

IMPACTOS DA INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Yuri Schneidereit de Melo, Arthur Costa de Souza, Carlos Eduardo Tavares
Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia-MG
Núcleo de Qualidade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG.
yurischme@hotmail.com; arthur_costasouza@hotmail.com, cetavares@eel.ufu.br.

Resumo - A energia elétrica é um dos pilares da evolução da humanidade e com o crescimento tecnológico das últimas décadas, tem sido cada vez mais solicitada pelos lares, indústrias e comércios do mundo inteiro.

A busca por energias renováveis e limpas é cada vez maior no Brasil e no mundo, sendo assim, a energia fotoelétrica é uma das que estão em ascensão e conseqüentemente a sua inserção em residências é cada vez mais comum. Devido a essa crescente instalação de sistemas fotovoltaicos, o estudo aprofundado dos impactos positivos e negativos causados à rede de distribuição de energia elétrica se torna primordial, para garantir, a boa qualidade da energia que chega a todos os consumidores conectados à rede da distribuidora.

Este trabalho busca apresentar, por meio de simulação computacional, os impactos causados pela instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, na forma de geração distribuída, utilizando para tal análise o software Simulink–Matlab.

Palavras-Chave - Energias renováveis, geração distribuída, qualidade da energia elétrica, Simulink – Matlab, sistemas fotovoltaicos.

IMPACTS OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS ON ELECTRICAL NETWORKS

Abstract - Electrical engineering is one of the pillars of humanity's evolution, and because of last decade's growth in technology, it has been more and more necessary in households, industries and businesses all over the world.

The search for clean and renewable forms of power gets more and more intense, not only in Brazil, but throughout the world. Therefore, photoelectric power is an uprising form of power, causing its use within households to become more common. Due to the mentioned uprising installation of photovoltaic systems, the thorough study of positive and negative impacts on the electricity distribution network comes to be of great importance to ensure good energy quality to all the consumers connected to the distribution network.

By the use of computational simulation, this work intends to evidence the impacts caused by the installation of photovoltaic systems connected to the power grid, which is shown as distributed generation. Such analysis will be possible with the help of Simulink–Matlab software.

Keywords - Distributed generation, energy quality, photovoltaic systems, renewable energies, Simulink – Matlab.

I. INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos sofreu na última década um significativo crescimento no Brasil e no mundo, em 2013 a capacidade mundial instalada chegou a 139 GWp, resultado de incentivos promovidos em países como Estados Unidos, Alemanha, Áustria e China [1].

Em 2015, no Brasil, o até então ministro de minas e energia, Eduardo Braga, assinou uma portaria criando o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), para incentivar a instalação de sistemas de geração de energia elétrica pelos próprios consumidores. Com isso, algumas das ações que foram aprofundadas pelo ProGD são: Isenção de ICMS e PIS/Cofins sobre a energia gerada pelo consumidor; redução do imposto de importação incidentes em bens de capital utilizados para confeccionar equipamentos de geração de energia elétrica fotovoltaica; apoio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) por meio da lei nº 13.203, de 8 de dezembro de 2015, onde existe a possibilidade de redução de taxas para projetos de eficiência energética e geração distribuída em escolas e hospitais públicos [2] [3].

Espera-se que até 2030 o custo da instalação de sistemas de geração distribuída caia pela metade e que a capacidade instalada cresça 23.500MW sendo o sistema fotovoltaico um dos principais componentes deste número. Desta forma os impactos ambientais provenientes de alguns meios de geração de energia elétrica convencionais como hidrelétrica e térmica por carvão seriam reduzidos.

Até o ano de 2000 os sistemas fotovoltaicos eram em sua grande maioria isolados, ou seja, não conectados à rede de energia da concessionária. Atualmente, segundo dados da *European Photovoltaic Industry Association* (EPIA) 95% dos sistemas fotovoltaicos são conectados à rede (SFCR). A expectativa mundial segundo a *International Energy Agency* (IEA,2010) relativa a distribuição da matriz fotovoltaica é que em 2020, 60% da geração fotovoltaica seja proveniente dos comércios e residências, enquanto as usinas fotovoltaicas



XIV CEEL - ISSN 2178-8308
03 a 07 de Outubro de 2016
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

representariam 30% do total, sendo os 10% restantes provenientes de sistemas isolados. [1]

II. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A geração de energia elétrica em sistemas fotovoltaicos se dá por meio do efeito fotoelétrico que ocorre nas células fotovoltaicas. Quando uma radiação eletromagnética atinge o módulo solar, composto de um arranjo de células fotovoltaicas, que é dopada do tipo P-N, P positiva e a N negativa, elétrons se movem livremente o que possibilita o surgimento de uma diferença de potencial nos terminais do módulo solar em nível de corrente contínua (CC).

Um painel fotovoltaico é o arranjo de módulos fotovoltaicos que por sua vez são arranjos de células fotovoltaicas. Já um sistema fotovoltaico, é composto de vários equipamentos em conjunto com o painel solar para a devida conversão e adequação da energia elétrica gerada para sua utilização [1].

Os sistemas fotovoltaicos mais comuns são os utilizados em nível de baixa tensão em corrente alternada (CA), para essa adequação alguns aparelhos são necessários:

- **Inversor:** O inversor é responsável pela conversão da corrente contínua gerada pelos painéis fotovoltaicos em corrente alternada. Além disso, também realiza o sincronismo da rede com a tensão gerada pelo sistema fotovoltaico onde está conectado (no caso de SFCR) [4].
- **Controlador de Carga:** É um equipamento que realiza o carregamento correto das baterias sendo utilizado em sistemas que as possuem, os quais armazenam a energia excedente. Geralmente são usados em sistemas isolados, ou seja, não possuem conexão com a rede elétrica. Podem ser do tipo MPPT ou PWM.

O MPPT funciona utilizando o ponto máximo de potência para realizar o carregamento dos bancos de baterias, sendo mais eficiente que o PWM. Entretanto, o PWM possui um custo menor, o qual trabalha utilizando a modulação do pulso para adequar a tensão para carregamento das baterias [1].

- **Baterias:** São responsáveis pelo armazenamento da energia gerada pelos painéis solares para uma eventual utilização caso a incidência solar seja reduzida ou inexistente. Assim como o controlador de carga estão presentes basicamente nos sistemas isolados (off-grid).

Encontram-se associadas em bancos de acordo com a necessidade e capacidade do sistema.

- **Medidor de energia bidirecional:** É o equipamento conectado ao ramal de entrada pela concessionária o qual é responsável pela medição da energia elétrica, que por meio do fluxo de potência nos dois sentidos, reconhece se a unidade está consumindo ou gerando energia, para assim efetuar a contagem dos créditos para uma compensação futura.

A. Tipos de células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas podem ser compostas de diversos materiais destacando-se o silício pela sua predominância na maioria dos sistemas atualmente instalados.

As principais células fotovoltaicas fabricadas são [5]:

- **Células monocristalinas:**

São construídas a partir do silício em forma de cristal totalmente puro, são de difícil fabricação e possuem uma eficiência em torno de 16%.

Possuem uma vida útil de 20 a 40 anos.

- **Células policristalinas:**

São constituídas de vários cristais de silício, sendo o custo de sua fabricação inferior ao das células monocristalinas. Possuem uma eficiência de aproximadamente 13% e uma vida útil de 20 a 40 anos.

- **Células de silício amorfo**

As células de silício amorfo são fabricadas na forma de filmes finos na tentativa de economizar material semicondutor. Sua eficiência é de aproximadamente 9% e possuem um custo inferior se comparado com as demais células, com vida útil de 15 a 25 ANOS.

B. Tipos de sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCR), sistemas fotovoltaicos isolados (SFI) ou sistemas híbridos.

1) Sistema conectado à rede

Os SFCR's também chamados de Grid-tie, são mais eficientes pois injetam o excedente gerado na rede o qual pode ser utilizado como crédito posteriormente. Além disso, necessitam de inversores que possuem sistemas de sincronismo e anti-ilhamento. É importante ressaltar que dispensam a utilização de baterias, consequentemente não utilizam controladores de carga [1].

2) Sistema Isolado

Os sistemas fotovoltaicos isolados necessitam de bancos de baterias e controladores de carga para armazenar o excedente de energia elétrica gerado e garantir sua utilização quando a irradiação solar for insuficiente elevando o custo do sistema. São mais comuns em unidades onde a rede elétrica não é acessível, como por exemplo, em regiões remotas, localidades rurais, rodovias entre outros.

Os inversores dos sistemas fotovoltaicos isolados possuem custo inferior por não apresentarem mecanismos de sincronismo com a rede elétrica, já que não estão conectados entre si [1].

3) Sistema híbrido

Os sistemas Híbridos são compostos de mais de uma fonte de energia, geralmente renovável e limpa. Sua associação mais comum é de sistemas fotovoltaicos e eólicos integrados, assim, existe a possibilidade de produção de energia quando uma das duas fontes de geração está ausente, tornando o sistema mais confiável.

III. METODOLOGIA

O software utilizado para simular a rede e o sistema fotovoltaico foi o Matlab 2016 e sua ferramenta *Simulink*, o qual possibilita através de diagramas de blocos modelar sistemas, para assim, ser executada a simulação e análise de sistemas dinâmicos.

Os tempos de simulação podem variar de acordo com a capacidade de processamento do computador utilizado. O sistema utilizado para adequação está presente na biblioteca do *Simulink* e pode ser acessado através do comando: “power_PVarray_3500W” que deve ser digitado na caixa de comandos do Matlab. Assim é aberta uma janela da ferramenta *Simulink* automaticamente.

1) Componentes do sistema analisado

- Painel fotovoltaico:

O bloco do painel fotovoltaico possui como dados de entrada a temperatura (graus celsius) e a irradiância solar (W/m^2), que nesse modelo são $25C^\circ$ e $1000W/m^2$ respectivamente. Como dados de saída, tem-se a tensão em corrente contínua e define-se o “meas_PV” para o inversor localizar o ponto de máxima potência (MPPT).

O painel fotovoltaico em questão possui 14 módulos conectados em série com os seguintes parâmetros apresentados na Tabela I:

TABELA I. PARAMETRIZAÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Trina Solar TSM-250PA05.08	
Dados de entrada	
Potência máxima	249,86W
Tensão de circuito aberto (Voc)	37,6V
Tensão de operação (Vmp)	31V
Coeficiente de temperatura Voc (%/deg.C)	-0,35
Células por módulo (Ncell)	60
Corrente de curto circuito (Isc)	8,55A
Corrente de operação (Imp)	8,06 A
Coeficiente de temperatura Isc (%/deg.C):	0,06
Resistência Shunt (Rsh)	301,8149 Ω
Resistência série (Rs)	0,247 Ω

- Controlador do inversor:

Possui cinco subsistemas baseados no *Simulink*:

1. O controlador *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), que rastreia o ponto de máxima potência baseado na técnica perturba e observa. O sistema MPPT varia automaticamente a regulação da tensão contínua no inversor para obtenção de uma tensão que irá proporcionar a potência máxima.
2. Regulador VDC que determina a corrente requerida Id (corrente ativa) para referência no regulador de corrente.

3. Regulador de corrente, que possui a função de, baseado nas correntes de referência (Id e Iq), determinar a tensão de referência requerida para o inversor.
4. *Phase Locked Loop* (PLL), que realiza o sincronismo com a rede em que o inversor se encontra conectado por meio do sinal de realimentação.
5. Gerador PWM, responsável por gerar sinais para o inversor usando o método PWM de modulação bipolar.

- Conversor CC/CA:

O inversor ou conversor, associado ao seu controlador, utiliza o módulo com PWM controlado monofásico. É responsável por converter a tensão em corrente contínua para uma forma de onda senoidal com a frequência, módulo e fase desejado.

- Filtro LCL:

Composto por indutores e um capacitor para reduzir a injeção de harmônicas na rede. Com o propósito de modelar os indutores e capacitores com as características mais próximas da realidade possível, os mesmos possuem resistências em série [6].

- Capacitores shunt:

O modelo possui dois pequenos capacitores nos terminais positivo e negativo do painel fotovoltaico que representam capacitâncias parasitas entre o painel e o solo.

- Carga:

O exemplo possui duas cargas conectadas ao sistema fotovoltaico.

- Transformador:

Após as cargas o exemplo do Matlab possui um transformador linear 120/120/14400V de 75 KVA.

- Fonte senoidal:

No lado de média tensão do transformador, tem-se uma fonte senoidal de 14,4Kv

- Medidores:

Além dos elementos do sistema, o exemplo possui diversos medidores de tensão, corrente, e irradiância.

2) Parametrização do sistema

Para inserir o sistema fotovoltaico do exemplo presente na biblioteca do Matlab na rede elétrica utilizada nos estudos deste trabalho, se fez necessária algumas adequações em

termos de potência, nível de tensão, etc. As modificações foram realizadas, basicamente, com as seguintes ações:

Primeiramente foi retirado a carga, o transformador e a fonte senoidal de 14,4KVA, restando os demais componentes. Posteriormente o painel fotovoltaico foi modificado conforme ilustra a Tabela II:

TABELA II. PARAMETRIZAÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO

KD135SX-UPU	
Dados de entrada	
Potência máxima	135,01W
Tensão de circuito aberto (Voc)	22,1V
Tensão de operação (Vmp)	17,7V
Coefficiente de temperatura Voc (%/deg.C)	-0,30
Células por módulo (Ncell)	60
Corrente de curto circuito (Isc)	8,37A
Corrente de operação (Imp)	7,63 A
Coefficiente de temperatura Isc (%/deg.C):	0,1
Resistência Shunt (Rsh)	171,3 Ω
Resistência série (Rs)	0,3 Ω

Além disso, o controlador do inversor foi modificado para se adequar às características do painel fotovoltaico e da rede. A irradiância do projeto original foi também alterada para garantir aproximadamente 1000w/m² constantemente e foi inserido um medidor de tensão na saída do sistema e duas portas para ligar o sistema ao modelo da rede.

3) Rede de distribuição utilizada nos estudos

Foi utilizada como base a rede de distribuição apresentada na referência [1]. Esta foi modelada com elementos comuns de uma rede real e com instrumentos de medição nas barras para ser efetuada a leitura dos dados após a simulação.

Na Fig. 1, pode-se acompanhar a estrutura básica da rede e também observar que existem dois sistemas fotovoltaicos “PV” e “PV3” conectados ao barramento 6 e cargas não lineares nos barramentos 5, 10 e 14.

Todos os sistemas fotovoltaicos estão em conexão com a fase “A” e o neutro da barra. Quando foram realizadas as simulações, os sistemas foram analisados separadamente, sendo assim, foi utilizada a opção “Comment Out” (Ctrl + Shift + X) no sistema fotovoltaico a ser desconsiderado, para assim ser possível utilizar a mesma rede e simular ambos os casos.

- Gerador trifásico de média tensão:

O sistema possui um gerador trifásico de 13,8KV responsável por gerar toda a energia elétrica do modelo, com exceção da proveniente do sistema fotovoltaico que foi inserido na rede.

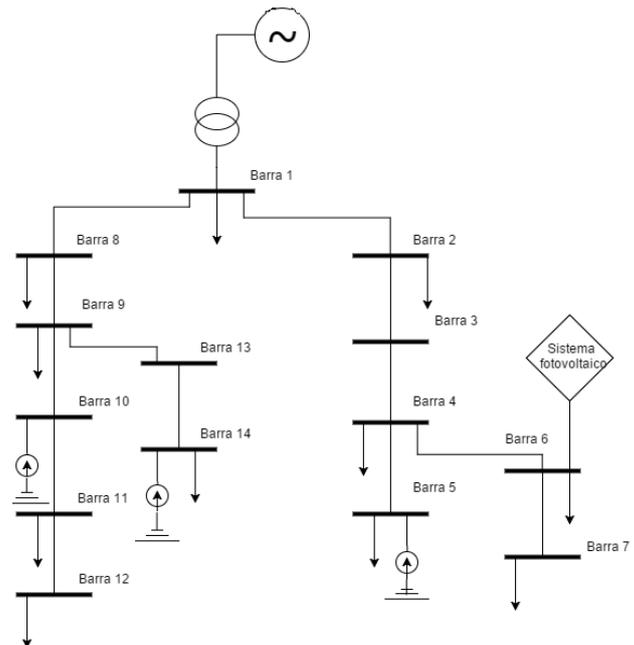


Fig. 1: Diagrama unifilar da rede.

- Transformador trifásico:

Para reduzir a tensão ao nível residencial de 220V o modelo conta com um transformador trifásico tipo DELTA-ESTRELA de 45KVA.

- Barramento:

O sistema modelado possui um total de 14 barras, nas quais podem ser acessadas informações referentes a valores e características elétricas no ponto em questão.

Ao acessar o bloco, o usuário pode ter informações de tensão e fator de potência, bem como as formas de ondas devidamente sobrepostas no plano.

- Cargas:

O modelo da rede possui 11 cargas trifásicas distribuídas pelos barramentos do sistema. Apenas as barras 3, 10 e 13 não possuem cargas diretamente ligadas.

Os valores dessas cargas variam de acordo com sua posição.

- Perda das linhas:

Para representar as perdas que ocorrem nos condutores no decorrer da transmissão da energia elétrica, impedâncias em série foram instaladas. No interior do bloco representativo destas impedâncias é possível verificar a presença de um amperímetro para a medição da corrente que flui pelas barras.

- Medidor de fator de desequilíbrio:

Outro bloco presente no sistema é o subsistema com o medidor de desequilíbrio, responsável por efetuar os cálculos referentes a esse fator e mostra-los numericamente.

O fator de desequilíbrio (FD) é definido pela relação da tensão de sequência negativa com a de sequência positiva.

- Medidor de tensão RMS:

Medidores de tensão RMS foram instalados em todas as barras do sistema da rede elétrica modelada para informar ao usuário, durante a simulação, qual o valor das tensões em cada fase.

- Cargas não lineares:

Como é comum em sistemas reais a presença de cargas não lineares que injetam harmônicas na rede. No modelo utilizado existem 3 destas cargas em um subsistema com fontes de corrente associadas que possuem frequências de 180,300 e 430 Hz ou seja 3ª, 5ª e 7ª harmônicas.

- Sistema fotovoltaico:

A rede elétrica modelada possui três sistemas fotovoltaicos idênticos preexistentes conectados à barra 6, modelados conforme referência [1]. Posteriormente, foi instalado na mesma barra um outro sistema fotovoltaico, objeto de estudo deste trabalho, o qual foi proveniente de modificação e adequação de um exemplo encontrado na biblioteca do Matlab-*Simulink*. Os parâmetros dos dois tipos de sistemas são semelhantes para uma comparação e validação dos resultados das simulações.

IV. RESULTADOS

Foram realizadas simulações de três casos diferentes para estudo na mesma rede, com o intuito de comparar os resultados da seguinte forma:

- Caso 1: Este primeiro caso foi a simulação da rede sem nenhum sistema fotovoltaico conectado, com o objetivo de levantar quais são as características elétricas normais, ou seja, sem a interferência de outra fonte de geração.
- Caso 2: O segundo caso consistiu na simulação utilizando o sistema fotoelétrico modelado na referência [1] para servir de base para a validação dos resultados provenientes do “Caso 3”.
- Caso 3: No terceiro caso utilizou-se o sistema fotovoltaico que foi parametrizado, utilizando como base o bloco de sistema fotovoltaico presente na biblioteca do Matlab, cujos parâmetros foram adequados para a realidade do sistema elétrico em questão.

Todas as simulações foram realizadas para análise com tempo de 0.2 segundos, tempo suficiente para o sistema entrar em regime permanente. A duração da simulação para gerar dados nesse intervalo de tempo variou de acordo com cada caso estudado.

A. Comparações dos três casos

Comparando os três estudos de caso, podem ser feitas as seguintes considerações:

- Dos dois sistemas fotovoltaicos, percebe-se que o terceiro caso apresentou o menor tempo de simulação (40 minutos), enquanto o sistema fotoelétrico modelado para o caso 2 levou mais de duas horas para a simulação finalizar totalmente. Nos dois casos, com a implementação dos sistemas fotovoltaicos, houve variação em todos os fatores de potência e não somente aos relacionados à fase A.
- O fator de desequilíbrio foi inferior no “Caso 3”, extrapolando por pouco os limites exigidos nas normas, diferente do “Caso 2” onde foi encontrado níveis próximos a 12% de FD%. A maior elevação de tensão na fase “A” no “Caso 2” justifica parte dessa discrepância.
- O fator de potência foi influenciado tanto no “Caso 2” como no “Caso 3”, vale ressaltar que muitos dos níveis de FP nas barras já se encontravam inadequados antes da instalação do sistema fotovoltaico, porém com a simulação destes sistemas, foi possível perceber uma piora nesses níveis de fator de potência, principalmente no “Caso 2”.
- Outro ponto a ser analisado é a tensão das fases nas barras do sistema. Nota-se que o sistema fotovoltaico do “Caso 2” elevou a tensão na fase “A” mais que o “Caso 3”. Essa discrepância pode ser justificada pelo fato do sistema fotovoltaico ter sido modelado com características diferentes. Pode-se acompanhar os níveis de tensão nas barras pela tabela III.

TABELA III. COMPARATIVO DAS TENSÕES NAS BARRAS

	Caso 1			Caso 2			Caso 3		
B A R R A	Va (V)	Vb (V)	Vc (V)	Va (V)	Vb (V)	Vc (V)	Va (V)	Vb (V)	Vc (V)
1	126.8	126.8	126.8	126.8	126.8	126.8	126.8	126.8	126.8
2	126.6	126.6	126.6	126.8	126.5	126.6	126.6	126.6	126.6
3	110.7	110.7	110.7	114.4	110.5	111.2	112.2	110.7	110.8
4	109.3	109.3	109.3	113	108.9	109.8	110.8	109.2	109.4
5	102.8	102.8	102.8	106	102.4	103.5	104	102.7	102.9
6	106.9	106.9	106.9	111	106.5	107.7	108.8	106.8	107.1
7	104	104	104	107.7	103.6	104.8	105.7	103.9	104.1
8	124.1	124.1	124.1	124.1	124.1	124.2	124.1	124.1	124.2
9	121.9	121.9	121.9	121.8	121.8	122	121.9	121.9	121.9
10	118.4	118.4	118.4	118.4	118.4	118.5	118.4	118.4	118.5
11	107.7	107.7	107.7	107.4	107.6	108.1	107.7	107.7	107.8
12	103.1	103.1	103.1	102.7	103.1	103.7	103.1	103.1	103.2
13	114.2	114.2	114.2	114	114.1	114.4	114.2	114.2	114.2
14	109	109	109	108.7	108.9	109.4	108.9	108.9	109.1

Observando a tabela III, nota-se uma grande similaridade com relação à tensão RMS nos casos em que existe a conexão

de sistemas fotovoltaicos, diferindo por volta de 2V de tensão na barra de conexão.

Nota-se também que na simulação do segundo e terceiro caso, as tensões da fase A nos barramentos 1 a 7 são iguais ou superiores à tensão do primeiro caso, porém nos barramentos 8 a 14 são iguais ou inferiores.

Os comportamentos das formas de onda foram similares, diferindo basicamente nas características e ordem das harmônicas presentes na onda fundamental, que por sua vez pode ser consequência da diferença entre os filtros presentes em cada modelo. As formas de onda no segundo e terceiro caso, apresentaram variações de tensão quando próximas ao barramento 6 e harmônicas provenientes das cargas não lineares.

A Fig. 2 apresenta a comparação das formas de onda de tensão no barramento 6, onde em ambos os casos houve a conexão do sistema fotovoltaico em análise. Ao topo da figura, tem-se a forma de onda referente ao “Caso 1”, logo abaixo a do “Caso 3” e por último o “Caso 2”.

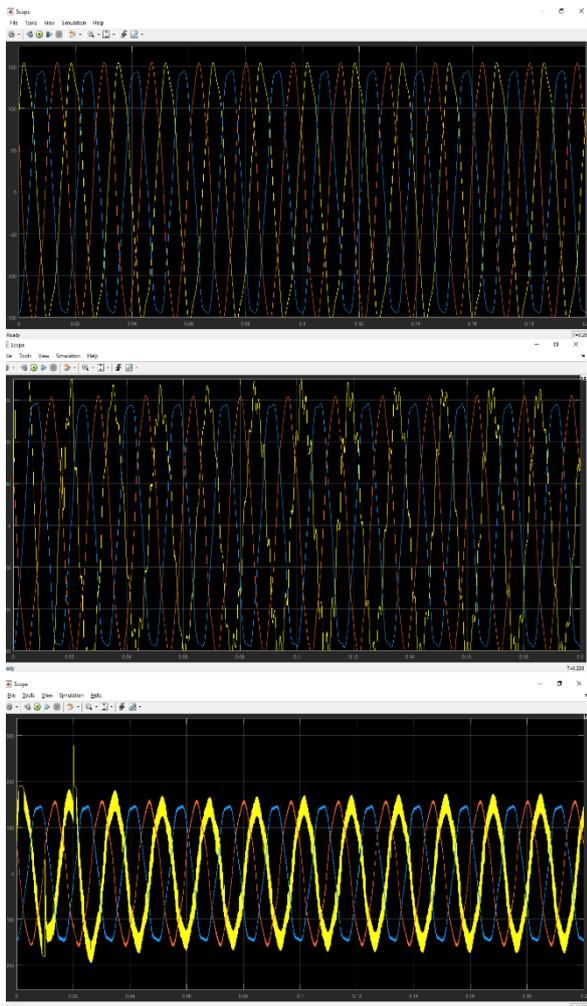


Fig. 2: Formas de onda de tensão barramento 6

Apesar de estarem em escalas diferentes as formas de onda apresentaram diferenças quanto às características de presença de harmônicas e ruídos provenientes do sistema fotovoltaico, porém vale ressaltar que o comportamento tanto do “Caso 2” como do “Caso 3” foram similares. Pode-se contar que ambas

causaram na rede: elevação de tensão na fase de instalação, distorções harmônicas na rede, mudança no fator de potência, aumento de fator de desequilíbrio e transitórios de energização.

Assim, mesmo com algumas características diferentes, os dois modelos atendem a premissa básica de simular um sistema fotovoltaico na rede de distribuição.

V. CONCLUSÃO

Após todas as análises, chega-se à conclusão que o objetivo foi alcançado. O modelo exemplo presente no *Simulink* foi devidamente alterado e a simulação funcionou corretamente na rede de estudo. Os valores e características elétricas foram similares quando comparados o segundo e terceiro caso. Notou-se que os dois modelos possuem aspectos positivos e negativos além de ambos retornarem valores plausíveis quando foi realizada a simulação computacional de um sistema fotovoltaico, verificando os possíveis impactos e dimensões provenientes de sua instalação na rede.

Para uma próxima pesquisa, a implementação de um exemplo bifásico deve ser objetivada.

Além disso, trabalhos de medição em sistemas fotovoltaicos reais associados à modelagem de uma rede de distribuição mais próxima à realidade pode ser objeto de estudo para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- [1] Souza, A. C. “Análise dos Impactos da Geração Distribuída por Fonte Solar Fotovoltaica na Qualidade da Energia Elétrica”. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.
- [2] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. DEA 19/14: Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos. Rio de Janeiro, 2014. 60 p. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série Estudos de Energia/DEA 19 - Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil - Condicionantes e Impactos VF \(Revisada\).pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20-%20Inserção%20da%20Geração%20Fotovoltaica%20Distribuída%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20(Revisada).pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2016.
- [3] BRASIL. Assessoria de Comunicação Social. Ministério de Minas e Energia (Org.). Brasil lança Programa de Geração Distribuída com destaque para energia solar. 2015. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outstrasnoticias//asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030>. Acesso em: 01 jun. 2016.
- [4] LANGERHORST, Diego Rizzi. Estudo das Perdas em um sistema de distribuição de energia elétrica devidas ao controle de potência reativa em um gerador solar fotovoltaico. 2013. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
- [5] BRUNO MONTEZANO. As Energias Solar e Eólica no Brasil. Rio de Janeiro: Cepel, 2010. 54 slides, color.
- [6] A., Reznik et al. LCL Filter Design and Performance Analysis for Grid Interconnected Systems. Golden: Colorado School Of Mines, 2000. 7 p.