

ANÁLISE DE IMPACTOS DA INSERÇÃO DE RECURSOS DISTRIBUÍDOS NO SISTEMA ELÉTRICO

Tales Renato de Lima Antônio¹ (IC), Cláudia Eliane da Matta (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: Cidades Inteligentes e Sustentáveis. Energias Renováveis. OpenDSS. Recursos distribuídos.

Introdução

Os desafios relacionados à poluição ambiental e às mudanças climáticas tornaram crucial a necessidade de uma revolução radical e urgente no uso global da produção, distribuição e consumo de eletricidade. Como resultado, há um foco significativo no desenvolvimento e na utilização de fontes e tecnologias de energias limpas, sustentáveis e renováveis, tais como painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas (ANNALA *et al.*, 2021).

Além disso, no contexto da transição e desenvolvimento energético, a crescente preocupação com os impactos ambientais resultante das fontes tradicionais de energia, aliada ao avanço tecnológico em áreas de geração de energia renovável e armazenamento de alta capacidade, tem levado ao aumento da penetração de recursos energéticos distribuídos (RED) nas redes de distribuição (WU; WANG; CHEN, 2023). Tal aumento na produção local de eletricidade tem muitas vantagens, como custos operacionais mais baixos, perdas de transmissão reduzidas e menor pegada ambiental, uma vez que é uma produção baseada principalmente em fontes renováveis (BOULOUMPASIS *et al.*, 2022).

Nesse cenário, percebe-se que as energias renováveis desempenham um papel crucial para aplicação dos recursos distribuídos e, dentre as fontes de energia limpa, a geração fotovoltaica tem destaque devido à sua sustentabilidade, disponibilidade local, natureza ecológica, tecnologia simples, custo-benefício crescente e menor equilíbrio dos sistemas (HERNÁNDEZ-CALLEJO; GALLARDO-SAAVEDRA; ALONSO-GÓMEZ, 2019). Assim, tendo em vista esses benefícios e o grande número de recursos solares existentes em todo o planeta, a geração de energia fotovoltaica constitui uma das principais tecnologias na descarbonização e descentralização do sistema energético (FLEISCHHACKER *et al.*, 2019).

No Brasil, há uma série de características naturais favoráveis para a aplicação da energia fotovoltaica distribuída, como altos níveis de insolação e

grandes reservas de quartzo de qualidade, que podem gerar importantes vantagens competitivas para a produção de silício de alta pureza, células e módulos solares, que são produtos com alto valor agregado. Esses fatores podem abrir caminho para um papel mais importante da tecnologia fotovoltaica na diversificação da matriz energética elétrica (FARIA; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2017). Desse modo, a implantação de sistemas de energia solar distribuída não apenas contribui para a diversificação da matriz energética, reduzindo a dependência de fontes tradicionais, mas também promove maior resiliência ao sistema elétrico e verifica-se como uma solução viável para a geração de eletricidade próxima aos centros de consumo.

O objetivo geral desta iniciação científica foi realizar simulações utilizando o OpenDSS, com o propósito de compreender sua capacidade de modelar, simular e analisar sistemas de distribuição de energia elétrica.

Os objetivos específicos foram: analisar os temas relativos às energias renováveis, estudar o *software* OpenDSS, o desenvolvimento de suas aplicações e elaborar trabalhos científicos.

Este trabalho justifica-se, pois, a análise de impactos nos sistemas elétricos, utilizando a ferramenta OpenDSS, pode auxiliar na simulação de resultados em uma rede ou microrrede elétrica. Dessa forma, esse estudo possibilita um maior entendimento dos desafios e oportunidades relacionados a essa temática.

Metodologia

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o tema relativo à geração distribuída. Em seguida, desenvolveu-se o referencial teórico sobre a análise de impactos da inserção de recursos distribuídos no sistema elétrico brasileiro. Para esse propósito, foi conduzida uma busca sistemática em periódicos indexados nas bases de dados *IEEE Xplore*, Portal de Periódicos Capes, *Scielo*, *Scopus* e *Web of Science*. A

escolha se deu devido à revisão anual sobre a qualidade das publicações que essas bases fornecem, de acordo com quatro tipos de medida numérica de qualidade para cada título: *h-Index*, *CiteScore*, *SCImago Journal Rank* (SJR) e *Source Normalized Impact per Paper* (SNIP).

Depois, foi realizado o estudo do *software* OpenDSS, analisando seus fundamentos e aplicações para o desenvolvimento do trabalho.

Dessa forma, para iniciar o processo de simulação, é fundamental garantir o acesso aos dados essenciais. Isso inclui os dados de topologia, que abrangem desenhos detalhados dos circuitos de distribuição elétrica, como informações sobre linhas de transmissão, transformadores, chaves e medidores. Além disso, a coleta de informações sobre os perfis de carga dos consumidores é igualmente importante, pois esses dados indicam as variações na demanda de energia elétrica ao longo do dia ou em diferentes períodos.

Em seguida, foi realizada a criação do modelo do sistema no OpenDSS. Definiram-se os parâmetros gerais do sistema, tais como a frequência e a tensão nominal, bem como as configurações elétricas básicas que o caracterizam. Então, utilizando os dados de topologia e informações sobre os componentes do sistema, foram criadas representações desses elementos dentro do ambiente de simulação.

Agora, com o modelo básico em vigor, é necessário realizar a inserção de dados e configurar a simulação de forma a refletir a realidade do sistema elétrico. Então, são inseridos dados específicos de cada componente do sistema, incluindo informações como capacidades de transformadores, impedâncias de linhas e curvas de carga de consumidores. Essa etapa detalhada garante que os componentes estejam configurados de acordo com suas características reais.

É essencial, também, configurar cenários de simulação que correspondam aos objetivos do estudo, especificando condições iniciais e parâmetros relevantes, como horários e durações, a fim de explorar diferentes contextos e situações do sistema elétrico.

Logo, com o modelo configurado, é realizada a simulação para entender o comportamento do sistema elétrico no cenário estabelecido. Assim, iniciando a simulação no OpenDSS, é possível selecionar o tipo de análise desejado, que pode incluir o fluxo de carga para avaliar a distribuição de correntes e tensões, análises de estabilidade para verificar a resposta do sistema a perturbações, ou a avaliação da qualidade de energia para garantir que as normas sejam atendidas.

Após a execução das ações anteriores, os resultados da abordagem são obtidos e, dessa forma, é viável avaliar se, à medida que novas informações e obstáculos surgem, é necessário refazer o processo de

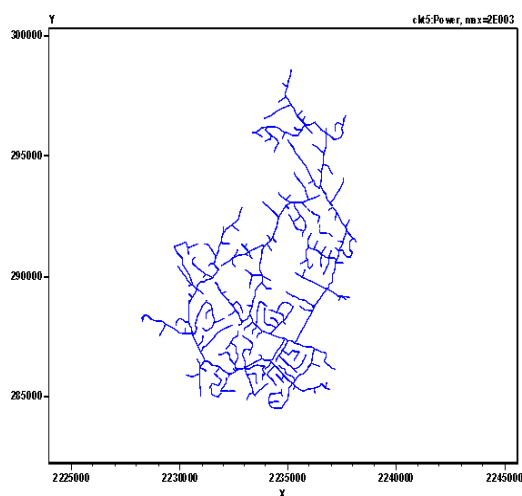
modelagem, simulação e análise para atingir os objetivos desejados no sistema elétrico.

Por fim, vale ressaltar que a realização de simulações no OpenDSS é uma prática fundamental para a análise e otimização de sistemas elétricos. Através dessa ferramenta, é possível executar simulações detalhadas de fluxo de carga, análises de estabilidade, avaliações de qualidade de energia, entre outras.

Resultados e discussão

Para analisar e discutir os resultados, começamos com a simulação de um exemplo fornecido pela base de dados do OpenDSS. Utilizando essa ferramenta, examinamos o fluxo de potência no circuito, obtendo uma descrição detalhada de como a energia elétrica flui através do sistema de transmissão e distribuição, garantindo um fornecimento confiável de eletricidade. A Figura 1 ilustra esse fluxo de potência.

Figura 1 – Exemplo de fluxo de potência.



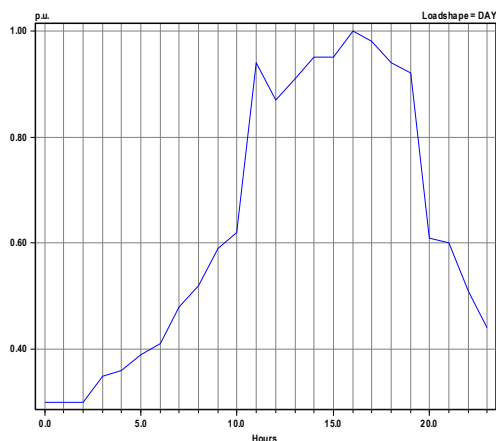
Fonte: Autoria própria

Além disso, também abordamos um exemplo de sistema de distribuição hipotético definido pela Nota Técnica n°0057/2014-SRD/ANEEL. Neste exemplo, modelamos os circuitos de média tensão que se estendem desde o ponto de conexão na saída da subestação de distribuição até as unidades consumidoras de média e baixa tensão. Essa simulação incluiu os seguintes componentes presentes na rede: cabos elétricos, transformadores de distribuição e reguladores de tensão.

Sabe-se que a modelagem e análise de perfis de carga desempenham um papel crucial na gestão eficiente e operação de sistemas de distribuição de energia elétrica. Neste contexto, o OpenDSS se mostra uma ferramenta valiosa, permitindo a visualização das variações no

consumo de energia ao longo do tempo. Isso possibilita a tomada de decisões informadas e estratégias de planejamento, bem como a avaliação do impacto de diferentes cenários de consumo de energia elétrica. A Figura 2 apresenta o perfil de carga gerado pelo OpenDSS para o sistema teórico em questão.

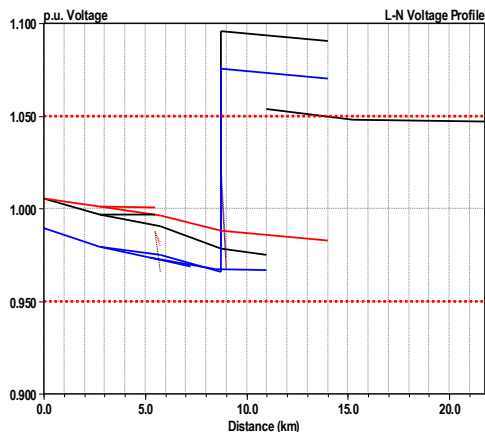
Figura 2 – Exemplo de perfil de carga.



Fonte: Autoria própria

Outra análise fundamental diz respeito ao perfil de tensão. Através da simulação, é possível identificar como a tensão varia em diferentes pontos de uma rede de distribuição ao longo do tempo. Essa análise desempenha um papel crucial na garantia da qualidade e estabilidade do fornecimento de energia elétrica. Utilizando o OpenDSS, é possível identificar problemas de qualidade de energia e assegurar que a tensão fornecida esteja dentro dos limites aceitáveis para a operação segura e eficiente de equipamentos elétricos. A Figura 3 apresenta o perfil de tensão do sistema hipotético analisado.

Figura 3 – Exemplo de perfil de tensão.



Fonte: Autoria própria

Neste exemplo, também conduzimos uma análise do fluxo de potência calculado com o OpenDSS para o problema em questão. Os resultados dessas operações estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Cálculo do fluxo de potência.

| | |
|-------------------------------|---------------------|
| Tensão Máxima (PU) | 1,0958 |
| Tensão Mínima (PU) | 0,20603 |
| Potência Ativa Total (MW) | 1,36769 |
| Potência Reativa Total (Mvar) | 0,595094 |
| Total de Perdas Ativas (MW) | 0,0272757 (1.994 %) |

Fonte: Autoria própria

Portanto, embora esses exemplos não representem situações reais, eles ilustram a versatilidade do OpenDSS em lidar com uma ampla gama de funcionalidades essenciais para a operação e manutenção de redes de distribuição elétrica. É importante destacar que essa ferramenta se destaca por sua flexibilidade, permitindo a adaptação a diferentes cenários e a realização de análises que vão desde a avaliação da qualidade da energia até o planejamento da expansão da rede.

Assim, em um cenário em que a integração de recursos distribuídos desempenha um papel cada vez mais importante na matriz energética, o OpenDSS se torna uma peça fundamental para garantir a estabilidade e eficiência dos sistemas elétricos.

Conclusões

Em conclusão, a utilização do OpenDSS é essencial para analisar e compreender os sistemas elétricos, especialmente aqueles que integram recursos de geração distribuída e enfrentam desafios complexos de operação e planejamento.

Esta pesquisa trouxe como contribuição o entendimento e abordagem dos impactos relacionados à inserção de recursos distribuídos no sistema elétrico utilizando o OpenDSS, promovendo a discussão informada e avançando no caminho para um sistema elétrico mais eficiente e sustentável a partir da análise da literatura sobre o tema.

Os resultados obtidos neste projeto demonstram que o OpenDSS surge como uma ferramenta essencial e abrangente para a análise e simulação de problemas relacionados ao setor energético. Por meio do estudo deste software, foi possível compreender os efeitos da integração de recursos distribuídos na operação e desempenho do sistema elétrico, auxiliando na tomada de

decisões informadas para a construção de redes mais resilientes, eficientes e sustentáveis.

Então, observa-se que esse tema apresenta desafios de dimensões sociais, econômicas, tecnológicas, ambientais e institucionais. Por este motivo, para trabalhos futuros, sugere-se investigar outros impactos da implementação dos recursos distribuídos a partir da análise de documentos disponíveis gratuitamente e da utilização de dados reais para o estudo da temática.

Agradecimentos

Agradeço à professora Cláudia Eliane da Matta pela orientação, pelos ensinamentos e, especialmente, pela paciência e compreensão que foram imprescindíveis neste trabalho. Além do agradecimento ao órgão apoiador PIBIC Unifei, pelo apoio financeiro concedido.

Agradeço, também, aos professores e integrantes do grupo aPTIs SG² por todas as contribuições acadêmicas durante o período do projeto.

Referências

ANEEL. **Nota Técnica n° 0057/2014-SRD/ANEEL**. Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/audiencias-publicas-antigas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideDocumento=5527&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp. Acessado 6 de outubro de 2023.

ANNALA, S. et al. Framework to Facilitate Electricity and Flexibility Trading within, to, and from Local Markets. **Energies (Basel)**, v. 14, n. 11, p. 3229, 2021.

BOULOUMPASIS, I. et al. Local flexibility market framework for grid support services to distribution networks. **Electrical engineering**, v. 104, n. 2, p. 401–419, 2022.

FARIA, H.; TRIGOSO, F. B. M.; CAVALCANTI, J. A. M. Review of distributed generation with photovoltaic grid connected systems in Brazil: Challenges and prospects. **Renewable & sustainable energy reviews**, v. 75, p. 469–475, 2017.

FLEISCHHACKER, A. et al. Sharing Solar PV and Energy Storage in Apartment Buildings: Resource Allocation and Pricing. **IEEE transactions on smart grid**, v. 10, n. 4, p. 3963–3973, 2019.

HERNÁNDEZ-CALLEJO, L.; GALLARDO-SAAVEDRA, S.; ALONSO-GÓMEZ, V. A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance. **Solar energy**, v. 188, p. 426–440, 2019.

WU, S.; WANG, Q.; CHEN, B. Collaborative planning of cyber physical distribution system considering the flexibility of data centers. **Energy reports**, v. 9, p. 656–664, 2023.