

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica  
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

## **ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA DETECÇÃO DA FALTAS DE ALTA IMPEDÂNCIA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO COM ALTA DENSIDADE DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA<sup>1</sup>**

### **STUDY OF ALTERNATIVES FOR DETECTION OF HIGH IMPEDANCE FAULTS IN DISTRIBUTION SYSTEMS WITH HIGH DENSITY OF DISTRIBUTED GENERATION**

**Catherine Marquioro de Freitas<sup>2</sup>, Maurício de Campos<sup>3</sup>, Pedro Gelati Pascoal<sup>4</sup>, Marcos Vicente Hart<sup>5</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 PIBIC/UNIJUI, aluna do curso de Engenharia Elétrica da Unijui, catherine.freitas@sou.unijui.edu.br

<sup>3</sup> Professor Doutor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Unijui, orientador, decampos.mauricio@gmail.com

<sup>4</sup> Bolsista PIBIC/UNIJUI, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijui, pedro.pascoal@sou.unijui.edu.br

<sup>5</sup> Engenheiro Eletricista, hart90@hotmail.com

## **INTRODUÇÃO**

Com o aumento do consumo de eletricidade, crescem também as preocupações com a segurança e com a qualidade da energia entregue por parte das concessionárias. As redes de distribuição de energia elétrica estão susceptíveis a falhas as quais são definidas como condições anormais no sistema de potência. As faltas podem ser provenientes do funcionamento inadequado de equipamentos, contatos de animais e objetos a componentes energizados, queimadas, fadiga dos materiais, objetos lançados a rede e fenômenos naturais (TLEIS, 2008).

As faltas que ocorrem no Sistema Elétrico de Potência (SEP) podem ser classificadas como Faltas de Baixa Impedância (FBI) e Faltas de Alta Impedância (FAI). As FBIs ocorrem em virtude do contato direto entre condutores energizados (entre fases, fase neutro ou fase terra), para estes casos a resistência de curto-circuito é nula. Surgindo uma corrente de grande magnitude, sendo facilmente detectada pelo sistema de proteção de sobrecorrente. Já as FAIs decorrem do contato de um condutor energizado com uma superfície de alto valor resistivo. Esse tipo de falta não gera a corrente necessária para o sistema de proteção convencional atuar, dessa forma o condutor permanece energizado apresentando risco de acidentes (IURINIC, 2016).

Para haver o aumento da confiabilidade das redes de distribuição, reduzir gastos de manutenção, bem como eliminar os riscos provenientes de faltas no sistema, as concessionárias buscam o constante aperfeiçoamento de seus sistemas de proteção. Assim, o desenvolvimento de dispositivos que sejam capazes de detectar as FAIs torna-se essencial. Além disso, outro desafio para o SEP é a inserção de sistemas de geração distribuída (GD), principalmente da fonte solar. A GD se refere a produção de energia de maneira descentralizada, onde a fonte de energia elétrica é conectada à rede de distribuição e situa-se junto ao consumidor ou próximo a ele. Dessa forma o SEP deixou de ter fluxo de potência em apenas um sentido e se tornou bidirecional, onde o consumidor é um agente ativo na geração de energia. Sendo necessários adaptar os dispositivos de proteção para essa tecnologia, visando manter a coordenação e seletividade do sistema. De acordo com a Associação Brasileira de



**Evento:** XXVIII Seminário de Iniciação Científica

**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2020), em 2017 a potência instalada de geração distribuída fotovoltaica era de 191 MW. Já em julho de 2020 a potência instalada chegou a aproximadamente 3 GW.

Dessa forma, o artigo apresentará um estudo acerca a detecção de faltas de alta impedância, em sistemas com alta densidade de geração distribuída. Para a detecção desse tipo de falha serão considerados dados provenientes de medidores inteligentes, *smart meters*, os quais, além de realizar a aferição do consumo das unidades, fornecem um vasto conjunto de informações à concessionária e aos consumidores. O trabalho envolve a simulações de uma rede de distribuição com alta densidade de geração distribuída a fim de compreender o sistema. Ainda é proposto um método para identificar e localizar as faltas de alta impedância através de medidores inteligentes.

**Palavras-chave:** Medidores inteligentes; Geração distribuída; Proteção.

**Keywords:** Smart meters; Distributed generation; Protection.

## METODOLOGIA

Uma Falta de Alta Impedância é definida como uma falha no sistema de energia elétrica que não produz variações expressivas de corrente. O atual sistema de proteção das redes de distribuição é baseado em dispositivos de sobrecorrente, dessa forma, a variação de corrente de uma FAI não faz o sistema convencional atuar.

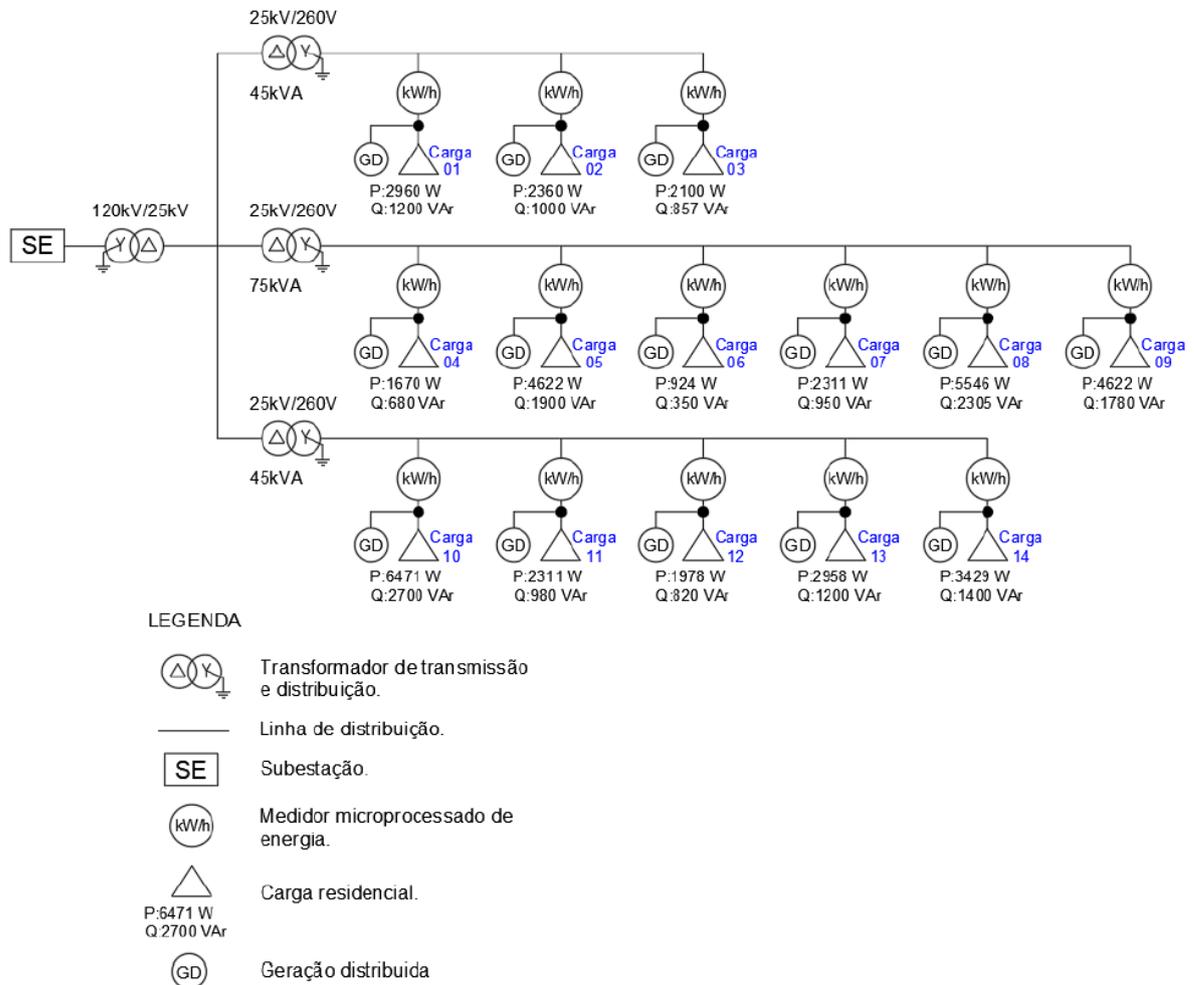
Faltas de Alta Impedância resultam, geralmente, do contato de um condutor energizado da rede de distribuição com um objeto de baixa condutividade (asfalto, calçada, árvores). Quando o sistema de proteção não atua, o condutor permanece energizado apresentando um elevado risco de acidentes e de incêndios, uma vez que, normalmente, a FAI está associada a existência de arco elétrico (KIJUR E BISWAL, 2017).

Um sistema trifásico é considerado equilibrado quando as tensões de fase apresentam o mesmo módulo e estão defasadas de  $120^\circ$ . Qualquer diferença verificada nas amplitudes entre as três tensões de fase de um determinado sistema trifásico, e/ou na defasagem elétrica de  $120^\circ$  entre as tensões de fase do mesmo sistema, é caracterizada como um desequilíbrio de tensão (PRODIST, 2018). Um cabo rompido energizado provoca uma “falta de fase” nos circuitos e cargas, resultando em um desequilíbrio de tensão elevado, dessa forma uma das maneiras de identificar a ocorrência de uma FAI é através do desequilíbrio de tensão gerado.

Pretende-se analisar a influência da geração distribuída no desequilíbrio de tensão e conseqüentemente na detecção de faltas de alta impedância. Para isso foi desenvolvida uma rede elétrica fictícia na qual serão realizados os testes. O cenário foi criado no *software* Matlab com o auxílio da ferramenta Simulink. A Figura 1 ilustra o esquemático do circuito.

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica  
 ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Figura 1 - Cenário de simulação



Fonte: Autores (2020)

As tensões trifásicas do primário e secundário são respectivamente 25 kV/260 V. Os transformadores possuem potência de 45 kVA e 75 kVA, com conexão delta no primário e estrela solidamente aterrado no secundário. As cargas são trifásicas e foram dimensionadas para residências de pequeno porte. Assim a potência instantânea consumida é relativamente baixa. Ainda, cada consumidor possui um sistema de geração fotovoltaica de 22 kWp. Assim em casos de a carga não consumir a potência gerada pelo sistema, o remanescente será injetado na rede. Dessa forma é possível avaliar o comportamento do sistema em momentos que a geração distribuída gera uma potência igual a consumida pela carga.

Para a identificação da falta de alta impedância será analisado o fator de desequilíbrio gerado devido a ruptura de um condutor primário. Existem diversas formas para se determinar o fator de equilíbrio, nesse caso o fator será determinado pelos medidores inteligentes através do método de CIGRÉ. Este método relaciona grandezas dos módulos das tensões de linha para obter o fator desequilíbrio do

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica  
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

sistema. Através da Equação 1.

$$K(\%) = \frac{1 - \sqrt{3 - 6 * \beta}}{\sqrt{1 + \sqrt{3 - 6 * \beta}}} \quad (1)$$

Onde:

$$\beta = \frac{V_{AB}^4 + V_{BC}^4 + V_{CA}^4}{(V_{AB}^2 + V_{BC}^2 + V_{CA}^2)^2}$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema da Figura 1 foi simulado de forma que foi gerada uma falta de alta impedância em uma das fases do primário do alimentador em 0,6 segundos, no sistema inicialmente equilibrado. Um comparativo entre o desequilíbrio de tensão gerado em um sistema com e sem GD é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Desequilíbrios de tensão simulados

Tempo (s)	Fator de desequilíbrio – K (%)		
	Sem Falta	Com Falta e sem GD	Com Falta e com GD
0,6	0,00	0,00	0,00
0,7	0,00	82,17	4,23
0,8	0,00	82,20	4,38
0,9	0,00	82,22	4,73
1,0	0,00	82,23	5,19
1,1	0,00	82,23	8,71
1,2	0,00	82,23	10,49
1,3	0,00	82,23	11,76
1,4	0,00	82,23	12,44
1,5	0,00	82,23	12,65

Fonte: Autores (2020)

A partir da análise dos dados, é notável a influência de um FAI no equilíbrio do sistema. Ainda é perceptível que a presença de geração distribuída reduz o fator de desequilíbrio, uma vez que o sistema de geração tem capacidade de suprir a demanda da carga. Dificultando o processo de identificação da falta. No entanto, considerando que o sistema de geração é programado para se desconectar da rede quando há falha na mesma, os resultados dos desequilíbrios se assemelham aos

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

casos em que é considerada a rede convencional. Gerando o desequilíbrio suficiente para a detecção da falta pelo método.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A identificação e localização das Falhas de Alta Impedância se apresentam como um desafio para as concessionárias de energia elétrica. Além disso, a inserção da geração distribuída no sistema elétrico de potência exige o estudo constante da influência dela nos sistemas. As FAIs não produzem variações expressivas de corrente, de forma que o sistema de proteção convencional não atua para isolar a falta. No entanto, a ruptura de condutores energizados possui grande potencial de perigo. Exigindo o aperfeiçoamento do sistema de proteção a fim de eliminar os riscos e aumentar a confiabilidade das redes de distribuição.

Dessa forma, o trabalho propõe um método de identificar as faltas de alta impedância em redes inteligentes. A metodologia proposta é baseada no monitoramento do desequilíbrio de tensão gerado em virtude da FAI. Ainda é feita a simulação de uma rede elétrica fictícia com alta densidade de geração distribuída visando compreender a influência da geração distribuída para o sistema elétrico de proteção.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UNIJUÍ pela bolsa de iniciação científica e ao Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC) pela disponibilização dos laboratórios para a realização das pesquisas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. **Infográfico ABSOLAR**. 2020. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html>>. Acesso em: 10 de jul. De 2020.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. 2018.p. 16 a 17.

KUJUR, Anshu Priyanka e BISWAL, Tapaswani. **Detection of high impedance fault in distribution system considering distributed generation**. International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA). IEEE, 2017.

TLEIS, Nasser. **Power systems modelling and fault analysis: theory and practice**. Elsevier Ltd (2008): 301-396.

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

IURINIC, L. U. **Localização de faltas de alta impedância em sistemas de distribuição de energia:** uma abordagem baseada na estimação de parâmetros associados a modelos no domínio do tempo. 2016. 174 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escola de Engenharia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Rio Grande do Sul, 2016.

Parecer CEUA: 058/15