

Estudo para Alocação de Sistema Fotovoltaico em Microrrede Particular Considerando Aspectos de Qualidade de Energia

¹M. F. Veiga, ¹C. T. A. Oliveira, ¹C. B. F. Darui, ¹T. G. Lucca, ²G. C. Flores, ¹D. P. Bernardon

¹Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Brasil

²Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus Santo Ângelo – Brasil
matheusfveiga@hotmail.com & carolanesi@hotmail.com

Resumo — Este trabalho propõe um estudo de caso para alocação de um sistema de geração distribuída fotovoltaica em uma microrrede particular sob os aspectos de qualidade do produto de energia. Definiu-se um sistema fotovoltaico (SFV) que suprisse parcialmente a demanda da microrrede, a fim de reduzir o valor da fatura mensal. Para as análises, foram escolhidos três cenários, considerando a área disponível para inserção do sistema e a capacidade da instalação elétrica existente em cada prédio. Realizou-se o monitoramento da microrrede para obter o diagnóstico das condições iniciais da mesma e então simular, através do *software* OpenDSS, as variações de potência, tensão e perdas obtidas após inserção do SFV. Os resultados indicaram pequenas variações no nível de tensão, que não excederam os limites definidos por norma. Para o fator de potência, foram registrados impactos negativos em todos os cenários. Em contrapartida, as perdas no sistema diminuíram em dois dos três cenários.

Palavras-chave— *Microrrede Particular, Geração Distribuída Fotovoltaica, Qualidade de Energia.*

I. INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira é formada, em sua maioria, por fontes renováveis (72,06%), o que é extremamente positivo para a sustentabilidade e a confiabilidade do Sistema Elétrico de Potência (SEP) [1]. Entretanto, o tipo de geração mais utilizado atualmente é o de hidrelétricas [2], o que acarreta em uma dependência às precipitações atmosféricas, fato esse que causa um crescimento na utilização de usinas térmicas para suprir a menor produção de energia das usinas hídricas em períodos de estiagem.

A fim de contrapor esse domínio de fontes hídricas, aumentaram-se os investimentos em geração distribuída (GD) a partir da Resolução Normativa 482 [3], criada em 2012 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a qual sofreu alteração em 2015, resultando na Resolução Normativa 687. Essa normativa possibilitou que qualquer consumidor pudesse gerar sua própria energia podendo injetá-la na rede da concessionária caso não a utilizasse em sua totalidade, gerando créditos de energia para serem usados posteriormente ou em outra unidade consumidora [3].

A GD, também conhecida como geração descentralizada, tem como características a instalação de fontes de geração em diferentes locais do sistema, visando aproximar essa geração do consumidor final [4]. Uma das formas de GD mais promissoras e utilizadas atualmente é a geração fotovoltaica [5]. A tecnologia fotovoltaica é vista por muitos como um caminho ideal para a geração de energia, pois é uma fonte

inesgotável e não poluente. É também, um método de produção de energia sustentável e amigável ao meio ambiente, trazendo benefícios tanto ambientais quanto energéticos [6].

Porém, com a inserção dos SFV, as condições de operação do SEP e a rede em que esse sistema é instalado podem sofrer alterações positivas ou negativas em reação à Qualidade de Energia (QE). Em vista disto, há a necessidade de se estudar e analisar a influência dos geradores distribuídos em relação às perdas elétricas, bem como os métodos para redução das perdas, visando minimizar e até mesmo evitar o aumento das perdas.

Desse modo, esse trabalho tem como objetivo definir o melhor ponto para a alocação de um SFV em uma microrrede, verificando, dentre os cenários possíveis, em qual deles há o menor impacto para o sistema. Para o estudo de caso, considerou-se três cenários diferentes em uma microrrede particular. Realizou-se o monitoramento dessa rede a fim de obter o diagnóstico das condições iniciais da mesma. Simulou-se, através do *software* OpenDSS [7] a inserção de um SFV de 120 kWp nos três cenários escolhidos e então verificou-se a alocação ótima, ou seja, em qual deles há menor perdas e alterações nos parâmetros de tensão e potência.

II. METODOLOGIA

O trabalho inicialmente apresenta a caracterização da rede elétrica, mostrando os parâmetros do sistema alvo de estudo. Em seguida, verificaram-se as características do SFV considerando aspectos relevantes, tais como os módulos fotovoltaicos e inversores.

Logo após, são propostos os cenários, caracterizando-os em relação ao SFV determinado. Para finalizar o estudo, simulou-se, através do *software* OpenDSS, a microrrede com e sem a inserção de SFV.

A. Caracterização da Rede Interna

O local escolhido para a realização das análises e simulações foi a rede interna da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI) – *campus* Santo Ângelo – RS (Brasil). Trata-se de uma microrrede, pois conta com geração própria no horário de ponta (gerador diesel 700 kVA) e redes de média e baixa tensão. Além disso, é atendida pelo Sistema de Distribuição de Média Tensão (SDMT), em 23,1 kV, pela concessionária Rio Grande Energia - RGE pertencente ao grupo CPFL. Essa microrrede atende 26 prédios e o seu diagrama unifilar pode ser observado na Figura 1.

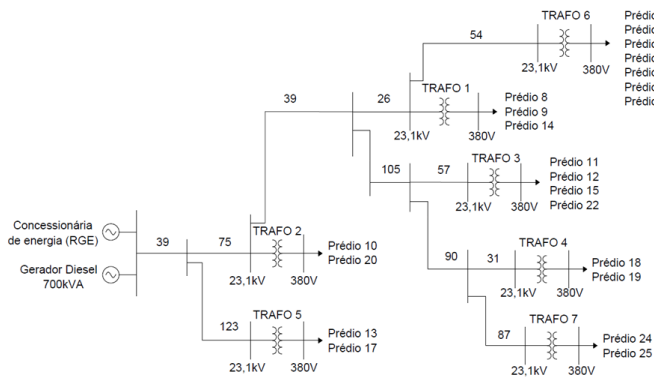


Fig. 1. Diagrama unifilar da microrrede interna da URI.

Como há apenas uma fatura de energia para todo o *campus* e os prédios não possuem medição individual para conhecimento de cada consumo separado, é necessário que seja feito um levantamento de dados com medidores de energia nos locais onde será realizado o estudo. Então, foram realizados monitoramentos de carga de alguns prédios para a obtenção dos dados de consumo e QE. Observou-se que os parâmetros de QE da microrrede nas condições iniciais permaneceram de acordo com os níveis adequados propostos pela ANEEL, módulo 8 do PRODIST [8]. Posteriormente, simulou-se os prédios com a inserção do SFV.

1) Módulo Fotovoltaico

Conforme verificado por [9], para suprir todo o consumo fora de ponta da universidade nos horários em que não há a utilização do gerador à diesel, necessita-se de um sistema com potência igual a 460 kW de geração solar.

Entretanto, como a área disponível nas coberturas dos prédios é limitada, definiu-se um SFV de 120 kWp, o qual irá suprir 28,57% da demanda de energia no horário fora de ponta. Este sistema irá ocupar uma área total de 800 m².

Além disto, o SFV não poderia ter uma geração maior que a corrente nominal do disjuntor instalado na entrada de energia de cada prédio analisado, isso porque com a conexão da GD, haverá fluxo inverso da mesma fora que o fluxo normal, e o disjuntor geral do prédio deve ser dimensionado para este fluxo também.

Os módulos solares escolhidos para compor o sistema de geração foram os da empresa *Canadian Solar* (Modelo CS6U 320P) de 320 Wp de potência cada, com células policristalinas [10]. Foi escolhido esse módulo pelo fato de as placas apresentam boa eficiência, cerca de 16,46%. A Tabela I apresenta os dados do módulo utilizado.

TABELA I. DADOS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO

G_{STC} (kW/m ²)	1
T_{STC} (°C)	25
γ (°C-1)	-0.004
P_{STC} (kW)	0.32
η (%)	16,46

Os dados de radiação solar e temperatura utilizados para o cálculo da potência média que cada módulo fotovoltaico produz no local foram obtidos da Estação Solarimétrica de São Martinho da Serra – RS, Fig. 2. Essa estação é validada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [11].

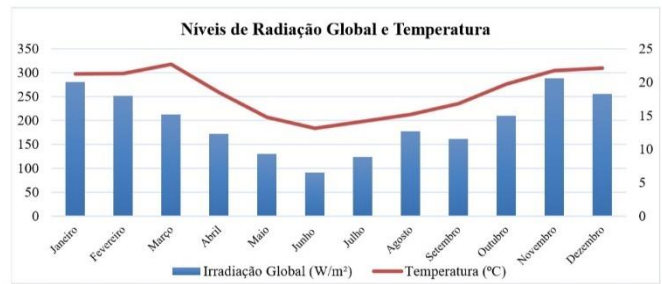


Fig. 2. Níveis de radiação e temperatura na Estação de São Martinho da Serra [11].

2) Inversores

Sabe-se que os módulos fotovoltaicos geram energia em corrente contínua (CC) e, como o SFV utilizado é *grid-tie*, ou seja, conectado à rede da concessionária, torna-se necessária a utilização de inversores que realizam a conversão da CC para corrente alternada (CA). Esses inversores são controlados por corrente (CSI - *Current Source Inverter*), o que significa que não compensam a potência reativa [12], mantendo todo o consumo de reativos da universidade através da rede da concessionária.

O inversor é imprescindível para o sistema pelo fato de que ele determina em sua saída os níveis de tensão e frequência, sendo fundamental que esses valores sejam equilibrados em comparação com os valores da rede da concessionária para que se garanta uma ótima geração.

O inversor escolhido foi o da marca *Fronius*, modelo Eco 25.0-3 [13]. É um equipamento de 25 kW, que tem limites de entrada de 66,3 A e 1000 V. Por se tratar de um sistema de 120 kWp, determinou-se a utilização de 6 inversores de 25 kW, totalizando 150 kW a fim de permitir que futuramente esse SFV possa ser expandido caso desejado ou necessário.

B. Cenários Analisados

Com o objetivo de verificar qual local no interior do *campus* da URI irá produzir impactos menores na QE da rede com a inserção do SFV, escolheu-se três cenários diferentes para análise, conforme mostrado na Fig. 3. O principal objetivo é selecionar entre os três prédios indicados nos cenários, o melhor para a instalação da GD.

1) Cenário 1 – Prédio 19 (ginásio)

A indicação do prédio 19 se deu pelo fato de apresentar uma grande área de cobertura comparada com os outros prédios, aproximadamente 2.604 m², sendo 1.302 m² voltados para o norte, onde é a melhor posição para geração de energia por meio do SFV. Além disso, ele está localizado no fim da microrrede da URI e pode ser considerado um dos prédios mais distante da entrada de energia do *campus*.

2) Cenário 2 – Prédio 20

A opção por analisar o prédio 20 para o cenário 2 ocorreu por se tratar de um prédio central do *campus* e o de maior consumo. A sua cobertura tem 945 m², desse total 322 m² orientados ao norte.

3) Cenário 3 – Prédios 13 e 17

Os prédios 13 e 17 são interconectados e são os prédios mais próximos da entrada de energia do *campus*. Possuem uma ampla área de cobertura: 1.570 m², sendo 850 m² do prédio 17 e 720 m² para o prédio 13.

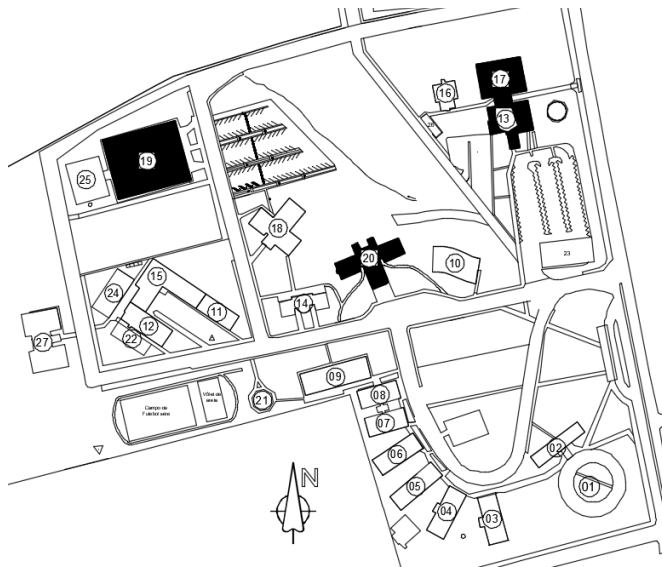


Fig. 3. Cenários escolhidos para análise. Adaptado de [14].

C. Simulação OpenDSS

O OpenDSS (*Distribution System Simulator*) é um *software* livre, podendo ser utilizado por qualquer usuário. Este *software* permite, de maneira eficaz, elaborar estudos e análises com um sistema dinâmico e exato [7].

Para a realização dos objetivos propostos, será necessário simular a representação da microrrede existente da universidade. Desta forma serão analisadas separadamente as simulações para cada cenário, observando o desempenho e impactos na microrrede com a inserção do SFV.

III. ANÁLISE DE RESULTADOS

A partir das simulações realizadas no *software* OpenDSS, analisou-se as variações de fluxo de potência da microrrede do *campus* antes e depois da inserção do SFV. Devido a alteração no fluxo de potência, a relação da potência ativa e reativa também se altera, desse modo, verificou-se as modificações do fator de potência. Analisou-se também os níveis de tensão no ponto de conexão da microrrede e as perdas obtidas em cada cenário definido depois da inserção do SFV.

A. Fluxo de Potência

As curvas de fluxo de potência observadas através das simulações realizadas no *software* OpenDSS foram normalizadas para um melhor entendimento, ou seja,

considerou-se que o comportamento do sistema elétrico apresentado de forma equilibrada, visto a proximidade de comportamento entre as fases analisadas.

As curvas de carga foram obtidas com base nos dados de medição e monitoramento de sete prédios do *campus*. Para os demais 19 prédios foi realizado um levantamento de carga e a partir disso, o consumo e demanda foram baseados na fatura de energia elétrica.

O fluxo de potência da rede do *campus* pode ser observado na Fig. 4, o qual considera a curva de apenas uma das fases no ponto de conexão da rede sem a inserção do SFV. Considerou-se que há equilíbrio entre as fases.

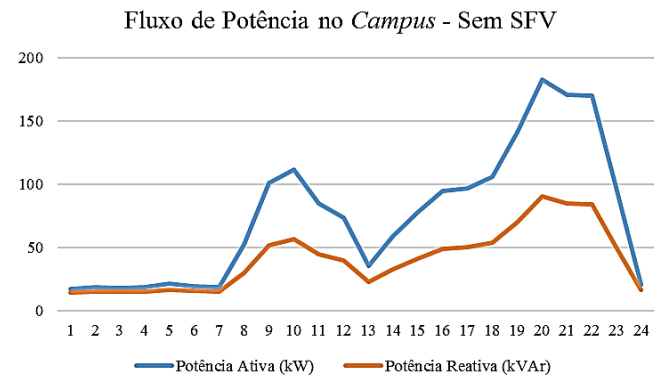


Fig. 4. Curva do fluxo de potência do *campus* sem SFV.

Como pode ser verificado na Fig. 4, durante o período da manhã a curva tem crescimento a partir das 7 horas, tendo seu pico de consumo na metade da manhã. As 13 horas há uma queda considerável no consumo, pois a administração não está funcionando e as salas de aula não estão sendo utilizadas, ficando ligados apenas os equipamentos em *stand by*. Na parte da tarde, da mesma forma que na manhã, há um consumo moderado, verificado por volta das 16 horas. O pico de consumo ocorre entre 19 e 22 horas, pelo fato de que a universidade possui em sua maioria cursos noturnos e, desse modo, seu maior consumo também se concentra no período da noite.

No período da madrugada há um consumo referente aos equipamentos em *stand by*, iluminação presente nos postes das ruas e aquecedores de água para chuveiros existentes em alguns prédios do *campus*.

Na Fig. 5, observa-se a curva do fluxo de potência com a geração fotovoltaica de 120 kWp. Estas análises são realizadas na medição (entrada de energia), observando o impacto do SFV em relação a toda a rede da universidade. Foi possível verificar, através das simulações, que a curva para os três cenários é igual, pelo fato de que o consumo do *campus* e a potência do SFV para os três não variarem.

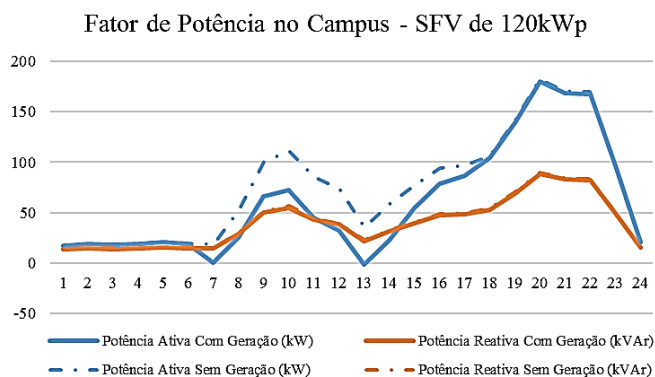


Fig. 5. Curva do fluxo de potência do Cenário 1 - Prédio 19.

Sabe-se que a geração do SFV no início da manhã é baixa, porém na Fig. 5, pode-se observar que às 7 horas o consumo do *campus* foi suprido apenas pelo SFV, chegando a um valor nulo na entrada de medição da concessionária. Esse fato ocorre porque nesse horário o consumo na universidade também é baixo.

Por volta das 10 horas, a potência ativa sem SFV (Fig. 4), atinge valor aproximado de 115 kW, já na Fig. 5, esse valor é reduzido para 72 kW devido à inserção da GD. Às 13 horas, verificou-se que há energia sendo injetada na rede da concessionária, pois a quantidade de geração nesse horário é maior que o consumo no *campus*. À noite, a curva do fluxo de potência permanece a mesma nas Figuras 4 e 5, pois não há geração de energia fotovoltaica nesse período. Ressalta-se que os valores de potência reativa não se alteram por conta do inversor utilizado no estudo.

B. Fator de Potência

Devido a alteração no fluxo de potência proporcionada pelo sistema de geração, a relação entre potência ativa e reativa também é modificada, impactando no fator de potência (FP) da microrrede.

Os níveis de FP foram analisados na entrada de energia da universidade, por conta do medidor estar instalado nesse local. Não é necessária a análise individual para cada cenário por ser do mesmo tamanho de SFV.

Na Figura 6, demonstra-se a curva que representa o FP no campus sem a geração do SFV.

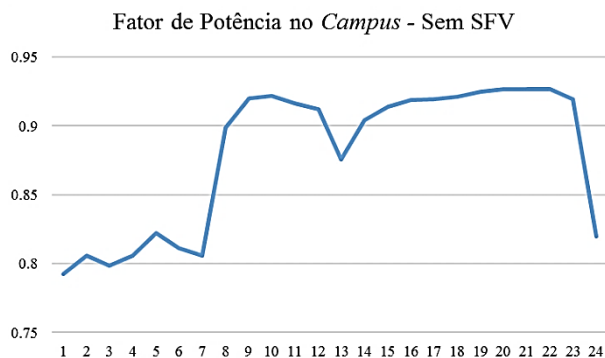


Figura 7. Curva do fator de potência para o Campus sem o SFV

O baixo FP pode ser explicado devido aos sete transformadores da rede interna da URI estarem operando próximo do zero, consumindo mais energia reativa [15].

Na Figura 7, compara-se os níveis de FP horário sem geração fotovoltaica e com a inserção do SFV.

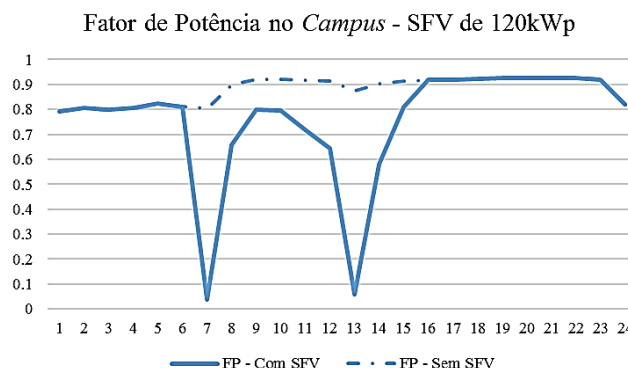


Fig. 7. Curva do fator de potência para o Campus com o SFV

Verifica-se que às 7h e às 13h o fluxo de potência ativa resultante é próximo à zero no ponto de conexão (Figura 7). Consequentemente, o FP observado nesse mesmo ponto é próximo de zero. Isso acontece porque o medidor bidirecional instalado na entrada de energia verifica que não está sendo fornecida potência ativa para a universidade, apenas a reativa, impactando no baixo FP.

Conforme recomendado pelo PRODIST Módulo 8, o fator de potência deve ser controlado por medição permanente. Tendo em vista que para unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230kV, o fator de potência no ponto de conexão deve variar entre 0,92 e 1,00 indutivo ou 1,00 e 0,92 capacitivo [8]. Em caso de valores do FP inferiores aos recomendados, a concessionária de energia cobrará uma multa por “excedentes de reativo”, por estar abaixo de 0,92 assim surge à necessidade de instalação de um banco capacitor automático para compensação de reativo.

C. Variações de Tensão

Para os níveis de tensão, em regime permanente, constatou-se algumas variações, conforme é mostrado nas Figuras. 8, 9 e 10. A análise dos níveis de tensão admitidos foi realizada no ponto de conexão do SFV e da rede interna, ou seja, no ponto de conexão do cenário analisado.

Através de dados obtidos no módulo 8 do PRODIST [8], verificou-se que, apesar das variações nos cenários do estudo de caso, os níveis de tensão permanecem dentro dos limites em todo período analisado e, portanto adequados.

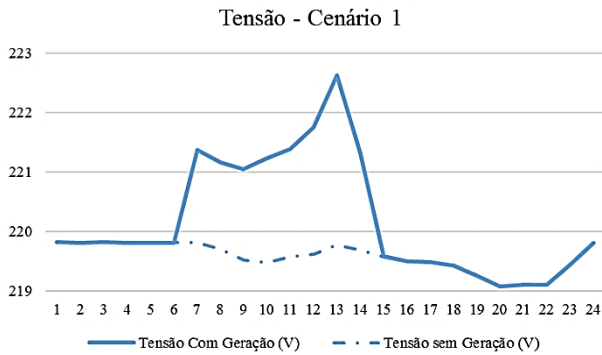


Fig. 8. Curva da variação de tensão do Cenário 1 - Prédio 19.

Conforme observado na Fig. 8, percebeu-se durante a manhã e tarde, no período em que há geração de energia através do SFV, ocorreu aumento dos níveis de tensão, destaca-se o período de máxima geração (13h) em que houve um acréscimo de quase 3V.

Durante a noite, sem o SFV e com a geração de energia pelo gerador a diesel, a tensão também variou levemente, ocorrendo uma diminuição, em torno de 0,5V. Ambas as variações de tensão estão em conformidade com as normas em vigência.

Para o Cenário 2 os níveis de tensão pode ser verificado no gráfico da Fig. 9.

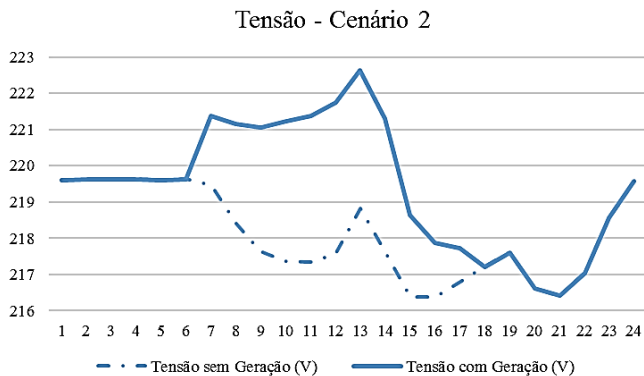


Fig. 9. Curva da variação de tensão do Cenário 2 - Prédio 20.

No cenário 2 (prédio 20), a variação de tensão foi bastante similar ao cenário 1 (prédio 19). Sendo assim, segue a mesma análise desta variação de tensão para o cenário anterior.

Verificou-se que os níveis de tensão sem o SFV estão abaixo de 219 V durante quase todo período de funcionamento do campus e que a inserção de GD corrige essa redução de tensão.

Na Fig. 10, observou-se a curva de variação de tensão para o cenário 3.

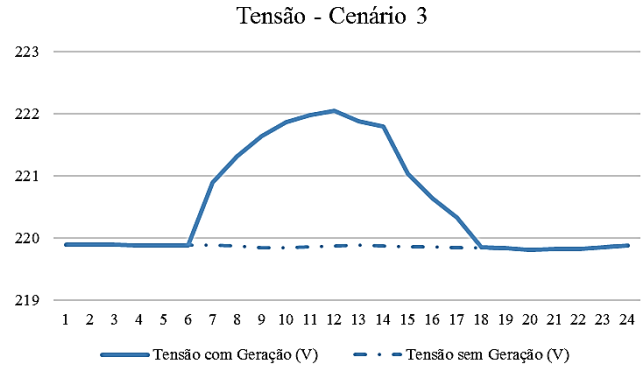


Fig. 10. Curva da variação de tensão do Cenário 3 - Prédios 13 e 17

A curva de variação de tensão do cenário 3 tem um pico máximo de aproximadamente 222V às 12h, ou seja, em um dos horários com maior geração do SFV. Essa variação é considerada baixa e não prejudicial aos equipamentos que são atendidos por este perfil de tensão. Assim considera-se que a SFV não prejudica o funcionamento da microrrede.

Utilizando como referência dados do PRODIST em seu módulo 8 [8], constatou-se que o aumento nos níveis de tensão na entrada de energia provocados pela instalação do SFV para os três cenários não ultrapassa os limites desejáveis.

D. Perdas de potência

Na Tabela II, tem-se os percentuais de perdas de potência na rede interna do *campus* sem o SFV, como forma de comparar com os três cenários analisados da inserção do SFV.

TABELA II. PERDAS NOS CENÁRIOS ANALISADOS

Cenário	Perdas (%)
<i>Campus</i> sem SFV	5,76%
Cenário 1	5,13%
Cenário 2	5,40%
Cenário 3	6,15%

Através da Tabela II, pode-se verificar que as perdas na rede do *campus*, sem SFV, chegam a 5,76%. Para os valores de perdas, é possível perceber que a maior redução de perdas ocorreu no cenário 1 do estudo de caso, ou seja, a inserção do SFV conectada a microrrede tem melhor rendimento se instalada o final do circuito. Isso ocorre porque a potência disponibilizada pelo SFV é totalmente consumida no prédio, reduzindo a energia necessária que a fonte na entrada da universidade precisa fornecer para suprir toda carga. Dessa forma, reduz a perda na rede interna.

Já o cenário 3, que considera o SFV na entrada da universidade, acaba disponibilizando mais energia para distribuir ao longo do circuito, o que aumenta as perdas.

Outro fator considerável para inviabilizar uma maior redução nas perdas é o fato do pico de geração do SFV não coincidir com o pico da demanda de carga da universidade, uma vez que a demanda máxima ocorre no período noturno e o auge da geração do SFV ocorre no período diurno. Nesse caso,

uma solução é a instalação de um banco de baterias para armazenamento de energia e despacho noturno para diminuir o pico de demanda.

IV. CONCLUSÃO

A geração de energia a partir de fonte solar, atualmente, é uma das opções mais promissoras e que mais cresce mundialmente. Desse modo, é de extrema importância realizar estudos sobre os impactos que essa fonte de energia é capaz de causar no sistema ao qual será interligado. As análises desenvolvidas nesse trabalho servem como base para estudos de conexão de sistemas fotovoltaicos à microrredes.

Com este trabalho, verificou-se que o *software* OpenDSS é de fácil compreensão e completo em suas simulações, pois atendeu as expectativas para chegar aos objetivos propostos. Confirmou-se sua confiabilidade junto aos resultados obtidos e mostrou-se ideal para lidar com sistemas reais.

O estudo proposto fez uso de uma microrrede real, sendo assim, foi necessário prever os fatores externos associados a geração distribuída, tais como os equipamentos do SFV, condições e características da rede, visando tirar uma melhor precisão de resultados. As simulações realizadas permitiram fazer a análise nos parâmetros de fluxo e fator de potência, variação de tensão e perdas de energia da microrrede estudada na presença dos três cenários de geração distribuída.

Quanto ao fluxo de potência, tem-se resultados semelhantes para os três cenários analisados, havendo um período em que a geração e a demanda se equivalem. Este parâmetro tem importância direta na redução da fatura de energia, sendo assim é um critério significativo para análise na escolha de alocação do SFV.

Em relação ao FP, como as leituras de excedentes de reativos foram realizadas na entrada de energia do *campus*, a simulação das variações do FP também foi executada nesse local. Por conta do SFV ser do mesmo tamanho (120kWp) para os três cenários analisados, o impacto foi idêntico. Durante os momentos em que a diferença de potência ativa consumida e gerada fica mais próxima de zero, menor é o FP, já que o inversor simulado não apresenta compensação de reativos. Para evitar o pagamento desse excedente, seria interessante a inserção de um banco de capacitores automático.

Para os resultados relacionados aos níveis de tensão, ao inserir o SFV, o mesmo pode se tornar um benefício para que em períodos de consumo elevado a tensão seja mantida nos níveis recomendados pelo PRODIST. Apesar da elevação de tensão quando o consumo é reduzido, esta variação não excede os limites estabelecidos por norma, tendo em vista que a variação de tensão é pequena e não influencia diretamente para um critério de decisão. Logo, em qualquer um dos três cenários do estudo de caso poderia ser inserido um SFV sem causar impactos negativos aos níveis de tensão da microrrede.

Os valores de redução de perdas apresentados pelos cenários também serviram como parâmetro na escolha do melhor cenário para inserção do SFV.

Por fim, verificou-se que por se tratar de uma microrrede, as variações obtidas nos parâmetros de qualidade de energia para os três cenários foram bastante similares. Desse modo, conclui-se que em dois dos três cenários onde ocorre a redução das perdas, somado ao controle do FP, o SFV poderia ser inserido respeitando os limites impostos pelo PRODIST na qualidade de energia da rede.

REFERÊNCIAS

- [1] BIG ANEEL, “Big - Banco de Informações de Geração,” 2017. [Online]. Available: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>.
- [2] S. B. da S. Junior, “Análise de operação de sistemas de distribuição utilizando o OpenDSS,” 2010.
- [3] ANEEL, “REN. 482/12, de 17 de Abril de 2012.” Brasília, DF, p. 30, 2012.
- [4] O. F. B. Angarita, “Alocação ótima de geração distribuída considerando perdas e desvios de tensão como aspectos econômicos,” 2015.
- [5] F. B. Prioste and C. B. S. Bastos, “Alocação ótima de geração fotovoltaica e seus impactos na rede elétrica através de análises QSTS,” 2014.
- [6] D. L. Marinowski, I. T. Salomoni, and R. Rütther, “Pré-Dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de Caso do Edifício Sede do CREA - SC,” 2004.
- [7] EPRI, “Distribution System Simulator, ‘OpenDSS.’” Sourceforge.net, 2017.
- [8] ANEEL, “Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica.” p. 76, 2016.
- [9] T. Lucca, “ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA A INSERÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EM UMA MICRORREDE PARTICULAR,” 2017.
- [10] CanadianSolar, “Datasheet MAXPOWER (1500 V) CS6U- 320,” 2016.
- [11] INPE, “Estação de São Martinho da Serra,” 2014.
- [12] F. L. Albuquerque, G. G. Caixeta, A. J. Morais, and S. B. Silva, “Análise da Curva de Carga em Prédios Públicos com Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Dotados de Compensação de Potência Reativa,” 2012.
- [13] Fronius, “Inversor Fronius Eco 25.0-3S,” *Fronius Brasil*, 2017. .
- [14] URI, “Mapa da Uri,” *II CIGECO*, 2012. .
- [15] COPEL, “Fator de Potência: Como Transformá-lo em um Fator de Economia,” *COPEL*, 2012.