

# ANÁLISE DO IMPACTO DA INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE BAIXA TENSÃO: UM ESTUDO DE CASO

Wemberson J. R. D. Júnior<sup>1</sup> (EG), Olívio C. N. Souto<sup>1</sup> (PQ)

<sup>1</sup>Instituto Federal de Goiás, *Câmpus Itumbiara*.

**Área do Conhecimento: Engenharias.**

## Resumo

*Este trabalho tem como objetivo analisar os impactos da instalação de sistemas fotovoltaicos em redes de distribuição de baixa tensão por meio de ferramentas computacionais. Os estudos serão baseados em uma rede real modelada no OpenDSS, verificando os impactos na tensão da rede, o índice de desequilíbrio de tensão, o carregamento no transformador, entre outros. Para a simulação foi conectada os sistemas fotovoltaicos um à um para analisar as consequências na distribuição.*

**Palavras-chave:** *Capacidade de Hospedagem; Geração Distribuída; Rede de Distribuição; Sistemas Fotovoltaicos.*

## Introdução

O emprego de geradores fotovoltaicos conectados ao sistema de distribuição de energia elétrica tem apresentado um crescimento significativo na última década. No Brasil o aumento tem sido exponencial em função dos marcos regulatórios estabelecidos pela ANEEL. A geração distribuída fotovoltaica pode apresentar impactos para ambos consumidores e concessionárias de energia uma vez que pode vir a influenciar significativamente o fluxo de potência, o perfil de tensão, a estabilidade do sistema elétrico e a qualidade da energia elétrica. Como resultado, os Operadores de Rede de Distribuição estão encontrando dificuldades para permitir que os clientes continuem a instalar a tecnologia, pois há muitas incógnitas associadas à capacidade da rede para acomodar a geração fotovoltaica sem que se comprometa os níveis de tensão, bem como os impactos nos itens de qualidade da energia elétrica provenientes dos sistemas fotovoltaicos.

O estudo das consequências trazidas pela conexão de um número significativo de geradores fotovoltaicos possibilita o planejamento correto da operação do sistema de distribuição, evitando assim, a degradação da qualidade da energia elétrica fornecida aos consumidores.

Os impactos oriundos do alto nível de penetração de geração fotovoltaica nas redes radiais de distribuição podem ser divididos entre aqueles associados aos parâmetros que definem um sistema elétrico com qualidade da energia adequada e aqueles inerentes às condições operacionais tais como: elevação dos níveis de curto-circuito, alteração do fluxo de carga, modificação do perfil de perdas elétricas, entre outros. As redes de distribuição possuem um planejamento a ser seguido para sua expansão e ele deve considerar a instalação de geração distribuída.

## Material e Métodos

- **GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

A aplicação de geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos tem se expandindo de maneira rápida no mundo. O emprego de geração distribuída indica grande flexibilidade por poder operar em residências, comércios e usinas (parques fotovoltaicos), sendo conectada direto a rede de distribuição, podendo ser aplicada em diversos ambientes e apresenta

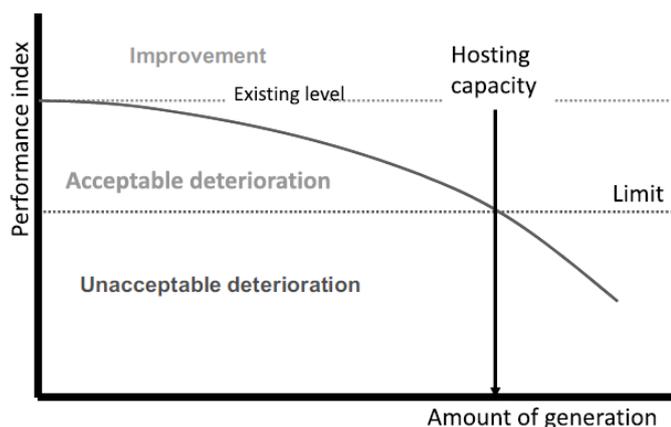
curto prazo para efetiva instalação comparado a outros tipos de tecnologia. O sistema opera em paralelo com a rede de distribuição, quando a energia produzida for maior que a consumida, esse excedente é convertido em crédito podendo ser utilizado em um período específico.

Segundo (CAMPOS, 2019), em uma instalação fotovoltaica, a quantidade de energia produzida é proporcional à quantidade de energia que incide sobre os módulos fotovoltaicos, o que implica na diminuição de produção de energia por conta de sombreamentos, posição dos módulos em relação ao sol e variações da radiação solar de acordo com as estações do ano.

- **CAPACIDADE DE HOSPEDAGEM**

A inserção de geração distribuída em sistema de distribuição pode trazer diversos impactos a rede podendo prejudicar o desempenho da mesma. Assim, a capacidade de hospedagem pode ser definida como a máxima quantidade de geração a ser inserida em uma rede, de modo que não ultrapasse os valores de referência da linha, de maneira que os parâmetros sejam mantidos e em conformidade com as normas técnicas específicas, em termos de limites de carregamentos do transformador, perdas de potência, proteções, confiabilidade, entre outros.

**Figura 1** - Capacidade de Hospedagem



Fonte: ETHERDEN e BOLLEN, 2011.

- **OPENDSS**

O software OpenDSS (Distribution System Simulator) que foi desenvolvido pela organização americana EPRI (Electric Power Research Institute) foi utilizado para a modelagem do sistema de distribuição por apresentar o benefício de ser um aplicativo livre.

Essa ferramenta disponibiliza muitos recursos, como a modelagem do transformador, dos consumidores que foram representados e os sistemas fotovoltaicos respectivos, as linhas que formam o sistema de distribuição.

A linha de distribuição (elemento line) é modelada a partir de seu comprimento, do número de fases e de suas matrizes de resistência, reatância e capacitância.

No OpenDSS as cargas são definidas, pela sua potência aparente nominal e fator de potência, ou pelas potências ativa e reativa. Há cerca de oito modelos de carga disponíveis no OpenDSS, entre os mais comuns:

- Corrente constante;
- Potência constante e
- Impedância constante.

- **TRANSFORMADOR 75 KVA**

A modelagem realizada no OpenDSS, foi inspirada em um barramento existente no município de Itumbiara, no estado de Goiás, para isso, exige alguns parâmetros físicos e elétricos do transformador como o número de fases, quantos enrolamentos essa máquina contém, a reatância percentual, a conexão e tensão nominal nos lados de alta e baixa tensão. Essas informações estão disponíveis na tabela 1:

**Tabela 1 – Parâmetros do Transformador**

Descrição	Informação do Transformador
Nº de Fase	3,0
Nº de Enrolamentos	2,0
Reatância (%)	3,0
Conexão	Delta / Estrela
Tensão Nominal	13,8 kV / 380 V

Fonte: Autor.

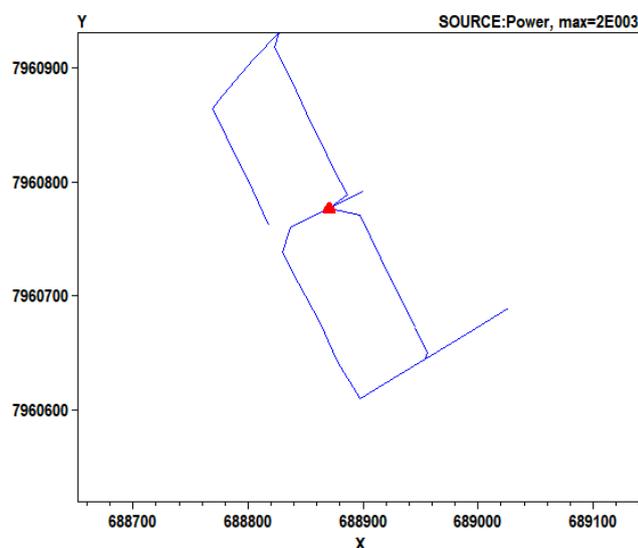
- **CONSUMIDORES**

Os consumidores presentes nesse sistema de distribuição, formam um total de 51, para a modelagem dos mesmos, foi necessário utilizar uma potência nominal que os representasse, esse dado foi obtido baseado no consumo médio trimestral, gerando um valor percentual que correspondesse a potência entregue pelo transformador.

Outra característica importante para a simulação, foram curvas de cargas que representassem a demanda diária, que foram projetadas em faixas de consumo que agrupassem categorias de consumidores.

O circuito resultante dessa modelagem, pode ser visto na figura 2, a parte marcada em vermelho é a localização do transformador na rede.

**Figura 2:** Barramento



Fonte: OpenDSS (Distribution System Simulator)

- **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

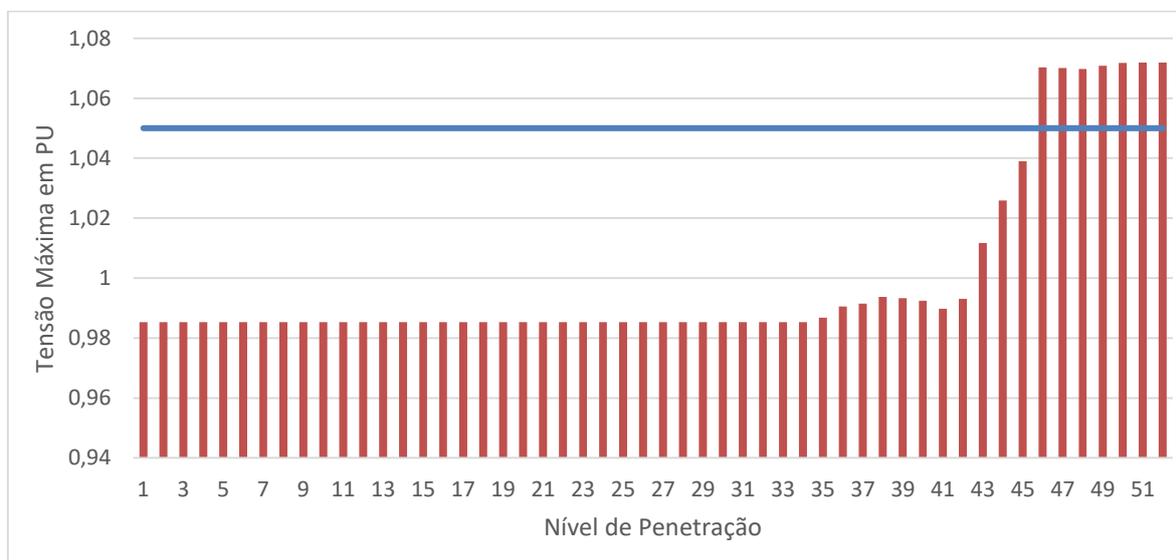
Para que seja possível avaliar as variações nos parâmetros, é necessário inserir a geração distribuída na rede e avaliar as alterações que acontecem após a inserção. Com o objetivo de evidenciar os resultados, alguns dos parâmetros foram supervisionados, podendo ser citado, a tensão na rede, o carregamento no transformador, o índice de desequilíbrio na tensão.

A capacidade de geração dos sistemas fotovoltaicos depende da potência do inversor e das placas instaladas [kWp], da irradiação solar e a temperatura ambiente, no OpenDSS encontra-se a ferramenta “PVSystem” que recebe esses dados e simula a geração no barramento.

### Resultados e Discussão ou Relato de Caso

Os valores máximos das tensões nos barramentos em função do nível de penetração são apresentados na figura 3.

**Figura 3 – Tensão Máxima em um Consumidor**



**Fonte:** Microsoft Office Excel com dados extraídos do OpenDSS

O consumidor selecionado para análise, fica localizado o mais distante do alimentador, pois esse é o que tem os impactos indesejados a cada nível de penetração prejudicando o desempenho da rede de distribuição.

Os valores de tensão obtidos, são a cada nível de penetração, buscando ao longo do dia o valor máximo para cada iteração, a linha em azul na figura 3, representa o valor máximo determinado pelo Módulo 8 da PRODIST, de 1,05 pu. O monitoramento é diário com medições de 5 em 5 minutos, por uma ferramenta específica do OpenDSS.

### Conclusões

Como pode ser observado, conforme é aumentada a penetração fotovoltaica, aliada à característica da curva de carga do consumidor, a potência injetada na rede pode atingir valores significativos.

É importante ressaltar, ainda, que o valor encontrado para a capacidade de hospedagem do alimentador não pode ser generalizado, pois ela está fortemente atrelada à impedância do mesmo.

Assim, um barramento de um mesmo alimentador conectado próximo ao transformador, pode ter capacidade de hospedagem maior do que se estivesse localizado no fim do ramal.

Outra característica que pode ser observada, é que quando o nível de penetração é elevado, ultrapassando quarenta e quatro sistemas fotovoltaicos em operação, a tensão no consumidor analisado ultrapassa os valores determinados pelo Módulo 8 da PRODIST.

## Referências Bibliográficas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/documents/626827/14866914/M%C3%B3dulo\\_8-Revis%C3%A3o\\_10/2F7CB862-E9D7-3295-729a-b619ac6baab9](https://www.aneel.gov.br/documents/626827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_10/2F7CB862-E9D7-3295-729a-b619ac6baab9)>. Acesso em 07 de Agosto de 2019.

BOLLEN, M.; HASSAN, F. **Integration od Distributed Generation in the Power System**. New York: Wiley-Blackwell, 2011.

CAMPOS, Carlos Alberto Alves, **Análise da Capacidade de Hospedagem de Geração Distribuída em uma Rede Radial de Distribuição**, Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Itumbiara, 2019.

ETHERDEN, N.; BOLLEN, M. H. J. **Increasing the hosting capacity of distribution networks by curtailment of renewable energy resou. 2011 IEEE PES Trondheim PowerTech: The Power of Technology for a Sustainable Society**, 2011. 1-7.

GARCIA, Thaís Dias, **Análise Técnica e Econômica de Geração Distribuída Fotovoltaica Residencial Conectada à Rede de Distribuição**, Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Elétrica.

PALUDO, J. A. **Avaliação dos Impactos de Elevados Níveis de Penetração da Geração Fotovoltaica no Desempenho de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica em Regime Permanente**. UFSCAR. São Carlos. 2014.

PORTAL SOLAR, **O que é Geração Distribuída – GD**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida.html>>. Acesso em: 07, ago 2019.