas do problema.

3) Controle: No sistema SCADA existem dois tipos de controle, o manual e o automático. No controle manual, a ação (abertura de uma chave por exemplo) pode ser realizada remotamente através de comando único ao dispositivo controlado. No controle automático, as ações são disparadas automaticamente via *software* seguindo uma sequência lógica pré-programada. Em funções como auto reconfiguração (*self-healing*), o sistema executa uma sequência automática de fechamento e abertura de chaves e disjuntores para isolar um ponto de falha e reestabelecer o fornecimento de energia ao maior número possível de consumidores [4].

4) Armazenamento: As medições de tempo real são armazenadas em banco de dados do SCADA de acordo com um período pré-definido, a cada minuto, por exemplo. Através desses dados podem ser gerados relatórios para futura análise e conclusões a respeito das tendências e correlações dos dados. Como, por exemplo, no caso de previsão de demanda usado no planejamento da geração em que a curva do consumo histórico de energia é descrita em formulações através de técnicas de identificação de sistema. Com o padrão de consumo descrito em um modelo matemático é possível gerar previsões de consumo [5].

III. QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

A performance na planta fotovoltaica em termos de qualidade de energia depende da estrutura do inversor, condições externas (como irradiação solar), tipo e quantidade das cargas e características do sistema de fornecimento.

As possíveis consequências da difusão de plantas fotovoltaicas na qualidade da energia do sistema elétrico de potência estão apresentadas a seguir.

A. Distorções harmônicas

Instalações fotovoltaicas dependem de inversores de frequência para gerar energia elétrica. Em geral esses inversores usam tecnologias auto comutativas que operam em frequências da ordem de kHz [2]. No caso de ondas senoidais de tensão, a emissão harmônica desses inversores é desprezível. Mas por causa de seus algoritmos internos de controle, eles podem produzir harmônicos consideráveis no caso de serem alimentados com tensões desequilibradas (mesmo no nível de desequilíbrio comum na rede elétrica). Correntes harmônicas em inversores para geração fotovoltaica dependem do conteúdo harmônico da voltagem do sistema CA. O desempenho da conversão está ligado ainda às condições de operação nas variáveis climáticas (temperatura, irradiação solar, etc.) que limitam o intervalo de operação durante o dia e impactam significativamente a forma das ondas de tensão e corrente. [6].

Sistemas fotovoltaicos tem baixo impacto em distorções harmônicas de tensão devido à baixa potência de curto circuito no Ponto de Acoplamento Comum (PAC). Geralmente a Distorção Harmônica Total (DHT) de tensão fica abaixo do nível de distorção limite definido por normas. Distorções de correntes são causadas pela demanda de cargas não lineares e pela injeção de corrente do inversor de frequência da planta. De acordo com [7] o cenário mais propício a altas emissões harmônicas de corrente é em um sistema de alta penetração de energia fotovoltaica (várias conexões), carga baixa, barramento de conexão com baixa relação de curto circuito e operação com fator de potência capacitivo. Altos valores de DHT de corrente geralmente ocorrem quando o inversor de frequência trabalha em baixa potência (15% a 20 % da potência nominal) nos períodos de baixa irradiância [8].

A DHT é um indicador de Qualidade da Energia Elétrica (QEE) que quantifica a medida de proximidade entre a forma de onda original e sua componente fundamental. Tal grandeza é definida para corrente na equação 1:

$$DHT(\%) = \frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2} \times 100 \quad (1)$$

Em que I_1 é a componente fundamental da corrente e I_h é a componente harmônica de corrente de ordem h .

Já a Distorção Harmônica Individual (DHI) de corrente é expressa pela equação 2.

$$DHI_h(\%) = \frac{I_h}{I_1} \times 100 \quad (2)$$

B. Sobre e subtenção

Esse pode ser o principal problema relacionado a difusão de sistemas fotovoltaicos [9]. Individualmente, instalações fotovoltaicas têm impacto mínimo no sistema elétrico, porém se forem amplamente adotadas podem influenciar significativamente os padrões de fornecimento do atual sistema. Uma das consequências é a elevação de tensão no PAC. Medições mostram que o chaveamento do inversor sob certas condições pode causar esse tipo de problema. O principal ponto é a flutuação da voltagem, sub e sobretenção (com a desconexão e conexão dos inversores). Nos períodos de geração nominal, a tensão pode se elevar além dos limites da norma por falta de cargas consumidoras [10]. E o contrário pode acontecer ao anoitecer quando não há geração fotovoltaica e as pessoas chegam de seus trabalhos e ligam diversas cargas simultaneamente, o que leva a problemas de subtenção. Quedas de tensão também podem acontecer com sombreamentos ou desligamentos repentinos do sistema fotovoltaico [11]. Na maioria dos casos, o sistema fotovoltaico é projetado para operar próximo ao fator de potência unitário para se fazer uso total da energia solar gerada. Nesse caso, o sistema injeta apenas potência ativa, o que pode alterar o fator de potência do sistema e elevar as tensões de barramentos próximos por conta da falta de potência reativa [12].

C. Corrente de partida (inrush)

Uma pequena diferença de tensão entre o sistema fotovoltaico e a rede pode gerar um pico de corrente de partida que flui entre o sistema e a rede no momento de conexão e decai a zero a uma taxa exponencial. Essa corrente de partida pode causar abertura indevida de relés de proteção, estresse térmico em isolamentos, etc. [12].

D. Desequilíbrio

Condições de desequilíbrio ocorrem nos momentos de conexão e desconexão quando a corrente fundamental é baixa. Flutuações da potência ativa também afetam o desequilíbrio de corrente. Problemas de desequilíbrio podem ocorrer no baixo nível de tensão na topologia de 1 inversor por fase (1 inversor monofásico para cada uma das três fases), quando o sombreamento desigual leva a níveis de tensão diferentes em cada inversor. Mas o problema não se repete na alta tensão por causa da compensação CC gerada entre as fases [13]

E. Flutuações

Flutuações da potência de saída de sistemas fotovoltaicos são causa de problemas operacionais na a rede elétrica. O fenômeno da flutuação de potência ocorre por conta da variação da irradiação solar causada pela passagem de nuvens e pode continuar por minutos ou horas dependendo da velocidade do

vento, do tipo e tamanho das nuvens passantes, da área coberta e da topologia do sistema fotovoltaico [12].

F. Segurança

Nos momentos de ilhamento por falta em que o sistema fotovoltaico trabalha isolado e continua a alimentar as cargas mesmo depois que a rede foi desconectada, há possibilidade de choques elétricos a trabalhadores da manutenção desavisados.

IV. METODOLOGIA

Foi proposto neste trabalho a integração de informações para o monitoramento de métricas de desempenho de uma *Smart Microgrid* tendo como base a *microgrid* de geração fotovoltaica instalada no prédio do CERIn da UNIFEI. A *microgrid* do CERIn conta com uma capacidade de geração fotovoltaica de 27 kWp através de 112 módulos fotovoltaicos de potência nominal de 0,25 kW da Yingli Solar, modelo YL245P-29P e três inversores Fronius (2 de 8 kVA e 1 de 12,5 kVA) A representação unifilar desse circuito está descrita na Fig. 1.

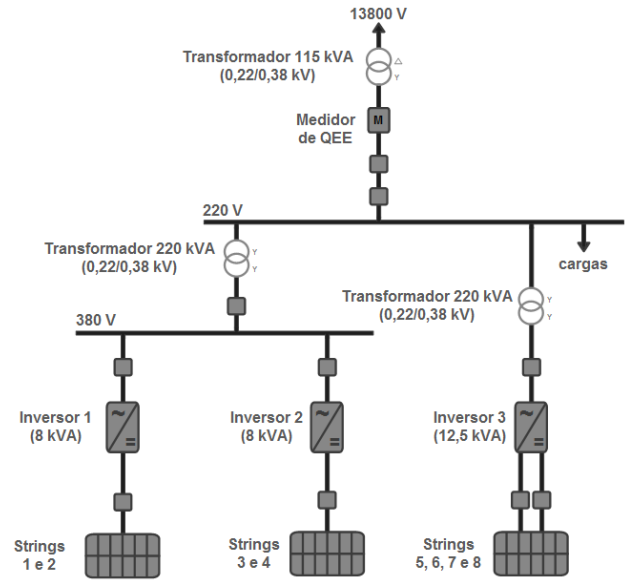


Figura 1: Circuito unifilar da rede fotovoltaica do CERIn

A seguir serão descritos os outros componentes da *microgrid* do CERIn.

A. Meteorologia

O CERIn conta com um *sensor box* da Fronius, um dispositivo próprio para medições meteorológicas no qual estão ligados um anemômetro da marca Carlos Gavazzi para medição da velocidade do vento, um sensor de irradiação solar da TRITEC e dois sensores de temperatura Pt1000 para medições de temperatura ambiente e temperaturas de placa de um módulo fotovoltaico.

B. Medição da qualidade

No PAC da *microgrid* do CERIn com a rede elétrica foi instalado um medidor inteligente da KRON. Esse analisador de Qualidade da Energia Mult-K NG realiza as medições trifásicas conforme normas [14], [15] e classifica os eventos em

conformidade ao PRODIST. Este medidor permite a medição de mais de 100 parâmetros elétricos em sistema de corrente alternada (CA), incluindo flicker, harmônicos de tensão e de corrente até a 40ª ordem, desequilíbrio de tensão, fator de potência real e de deslocamento.

C. Sistema UPS

A *microgrid* do CERIn conta ainda com um sistema UPS (*Uninterruptable Power System*) de fabricante ABB-Newave com 320 baterias RITAR do tipo chumbo-ácido selada de 12 V e 9 Ah distribuídas em 8 bancos de 40 baterias em dois módulos UPS de 20 kVA resultando em uma potência total de 40 kVA / 32 kW. O sistema oferece uma autonomia de 17 minutos de fornecimento a plena carga do CERIn no caso de falta de fornecimento da rede elétrica. O sistema opera com entrada e saída trifásica de 380 V com dois autotransformadores, um de 40 kVA para a entrada (220 V/ 380 V) e outro de 50 kVA para a saída de energia (380 V/ 220V).

D. EMS

Foi desenvolvido neste trabalho um sistema EMS (*Energy Management System*) para integrar as informações da *microgrid* do CERIn em uma plataforma única de monitoramento. O *software* de desenvolvimento utilizado foi o Elipse Power. Através dessa plataforma é possível acompanhar em tempo real as medições elétricas de todos os sistemas descritos acima. O armazenamento dos dados de aquisição do sistema de monitoramento é gerenciado por outro *software*, o Elipse Plant Manager (EPM). O EPM se conecta ao Elipse Power através de um protocolo proprietário da Elipse e concentra todos os dados em um só local, facilitando sua contextualização. Uma vez estabelecida a comunicação com o monitoramento, o EPM inicia o processo de armazenamento no banco de dados. O EPM é compatível com Microsoft SQL, por isso esse foi o *software* de banco de dados escolhido para esse projeto. A estrutura completa do sistema de monitoramento pode ser observada na Fig. 2.

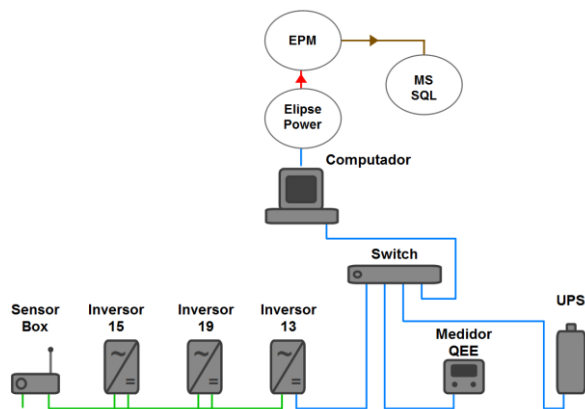


Figura 2: Estrutura do sistema de monitoramento

A rede dos equipamentos Fronius (ligação verde) é composta pelos 3 inversores de frequência e o *sensor box*, o protocolo nesse caso é o Solar Net. Essa rede está integrada à rede *modbus tcp* (ligação azul) através de uma conversão entre os protocolos. O Medidor Kron e o sistema UPS completam os dispositivos da rede *modbus tcp*. Todos esses pontos são ligados a um *switch ethernet*, onde também está conectado o

computador central de monitoramento. Esse computador é um *desktop* Dell, modelo Precision T5810, sistema operacional Windows 7 profissional 64 Bits, processador Intel® Xenon® CPU E5-1620 v3 com dois núcleos de 3,5 GHz, memória (RAM) de 16 GB e 400 GB de memória em HD. Neste computador estão instalados o Elipse Power, o EPM e o Microsoft SQL. O Elipse Power é o cliente *modbus* da aplicação que faz requisição aos servidores e envia os dados ao EPM (ligação vermelha) através de protocolo proprietário da Elipse, que por sua vez os armazena no banco MS SQL (ligação marrom) via linguagem SQL.

Usando a estrutura apresentada foram coletados dados de 4 meses de aquisição, de agosto a novembro de 2016.

V. RESULTADOS

A Fig. 3 deixa evidente a correlação direta da geração fotovoltaica com os níveis de irradiação, temperatura ambiente e temperatura de placa.

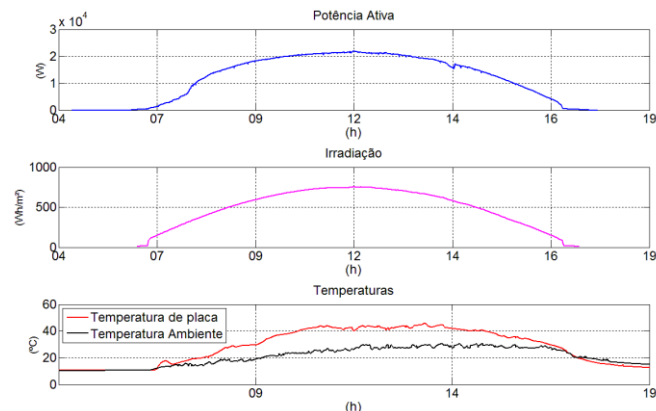


Figura 3: Dia ensolarado de geração

O DHT de corrente mostra forte dependência do nível da geração, porém PRODIST não define limites para essa distorção. Pela Fig. 4 se vê que os harmônicos das três fases chegam a atingir o nível de 60% de distorção.

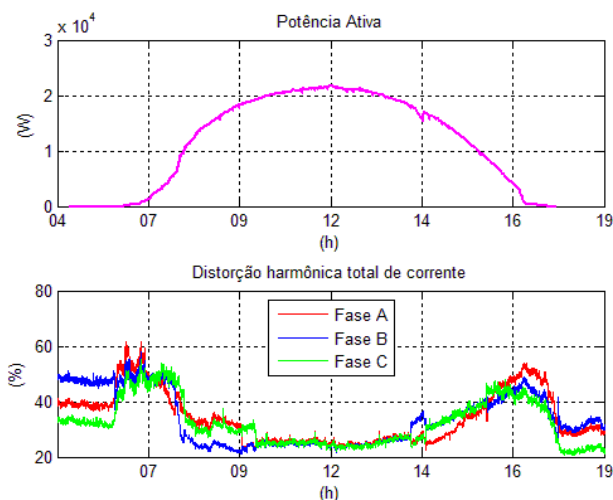


Figura 4: DHT de corrente em dia ensolarado

No período das 18:00h do dia 25 de outubro até as 13:57 h do dia 26 de outubro, o UPS foi desativado. Nesse período, demarcado entre as linhas vermelhas da Fig.5, houve uma diminuição significativa de quase toda a faixa de harmônicos do CERIn, inclusive nas ordens superiores.

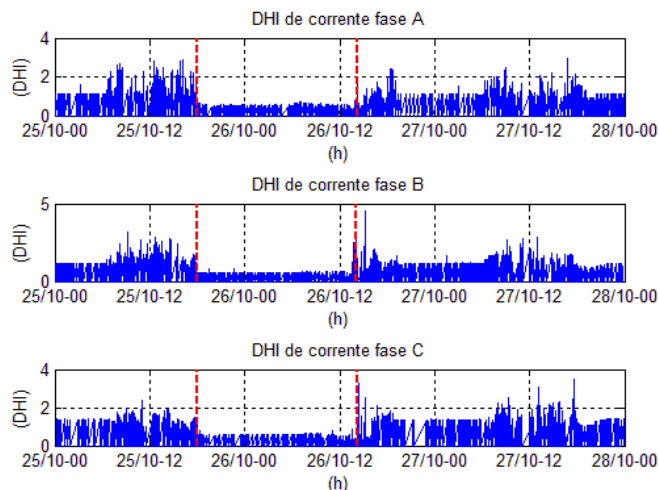


Figura 5: Nível de DHI de corrente de 40ª ordem

Na Fig. 6 compara-se o DHT de corrente do dia 12/08 quando o UPS estava desligado com o dia 28/10 quando o UPS estava ativado.

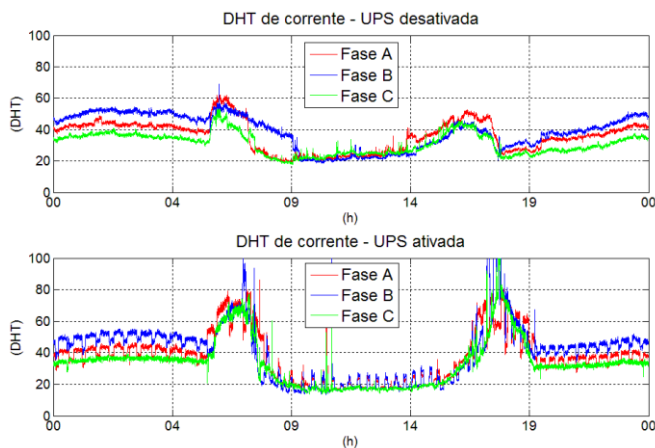


Figura 6: Nível de DHT de corrente sem e com UPS

As tensões de fase do CERIn também se mostram bem comportadas, geralmente variando entre os limites aceitos em [16]. Na Fig. 7 tem-se a tensão trifásica do CERIn do dia 26/10 em que se observa um pico de tensão, destacado em vermelho, que ocorreu no instante da reativação do UPS, às 13:57 h.

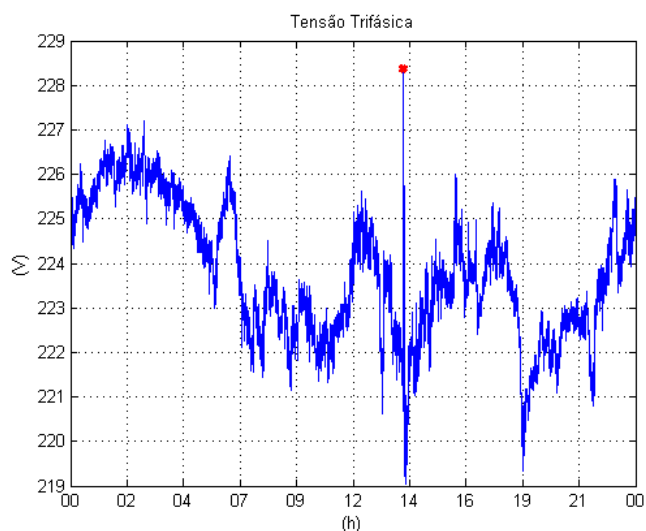


Figura 7: Pico de tensão na ativação do UPS

Como visto anteriormente a corrente varia proporcionalmente ao nível de geração solar, próximo das 12:00 h geralmente se observa o pico de corrente. Além disso, observa-se na Fig. 8 que no período de desativação do UPS, entre as linhas vermelhas, houve uma elevação do nível da corrente trifásica do CERIn em comparação com períodos em que o sistema ficou ativo, como em 23, 24 e 28 de outubro.

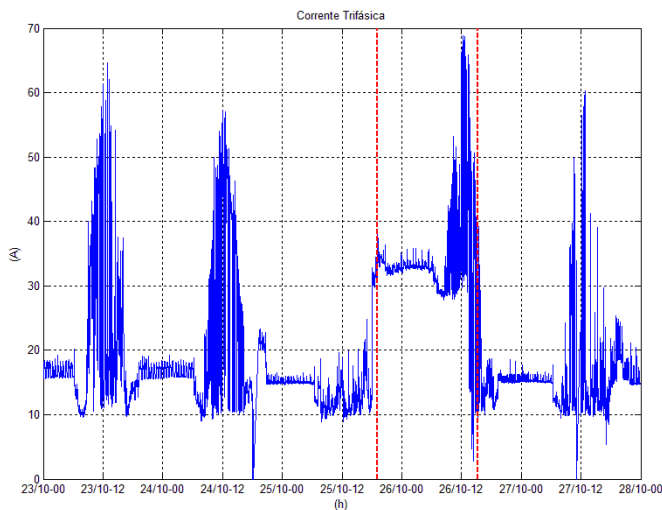


Figura 8: Mudança no nível de corrente com desativação do UPS

Como se vê na Fig. 9, a frequência do CERIn se mostra bem-comportada, geralmente variando entre os limites do PRODIST (ANEEL, 2017), de 59,9 Hz até 60,1 (Hz). Porém no caso do dia 26 de outubro houveram alguns pontos fora dos limites (destacados em vermelho). Um ponto abaixo da norma às 7:00 h, um ponto acima da norma às 13:57h e outro ponto acima da norma às 17:42 h. O ponto de pico das 13:57 h ocorreu concomitantemente com o horário que o UPS foi reativado como dito acima.

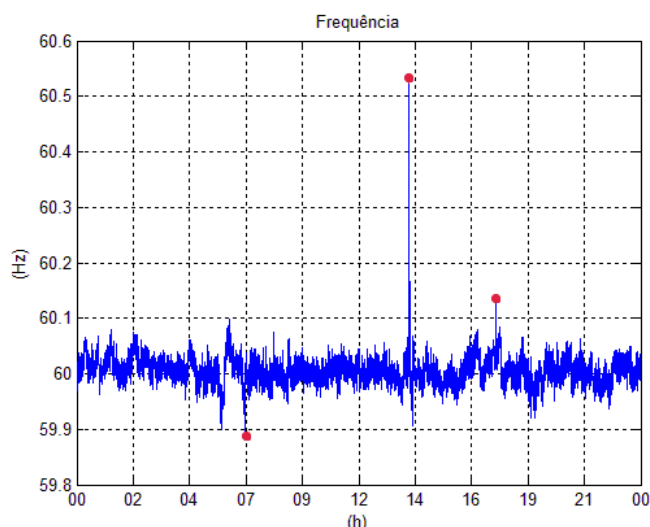


Figura 9: Pico de frequência com ativação do UPS

VI. CONCLUSÕES

Pode-se concluir deste trabalho que uma planta fotovoltaica de 27 kWp de geração por si só não traz impactos significativos na qualidade da energia elétrica da rede em relação a distorções de tensão. A DHT de tensão ficou a níveis mínimos (2%) em todo o período de 4 meses de medição. O desequilíbrio de tensão também não ultrapassou 0,5%, sendo que o limite do Prodist é de 2%.

Os principais pontos observados foram que a distorção harmônica de corrente é inversamente proporcional ao nível de potência ativa da geração. Observou-se níveis superiores a 60% de DHT de corrente nos períodos da manhã e do entardecer. Porém não há motivos para preocupação, porque a fórmula do DHT (1) leva em conta a distorção total em relação ao nível da corrente fundamental. Por isso, quando no início e final do dia a corrente fundamental é baixa (baixa irradiação), resulta-se em maiores distorções. No meio do dia, essa corrente é alta e o DHT de corrente cai (Fig. 4).

Outro ponto que chamou a atenção foi a forte influência do UPS ativo no sistema quanto a geração de harmônicos de corrente. O nível máximo da DHT de corrente com o UPS desligado não passava de 60%, porém com o mesmo ativo observou-se níveis acima de 75% (Fig. 6). Esse aumento se deve ao fato de que o UPS também tem uma etapa de conversão da energia CC em CA no descarregamento das baterias. Observou-se também uma elevação no padrão da onda de corrente do PAC (Fig. 8) porque o UPS alimenta algumas cargas em paralelo com a rede, e com este desativado a exigência por corrente da rede aumenta.

Em virtude da ativação do UPS ocorreram picos de tensão (Fig. 7) e frequência (Fig. 8).

O objetivo de integração de informações de métricas de desempenho de uma *microgrid* fotovoltaica em uma plataforma única de monitoramento foi cumprido.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Elipse Software pela doação das licenças do Elipse Power e do EPM, ao CNPq, INERGE, FAPEMIG e CAPES.

REFERÊNCIAS

- [1] Ekanayake, J.; Liyanage, K.; Jlanzhong Wu; Yokoyama, A.; Jenkins, N. "Smart grid - technology and applications." WILEY, 2012.
- [2] Testa, A.; Langella, R. "Harmonic pollution in Italian distribution networks in coincidence with important sport events." *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting, PES*, p. 1–7, 2007.
- [3] Uslar, M.; Trefke, J. "Applying the Smart Grid Architecture Model SGAM to the EV Domain". *28th EnviroInfo 2014 Conference*, 2014.
- [4] Nouredine, H.; Jean-Clause, S. "Smartgrids." (Book), ISBN: 978-1-84821-261-9, 2012.
- [5] Campos, B. P.; Silva, M. R. "Demand Forecasting in Residential Distribution Feeders in the Context of Smart Grids." *In: International Conference on Industry Applications*, 2016.
- [6] Chicco, G.; Schlabbach, J.; Spertino, F. "Characterisation and assessment of the harmonic emission of grid-connected photovoltaic systems." *2005 IEEE Russia Power Tech, PowerTech*, p. 1–7, 2005.
- [7] Torquato, R.; Trindade, F. C. L.; Freitas, W. "Analysis of the harmonic distortion impact of photovoltaic generation in Brazilian residential networks." *Proceedings of International Conference on Harmonics and Quality of Power, ICHQP*, p. 239–243, 2014.
- [8] Batrinu, F.; Chicco, G.; Schlabbach, J.; Spertino, F. "Impacts of grid-connected photovoltaic plant operation on the harmonic distortion." *MELECON 2006 - 2006 IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, p. 861–864, 2006.
- [9] Geibel, D.; Degner, T.; Hardt, C.; Antchev, M.; Krusteva, A. "Improvement of Power Quality and Reliability with multifunctional PV-inverters in distributed energy systems." *2009 10th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*, v. 1, n. 1, p. 1–6, 2009.
- [10] Pinto, R. J. C.; Calado, M. R. A.; Mariano, S. J. P. S.; Espírito-Santo, A. E. V. "Micro-generation with solar energy: Power quality and impact on a rural low-voltage grid." *Proceedings - 2015 9th International Conference on Compatibility and Power Electronics, CPE 2015*, p. 87–92, 2015.
- [11] Grady, W. M.; Thomas, H.; Razon, A. "An Evaluation Procedure for Estimating Voltage Ripple Caused by Cloud Shadows Moving Over High- Penetration PV Distribution Networks." *In: International Conference on Harmonics and Quality of Power*, 2014.
- [12] Farhoodnea, M.; Mohamed, a; Shareef, H.; Zayandehroodi, H. "Power quality impact of grid-connected photovoltaic generation system in distribution networks." *SCORED 2012 - 2012 IEEE Student Conference on Research and Development*, p. 1–6, 2012.
- [13] Gonzàles, P.; Romero, E.; Minambres, V. M.; Guerrero, M. A.; Gonzàles, E. Grid-connected PV plants. "Power quality and technical requirements." *9th International: 2014 Electric Power Quality and Supply Reliability Conference, PQ 2014 - Proceedings*, p. 169–176, 2014.
- [14] *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods - IEC 61000 4-30 Classe S*. 2015.
- [15] *Electromagnetic compatibility (EMC) - Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto - IEC 61000 4-7*. 2002.
- [16] ANEEL, A. N. de E. E. -. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica*. 2017.