

Influência de Fontes de Geração Distribuída na Proteção de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica

Eduardo Giuliani, (Autor)

Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência
Universidade Federal de Santa Maria – Cachoeira do Sul
Cachoeira do Sul, Brasil
eduardogiuliani2009@hotmail.com

Fernando G. K. Guarda, *Member, IEEE*

Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência
Universidade Federal de Santa Maria – Cachoeira do Sul
Cachoeira do Sul, Brasil
fernandokg@ieee.org

Ghendy Cardoso Jr.

Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência
Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Brasil
ghendy@ufsm.br

Abstract— A inserção de fontes de geração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica é de extrema importância devido ao papel desempenhado por estas nas redes elétricas inteligentes, sendo necessária a adaptação dos sistemas de distribuição atuais para essa nova realidade. Dentre os principais problemas associados à inserção de geração distribuída nos sistemas de distribuição atuais, um dos mais nocivos é a alteração dos níveis de curto-circuito e direcionalidade de corrente. Essa alteração é responsável por alterar o dimensionamento e coordenação entre os dispositivos de proteção, fazendo com que esses sejam superados ou atuem indevidamente. Diversas soluções para esse problema foram propostas na literatura, porém, muitas delas dependem de condições específicas do sistema para serem implementadas. Este trabalho apresentará uma análise crítica sobre a influência causada por fontes de geração distribuída na proteção de sistemas de distribuição de energia elétrica, propondo soluções adequadas para o problema da descoordenação religador – elo fusível e também para a magnitude das correntes de curto-circuito, que são os principais problemas associados à proteção de sistemas de distribuição de energia elétrica.

Keywords—Sistemas de proteção; Sistemas de distribuição; Geração distribuída; Redes elétricas inteligentes.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, o cenário elétrico brasileiro tem provocado grandes preocupações em razão do crescente consumo e aumento nos preços da energia elétrica, necessitando, assim, a ampliação na geração de energia elétrica, visando na medida do

possível uma maior eficiência energética. Com isso, a geração própria mostra-se uma alternativa muito atraente com a possibilidade de expor o excedente desta geração para o sistema de distribuição de energia elétrica (SDEE). No entanto serão necessários equipamentos que sejam capazes de mensurar e analisar essa bidirecionalidade do fluxo de energia existente, bem como as magnitudes de corrente. Os conceitos destes equipamentos estão associados a redes inteligentes (*smart grids*), sendo elas imprescindíveis para a aplicação deste novo ambiente de geração.

A geração distribuída (GD) é fundamentada em gerar energia próxima aos consumidores e tem atraído cada vez mais a atenção devido, principalmente, as grandes preocupações ambientais, que aumentaram como forma de preparação para uma possível escassez de energia hídrica e uma diminuição da emissão de poluentes proveniente da queima de combustíveis fósseis. Outro fator não menos importante é a preocupação com fatores econômicos, uma vez que os combustíveis fósseis também são esgotáveis. Além disso, é conveniente usar GD no Brasil porque este é um país rico em recursos naturais renováveis para a aplicação no meio energético. No entanto, é necessário levar em consideração os efeitos negativos que as fontes de GD causam, para que as mesmas não interajam de forma prejudicial na rede em que estarão instaladas.

Desta maneira, é necessária a realização de estudos e análises de técnicas para minimização destes efeitos, pois a GD influencia diretamente na proteção e nas correntes de curto-circuito dos SDEE. Sem esta análise torna-se impossível garantir o sucesso na coordenação entre os dispositivos de

proteção do sistema, por fim, este estudo tem como foco analisar os impactos da inserção de fontes de GD nos sistemas de proteção. Essa análise servirá como referência para a proposição de soluções que busquem reduzir os efeitos negativos da GD nos sistemas de proteção já existentes.

II. INFLUÊNCIA DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A. Perdas em SDEE com GD

O sistema elétrico é formado pela geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. O transporte da energia, em qualquer um dos meios citados, resulta sempre em perdas técnicas relacionadas ao aquecimento dos condutores (Efeito Joule), no qual ocorre a transformação de energia elétrica em energia térmica, perdas nos núcleos dos transformadores e perdas dielétricas. As perdas não técnicas advêm de furto, ou seja, ligação clandestina, desvio direto da rede, entre outros.

Segundo [23], as perdas técnicas do ano de 2017 no SDEE foram de aproximadamente 14%, cerca de 69.875.168 MWh. Desta maneira, fica nítida a importância da GD, pois terá capacidade de fornecer seu potencial energético a poucos quilômetros das cargas/consumidores.

No entanto, as perdas nos sistemas elétricos estão diretamente associadas à distribuição e a intensidade do fluxo de potência nas redes que a compõem. Com a presença da GD ocorre a alteração da distribuição do fluxo, elevando assim o carregamento dos alimentadores de distribuição e consequentemente modificando o comportamento das perdas [1]. Desta forma, uma GD é capaz de reduzir as perdas quando a mesma promover um alívio do carregamento da linha, ou aumentar as perdas quando a mesma tende a elevar o carregamento das linhas. [1] ainda salienta que em ambas as situações são fatores dependentes da localização da GD, do nível de geração, da demanda de carga e da topologia da rede.

B. Ilhamento

Para [2] a opção de um ilhamento das GDs seria uma boa alternativa para atender cargas prioritárias, já para [3], o ilhamento aumenta a probabilidade das GDs poderem submeter condições de tensão e frequência fora da faixa estabelecida durante a sua existência. Isso pode representar uma séria ameaça à segurança de uma equipe técnica que por ventura necessite realizar alguma manutenção nesta rede, tendo em vista que a mesma deveria estar desenergizada. Desta forma, o ilhamento pode dificultar a restauração do serviço, exigindo que as equipes de linha gastem mais tempo desabilitando as condições da ilha isso afetará os índices de confiabilidade e seletividade.

Um ilhamento gerado pela operação da curva rápida de um relé ou até mesmo de um religador poderá causar a descoordenação das proteções, uma vez que a GD pode continuar a alimentar a falta e o elo-fusível mais próximo do defeito poderá operar mesmo para uma falta temporária [4]. Um exemplo típico de descoordenação dos dispositivos por

falta na detecção de ilhamento pode ser visto na Figura 1. Quando a falta temporária se inicia o religador opera no sentido de eliminar a falta fragmentando a GD do sistema principal. Todavia, caso a proteção contra o ilhamento da GD não opere, esta continuará alimentando a falta provocando possivelmente a fusão da chave fusível. Como consequência disto, ocorre o desligamento contínuo de uma considerável parte do sistema de distribuição.

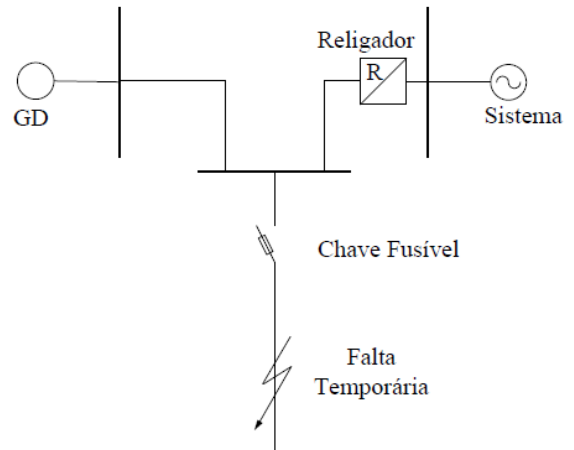


Figura 1: Exemplo de descoordenação causada pela falta de método contra o ilhamento [4].

Desta maneira, torna-se clara a importância pelo qual a detecção de ilhamento deve ser efetuada no menor tempo possível, pois caso a GD demore para ser desligada, pode-se perder a coordenação entre os dispositivos de proteção.

C. Influência da GD na Proteção de SDEE

Os dispositivos de proteção tradicionais em redes de distribuição são compostos por religadores, seccionizadores e fusíveis. Para coordenar os dispositivos de proteção, os esquemas tradicionais do sistema de distribuição implementam a proteção de sobrecorrente e a proteção de falta à terra, essas classificações são obtidas através da curva de tempo mínimo definido inverso (IDMT). Cada curva incorpora uma margem de erro para considerar os atrasos no processamento do sinal, transmissão do sinal e o tempo para o dispositivo atuar e eliminar a falta/falha [5].

Hoje, encontramos uma rede elétrica projetada para operar com um fluxo de potência unidirecional [6]. Desta forma, quando uma GD é implementada neste circuito pode provocar o mal funcionamento dos elementos de proteção, devido à bidirecionalidade do fluxo de potência. Consequentemente, este mal funcionamento acaba contribuindo para a perda de coordenação e seletividade do sistema de proteção. Vale ressaltar que este acontecimento ocorre devido ao fato destas proteções não estarem preparadas para receber tal operação.

Segundo [7] a seletividade das proteções é modificada quando há geradores conectados a redes de distribuição, porque os geradores síncronos ou de indução alteram a magnitude, a duração e a direção da corrente de falta. A corrente de falta é modificada, pois a conexão da GD modifica as características

das redes de distribuição. Os níveis crescentes da corrente de falta podem exceder os parâmetros estabelecidos de corrente dos disjuntores, levando, assim, à ruptura/fusão deste dispositivo de proteção.

Quando uma GD é implementada em um sistema de distribuição, a natureza típica de uma direção do fluxo de energia pode ser perdida. Nesse caso, existe o risco de a coordenação de relés existente ser perturbada ou até se tornar ineficaz [8]. Ainda é salientado que a contribuição para a falta de uma única pequena unidade de GD não é grande, mas as contribuições agregadas de muitas unidades pequenas, ou algumas poucas unidades grandes, podem alterar os níveis de curto-circuito o suficiente para causar a descoordenação entre os dispositivos de proteção, comprometendo a segurança e a seletividade da rede de distribuição.

Desta maneira, todo o processo de escolha de curvas apropriadas para o projeto da coordenação entre os relés, não engloba os efeitos da GD atrelada ao sistema de distribuição. Com isso a IEEE 1547-2003 [20] afirma que, para a conexão de geração distribuição juntamente ao sistema, a mesma não deve causar operação ou impedir o religamento de quaisquer dispositivos protetores instalados na rede de distribuição, e ainda salienta que as coordenações entre esses dispositivos devem ser realizadas sem causar quaisquer alterações às práticas de tempo dos religadores.

Com isso, surge a necessidade de que sejam desenvolvidos estudos baseado em métodos de proteção relacionado a incorporação de GD na rede de distribuição, para que não ocorra a perda de seletividade e segurança da mesma. [9] apresenta um método usando proteção diferencial em microrredes para aplicação juntamente com GD. Para realizar a proteção diferencial, no final de cada linha deve ser equipado com um transformador de corrente (TC), relé e disjuntor. Um link de comunicação será necessário entre dispositivos no final de cada linha, de modo que as correntes possam ser comparadas. Um relé enviará um sinal de *trip* se a diferença na comparação das correntes exceder um nível predeterminado, uma vez que exceder o nível ambos os disjuntores da linha serão desarmados. No esquema proposto por [9], cada unidade de GD tem uma proteção anti-ilhamento que informará o controlador central e a unidade de GD se uma ilha se formou. No entanto, esse método não prevê nenhuma proteção auxiliar caso a os disjuntores/relés venham a falhar. Além disso, o esquema de proteção proposto é muito caro e mais indicados para nível de sub-transmissão [10].

Autores em [11] propõem um esquema que envolve o uso de conteúdo harmônico de formas de onda de tensão da GD, interligadas por inversores. Neste método, o relé de proteção monitora a distorção harmônica total (THD) da tensão do terminal do inversor (na GD) e desliga o inversor se o THD exceder um limite predeterminado. A lógica é que, em operação normal, a rede de distribuição atua como uma fonte de tensão rígida (baixa impedância), mantendo uma baixa tensão de distorção ($THD \approx 0$) nos terminais do inversor. Quando ocorrer qualquer tipo de falha um aumento na tensão da THD será notado. A impedância nos terminais do inversor aumenta porque a rede de distribuição de baixa impedância é desconectada (devido a atuação dos elementos de proteção na rede de distribuição) e somente a carga local permanece. Um relé de proteção monitora a distorção harmônica total (THD)

do ponto de conexão da GD e fará que o disjuntor local opere, isso se o THD exceder o limite predeterminado e se a falha estiver comprovada dentro da zona de proteção do relé de proteção.

Para [12] o método estudado baseia-se em comparadores de valores quadráticos médios da corrente (Root Mean Square - RMS) localizados nas extremidades do ponto de conexão comum da GD. As correntes supridas pela GD são analisadas em tempo real por esses comparadores, eles são capazes de identificar faltas e verificar as perdas da coordenação e da seletividade entre religadores e elos fusíveis do sistema de distribuição. [12] destaca que somente os geradores que causam a descoordenação das proteções são desconectados temporariamente do sistema elétrico de distribuição através de tiristor GTO (Gate Turn-Off Thyristor). Desta maneira, os níveis de corrente são recuperados de acordo com a proteção radial já existente e assegurada a permanência da coordenação e da seletividade entre as proteções. Em uma análise mais aprofundada onde teremos várias GDs descentralizadas por exemplo, somente serão desconectados do sistema a GD que contribuir para a corrente de curto-circuito.

[13] aborda um estudo relacionado há descoordenação do religador com o elo fusível quando uma GD é adicionada no sistema de distribuição de energia. O primeiro passo que o autor considera em seu estudo é classificar o estado de coordenação do elo fusível e o religador nas condições de falha, tanto para manter a coordenação quanto para perder a coordenação. O segundo passo é aplicar duas soluções complementares para diminuir os casos de descoordenação. O primeiro baseia-se em encontrar a melhor localização GD do ponto de vista de coordenação de proteção, já o segundo baseia-se na alteração da configuração do religador para que os casos de descoordenação sejam minimizados.

Já em [14] é proposto um esquema adaptativo com o propósito de garantir a coordenação entre religador e fusível no sistema de distribuição com GD, este estudo também visa garantir a filosofia *fuse saving*. O método trabalha com as características temporizadas e instantâneas (funções 50 e 51, respectivamente), segundo o autor ao utilizar um religador essas funções devem operar sempre juntas para que não ocorra limitações na coordenação com o fusível. Para tal, é recomendado a substituição de religadores existentes por religadores multiprocessados com disponibilidade de comunicação. Um problema citado no estudo é a não garantia de proteção do fusível para diferentes características de inserção de GD no sistema se a função instantânea (função 50) estiver com corrente de pick-up fixa, com isso, é proposto um algoritmo que altera a corrente de pick-up da função 50 do religador de forma online, acompanhando as diferentes inserções de GD no sistema.

Relés de sobrecorrente direcional de configuração dupla são usados no estudo de [15], no qual garantem a coordenação da proteção do sistema de distribuição com GD. Estes relés de ajuste duplos são equipados com duas características de corrente de tempo inversa, cujas configurações dependerão da direção da falta. O problema de coordenação de proteção para este relé é formulado como um problema de programação não linear, em que o objetivo é minimizar o tempo total de operação dos relés durante a operação primária e de backup. O autor aplica este método à uma rede de distribuição de energia

do sistema IEEE de 30 barras [22] equipado com GD síncrona e GD baseada em inversores. No entanto, segundo [16], o sistema com GD baseada em inversores tem impactos quase insignificantes na coordenação da proteção do sistema, por outro lado, as fontes baseadas em geração síncrona podem impactar a coordenação entre o fusível e o relé de sobrecorrente resultando em disparo desnecessário de um alimentador inteiro, [3]. Por fim, os resultados mostram que o esquema de coordenação de proteção proposto com o relé de ajuste duplo pode reduzir significativamente o tempo de operação geral do relé, tornando-se uma opção atraente para sistemas de distribuição com GD.

III. DESCOORDENAÇÃO RELIGADOR – ELO FUSÍVEL

O valor de corrente de curto-circuito que circula em diversos pontos da rede é um importante dado para o planejamento do SDEE. Tais dados irão auxiliar no dimensionamento e calibração dos equipamentos de proteção instalados no SDEE, como por exemplo, elos fusíveis e religadores. Na figura 2 é possível observar um exemplo de um SDEE radial onde os elementos de proteção deverão operar de modo que o curto-circuito existente seja eliminado do sistema, permitindo a completa segurança da rede.

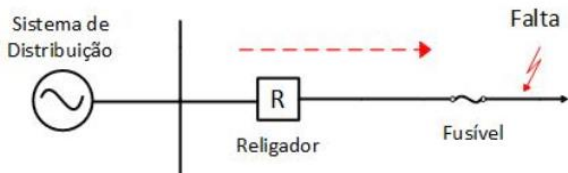


Figura 2: Efeitos de uma falta no SDEE.

No entanto para que o sistema atenda as exigências de confiabilidade, protegendo de forma segura e correta o SDEE, é necessário verificar se os valores máximos de corrente de curto-circuito, na zona de proteção dos equipamentos, irão operar dentro dos limites estabelecidos para coordenação e seletividade, como pode ser visto na Figura 3.

A coordenação entre religador e elo fusível é realizada a partir da interseção da curva de mínima fusão do elo fusível com a curva de operação rápida do religador, e com a interseção da curva máxima de fusão do elo fusível com a curva temporizada do religador. Estas duas interseções geram uma área onde os dispositivos deverão operar em modo de coordenação e seletividade, pois a corrente de curto-circuito situada dentro desta área sempre fará com que o religador atue em sua curva rápida, impedindo que a fusão do elo fusível ocorra sem necessidade (*fuse saving*) para uma falta temporária. Por outro lado, caso a falta seja permanente, deverá ocorrer a fusão do elo fusível, que funciona como proteção de retaguarda. Caso o elo fusível falhe em sua operação a curva temporizada do religador será responsável pela desconexão do circuito.

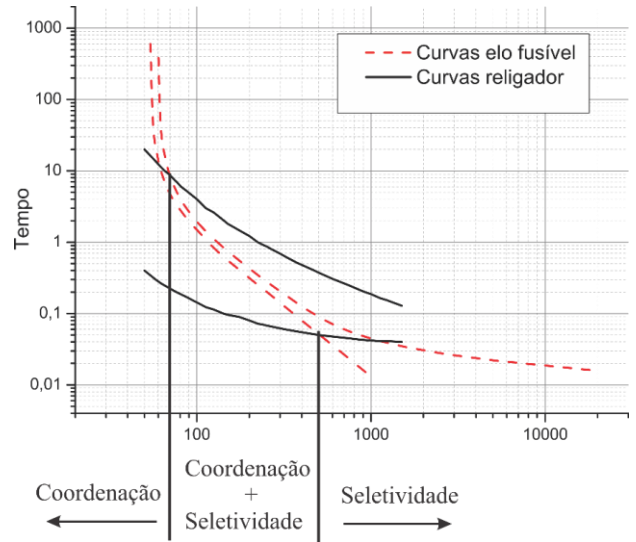


Figura 3: Zonas de proteção – Coordenação e Seletividade [17].

Com a inserção de fontes de GD no sistema, essa lógica de proteção não é mais válida. A Figura 4 mostra os efeitos causados pela inserção da GD no sistema de distribuição durante a ocorrência de uma falta.

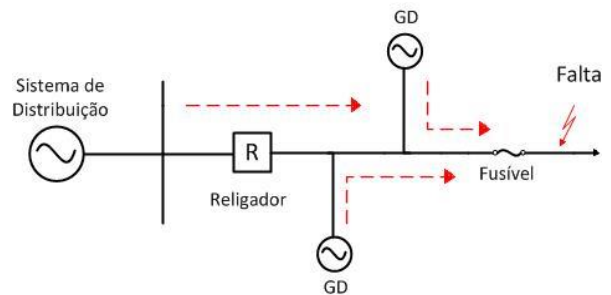


Figura 4: Efeitos da GD na coordenação do religador-fusível.

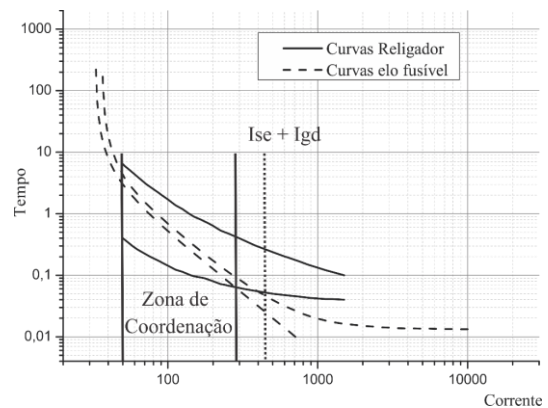


Figura 5: Efeito da contribuição da GD na coordenação religador – elo fusível [17].

Com isso, para uma falta existente no SDEE, as fontes de GD irão contribuir aumentando a corrente de curto-circuito, causando assim a má operação e consequentemente a descoordenação dos equipamentos, como é mostrado na Figura 5. Mantendo o mesmo religador e elo fusível da análise

anterior, a nova corrente de curto-circuito ($I_{se} + I_{gd}$) fará com que ocorra a operação do elo fusível antes da operação do religador, caracterizando uma descoordenação.

IV. SOLUÇÕES PARA REDUZIR A INFLUÊNCIA DA GD NA PROTEÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Proteção adaptativa é uma técnica que permite e busca realizar ajustes no sistema de proteção para adequá-lo às condições variáveis do sistema elétrico. Para definir os ajustes dos relés, o projetista precisa de dados não somente do equipamento a ser protegido, mas também do sistema onde ele está inserido. Sistemas de proteção convencionais são configurados com um ajuste fixo, baseado em estudos prévios do sistema elétrico existente, mas quando ocorre a inserção de fontes de GD essas características são alteradas, sendo assim, torna-se necessário uma estratégia para realizar a mudança de parâmetros no sistema de proteção [18].

Já os métodos para a utilização de limitadores de corrente de falta (LCF) tem a função de limitar as correntes de curto-circuito em valores apropriados das especificações normais do sistema existente. Estes limitadores são compostos por uma baixa impedância quando o sistema elétrico está operando de maneira normal, no entanto, ao ocorrer um curto-circuito o mesmo age inserindo uma alta impedância em série com o sistema, definindo os valores de corrente para um valor pré-determinado [19].

Os LCF são divididos em dois grupos, o primeiro utiliza das características não-lineares do material limitador, quando uma corrente muito alta flui pelo material limitador sua resistência aumenta, causando a limitação da corrente. Já o segundo utiliza o chaveamento entre tiristores de potência que atuam em alta velocidade permitindo a limitação. Essa limitação de corrente é capaz de reduzir a contribuição das fontes de GD para as correntes de curto-circuito, fazendo com que estas retornem para a zona de coordenação definida pelas curvas tempo x corrente de religador e elos fusíveis [19].

V. TRABALHOS FUTUROS

O próximo passo desse trabalho é a modelagem dos sistemas de distribuição para inclusão das fontes de GD. Essa modelagem será realizada utilizando o software Powerfactory Digsilent®. Após feita essa modelagem e a inserção das fontes de GD, serão simuladas algumas soluções para reduzir o impacto da GD na coordenação religador – elo fusível. Ao final, serão apresentadas as soluções que são mais adequadas para aplicação nos SDEE, avaliando tecnicamente cada uma delas.

VI. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma revisão sobre as principais influências causadas pelas fontes de geração distribuída nos sistemas de distribuição de energia elétrica. Apesar de ser responsável por diversos benefícios, a inserção de geração distribuída nos sistemas de distribuição também afeta negativamente a coordenação dos dispositivos de proteção.

Esses efeitos adversos que foram vistos neste trabalho devem ser mitigados para que seja possível adequar os sistemas de proteção, buscando métodos que alterem minimamente os sistemas de distribuição. As principais soluções investigadas envolvem a proteção adaptativa, onde é imprescindível que haja confiabilidade na comunicação em tempo real dos dispositivos de proteção e também a instalação de limitadores de corrente de falta, que consistem em dispositivos capazes de reduzir a contribuição das subestações e fontes de geração distribuída para a falta. Essas soluções serão investigadas em trabalhos futuros, onde serão modelados os sistemas de distribuição, bem como coordenados os dispositivos de proteção. Essa investigação se dará através da simulação computacional, onde essas soluções serão avaliadas tecnicamente.

REFERENCES

- [1] Ayres, H. M., “Desenvolvimento de Metodologias de Análise de Geradores Distribuídos em Sistemas de Distribuição de Energia”, Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010;
- [2] Naruto, D., “Vantagens e desvantagens da geração distribuída e estudo de caso de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica”. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017;
- [3] Barker, P. P., de Mello, R. W., “Determine the Impact of Distribution Generation on Power Systems: Part 1- radial Distribution Systems”, IEEE Power Technologies, pp. 1645 – 1656, 2000;
- [4] Marchesan, G., “Detecção de Ilhamento em Sistemas de Distribuição com Geração Síncrona Distribuída”, Tese (Doutorado engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016
- [5] Kennedy, J., Ciufu, P., Agalgaonkar, A., “Over-voltage mitigation within distribution networks with a high renewable distributed generation penetration”, IEEE International Energy Conference (ENERGYCON), pp. 1107 – 1114, 2014;
- [6] Salman, S. K., “The impact of embedded generation on voltage regulation and losses of distribution networks”, IEEE Colloquium on the Impact of Embedded Generation on Distribution Networks, 1996;
- [7] Hadjsaid, N., Canard, J. F., Dumas, F., “Dispersed generation impact on distribution networks”, IEEE Computer Application in Power, vol. 12, pp. 22-28, 1999;
- [8] Girgis, A. A., Brahma, S. M., “Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Industry System”, Large Engineering Systems Conference on Power Engineering, pp. 115 – 119, 2001;
- [9] Zeineldin, H., El-Saadany, E., Salama, M., “Distributed Generation Micro-Grid Operation: Control and Protection”, IEEE Power Systems Conference, pp. 105 – 111, 2006;
- [10] Kennedy, J., Ciufu, P., Agalgaonkar, A., “A review of protection systems for distribution networks embedded with renewable generation”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 58, pp. 1308 – 1317, 2016;
- [11] Al-Nasseri, H., Redfem, M., “Harmonics Content Based Protection Scheme for Micro-Grids Dominated by Solid State Converters”, IEEE International Middle-East Power System Conference, pp. 50 – 60, 2008;
- [12] Gutierrez, L. F. F., “Proposta de um Sistema de Proteção para Preservar a Coordenação entre Religadores e elos Fusíveis de Sistema de Distribuição na Presença de Geração Distribuída”, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2013;
- [13] Naiem, A. F., Hegazy, Y., Abdelaziz, A. Y., Elsharkawy, M. A., “A classification technique for recloser – fuse coordination in distribution systems with distributed generation”, IEEE Transactions on Power Delivery, v.27, n.1, pp. 176- 185. 2012;

- [14] Hussain, B., Sharkh, S. M., Hussain, S., Abusara, M. A., “An adaptive relaying scheme for fuse saving in distribution networks with distribution generation”, IEEE Transactions on Power Delivery, v. 28, n. 2, pp. 1 – 9, 2013;
- [15] Zeineldin, H. H., Sharaf, M. H., Ibrahim, K. D., El-Zahab, A. E. E., “Optimal Protection Coordination for Meshed Distribution Systems With DG Using Dual Setting Directional Over-Current Relays”, IEEE Transactions on Smart Grid, v. 6, pp. 115 – 123, 2015;
- [16] Funmilayo, H. B., Silva, J. A., Butler-Purry, K. L., “Overcurrent protection for the IEEE 34-node radial test feeder”, IEEE Transactions on Power Delivery, v. 22, n. 2, pp. 459 – 468, 2012;
- [17] Guarda, F. G. K., “Metodologia Híbrida Para Alocação, Coordenação e Dimensionamento de Dispositivos de Proteção em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica com Geração Distribuída Diretamente Acoplada”, Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017;
- [18] Jampala A. K., Venkata, S. S., Damborg, M. J., “Adaptive transmission protection: Concepts and computational issues,” IEEE Trans. Power Del., v. 4, n. 1, pp. 177 – 185, 1989;
- [19] Chabanloo, R. M., Abyaneh, H. A., Agheli, A., Rastegar H., “Overcurrent relays coordination considering transient behaviour of fault current limiter and distributed generation in distribution power network”, IET Gener. Transm. Distrib., v. 5, n. 9, pp. 903–911, 2011;
- [20] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., IEEE Standards 1547.2™ “Standard for interconnecting distributed resources with electric power systems”. New York: IEEE, Technical Report; 2008;
- [21] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Perdas Elétricas. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/654800/14936188/BasePerdas_Internet+-+26-4-2018+%282%29.xlsx/3b20e14e-e213-96a3-d067-49f1ae31df22;
- [22] https://www2.ee.washington.edu/research/pstca/pf30/pg_tca30bus.htm.