



Evento: X Seminário de Inovação e Tecnologia

## **SIMULAÇÃO DA PENETRAÇÃO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO UMA FERRAMENTA EDUCACIONAL<sup>1</sup>**

**SIMULATION OF DISTRIBUTED PHOTOVOLTAIC GENERATION PENETRATION  
IN ELETRIC POWER SYSTEMS USING NA EDUCATION TOOL**

**Gustavo Eckhardt<sup>2</sup>, Douglas Flores Copetti<sup>3</sup>, Lorenzo Ratzlaff Hermann<sup>4</sup>,  
Maurício de Campos<sup>5</sup>, Paulo Sérgio Sausen<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Pesquisa institucional desenvolvida no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias (DCEEng), pertencente ao Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC).

<sup>2</sup> Bolsista PROFAP/CEEE, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí, gustavo.eckhardt@sou.unijui.edu.br

<sup>3</sup> Bolsista PROFAP/CEEE, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí, douglas.copetti@sou.unijui.edu.br

<sup>4</sup> Bolsista PROFAP/CEEE, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí, lorenzo.hermann@sou.unijui.edu.br

<sup>5</sup> Professor Pesquisador do Grupo de Automação Industrial e Controle – GAIC – Unijuí.

<sup>6</sup> Professor Pesquisador do Grupo de Automação Industrial e Controle – GAIC – Unijuí, orientador.

### **RESUMO**

No presente trabalho são apresentados e analisados os resultados do impacto da inserção da geração fotovoltaica distribuída no atual sistema elétrico de potência a partir da utilização de uma plataforma educacional. Os resultados obtidos nas simulações demonstram o efeito da penetração da geração fotovoltaica excedente no sistema elétrico de potência, assim como comprovam a importância da utilização de modelos de simulação e o potencial da ferramenta educacional utilizada na simulação de diferentes cenários do sistema elétrico.

**Palavras-chave:** Geração Distribuída. Geração Fotovoltaica. Avaliação. Impacto.

### **INTRODUÇÃO**

Os sistemas de energia em todo o mundo vêm passando por mudanças significativas, impulsionadas principalmente pelo barateamento e crescente disponibilidade de energia renovável variável de baixo custo, implantação de recursos de energia distribuída, avanços em sistemas digitais e o aumento das possibilidades do uso da energia elétrica (IEA, 2021). Por exemplo, o avanço da tecnologia em carros elétricos e em seus respectivos carregadores.

No que tange a geração distribuída, de acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2021), em 2016, a potência instalada deste tipo de geração era de 93 MW. No final do ano de 2020 a mesma chegou a 7,47 GW, sendo que desta, 59% correspondem a geração distribuída. Entretanto, a topologia convencional de geração centralizada, apresenta muitos problemas quando os recursos provenientes deste tipo de geração são conectados à rede elétrica (PONCE et al., 2018).



Neste contexto, uma Rede Elétrica Inteligente (*Smart Grid*) é definida como uma rede elétrica automatizada e amplamente distribuída, caracterizada por um fluxo bidirecional de eletricidade e de informações, capaz de monitorar e adaptar-se a mudanças em todos os setores, desde usinas de geração até as preferências dos consumidores (IEEE, 2011). Estas mudanças trarão novas possibilidades para resolução de problemas existentes, incluindo os relacionados à geração distribuída. (PONCE et al., 2018).

Deste modo, consumidores passarão a ter um comportamento mais ativo com o gerenciamento de suas demandas e, ao mesmo tempo, injetarão energia na rede (CASTRO et al., 2018). Portanto, de modo a auxiliar concessionárias na tomada de decisões estratégicas e a simular cenários futuros na rede elétrica, o principal objetivo deste trabalho é simular os possíveis efeitos que a inserção da geração fotovoltaica de forma distribuída, pode causar na rede de distribuição de energia elétrica, através da utilização de uma ferramenta educacional.

## METODOLOGIA

Os sistemas de energia estão mudando, pois, as redes elétricas convencionais não podem enfrentar as novas demandas ecológicas e tecnológicas dos consumidores (PONCE et al., 2018). Uma destas mudanças é a inserção, de maneira massiva, da micro e minigeração na rede de distribuição de energia. Isto se dá em função da tendência de queda nos preços de painéis fotovoltaicos e dos avanços da regulamentação (CASTRO et al., 2018).

Nesse contexto, é necessária a análise dos impactos da difusão da geração fotovoltaica distribuída sobre o atual sistema elétrico de potência brasileiro. Para tal, foi utilizado neste estudo, o laboratório educacional de *Smart Grid* da empresa De Lorenzo, apresentado na Figura 1. Esta ferramenta é constituída por um sistema modular de estudo e treinamento, abrangendo todas as áreas de um sistema elétrico de potência (DE LORENZO, 2021).

Figura 1 – Laboratório Modular de *Smart Grid* da De Lorenzo.



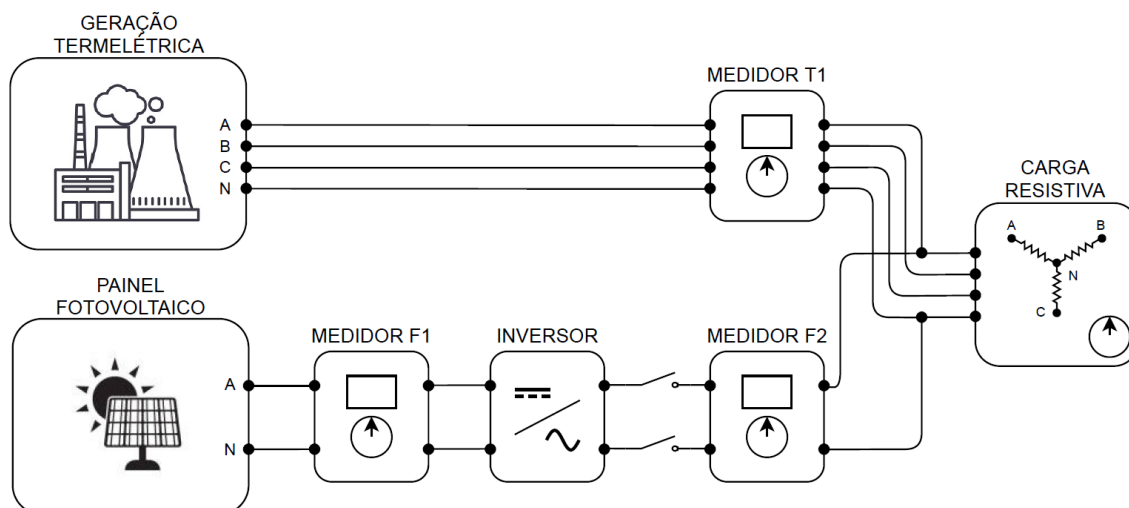
Fonte: (DE LORENZO, 2021).



Neste laboratório é possível realizar a simulação, em escala de potência reduzida, de fontes de geração de energia alternativas, principalmente fotovoltaica, a qual é alvo deste estudo. Para o ensaio, foram utilizados alguns módulos do laboratório, entre eles o de geração termelétrica e o conjunto de módulos da geração de energia solar, o qual abrange o painel fotovoltaico e o inversor. A fim de simplificar a simulação do consumo de energia por equipamentos residenciais, foi utilizada uma carga puramente resistiva.

Todos os módulos foram conectados conforme mostrado na Figura 2, na qual é possível observar que a geração fotovoltaica é monofásica, enquanto a geração termelétrica é trifásica. Com isso, os eventos ficaram mais perceptíveis, aptos a comparação imediata, entre carga com e sem a inserção da energia provida pelo painel solar.

Figura 2 - Conexões entre os módulos no ensaio.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente foi avaliado o efeito da inserção da geração fotovoltaica ao sistema com uma carga média. Foi possível observar através do medidor F2, mostrado na Figura 3, que a geração fotovoltaica chegou a fornecer 126 mA para a carga.

Com isso, constatou-se uma diminuição na corrente elétrica fornecida pela geração termelétrica, a qual forneceu 146 mA pela fase em que a geração fotovoltaica foi adicionada, isto pode ser observado no medidor T1, mostrado na Figura 3.

Entretanto, caso ocorra uma redução da carga resistiva, esta drenaria menos corrente da geração termelétrica. Portanto, chegaria a um ponto em que a geração fotovoltaica poderia fornecer mais energia do que a consumido instantaneamente pela carga em questão.



Figura 3 – Medidores F2 e T1 no ensaio com carga média.



Para simular a situação supracitada, as cargas foram ajustadas para o nível em que estavam desconectadas, todavia, é importante salientar que isso equivale a um efeito de uma diminuição de carga. Deste modo, o único caminho possível para a energia elétrica excedente, seria seguir um fluxo contrário, partindo da carga para a geração termelétrica. Na Figura 4 pode-se observar que a corrente que flui por ambos os medidores é a mesma, conforme esperado.

Figura 4 – Medidores F2 e T1 no ensaio com a carga desconectada.



É importante destacar que este efeito foi demonstrado de maneira simplificada na simulação, pois foi considerado somente uma residência com geração distribuída. Contudo, em uma rede elétrica de grande porte, que alimenta uma cidade inteira, esse efeito ocorre, porém é mais raro, no momento em que dificilmente a geração excederá o consumo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ambiente de simulação da empresa De Lorenzo, apresentou resultados satisfatórios nos testes realizados, que condizem com o esperado na prática. Deste modo, se mostrando uma ótima ferramenta estudantil para análise e estudo dos setores do sistema de energia elétrica.

Para trabalhos futuros, sugere-se a realização de simulações utilizando os módulos de transmissão e de subestações, incluídos no ambiente de simulação. Pois, deste modo será possível simular com mais veracidade e acurácia o sistema elétrico real, sendo possível realizar



análises do nível de penetração da energia elétrica excedente, oriunda da geração fotovoltaica, analisando os possíveis riscos e danos ao sistema como um todo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UNIJUÍ e ao CNPq pela bolsa de iniciação científica e ao GAIC pela disponibilização dos laboratórios para desenvolvimento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil:** Infográfico ABSOLAR. 2021. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html>. Acesso em: 05 fev. 2021.

IEA. International Energy Agency. **System integration of renewables:** decarbonising while meeting growing demand. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/system-integration-of-renewables>. Acesso em: 05 fev. 2021.

"IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads," in IEEE Std 2030-2011, vol., no., pp.1-126, 10 Sept. 2011, doi: 10.1109/IEEESTD.2011.6018239.

CASTRO, Nivalde de; DANTAS, Guilherme. **Geração Distribuída:** experiências internacionais e análises comparadas. Rio de Janeiro, RJ: Publit Soluções Editoriais, 2018. 240 p.

PONCE, Pedro; MOLINA, Arturo; MATA, Omar; IBARRA, Luis; MACCLEERY, Brian. **Power System Fundamentals.** Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2018. 429 p.

DE LORENZO (Viale Romagna). **Renewable Energies and Smart Grid.** 2021. Disponível em: <https://www.delorenzoglobal.com/renewable-energies/smart-grid/>. Acesso em: 08 fev. 2021.

CASTRO, Nivalde de; CASTRO, Gabriel; FERREIRA, Daniel; TOMMASSO, Francesco; MORAIS, Rafael. **Impactos Sistêmicos da Micro e Minigeração Distribuída.** 79. ed. Rio de Janeiro: Gesel - Grupo de Estudos do Setor Elétrico, 2018. 64 p. Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/index.php/Posts/index/518>. Acesso em: 08 fev. 2021.