

Uma Abordagem do Impacto da Geração Distribuída na Coordenação dos Sistemas de Proteção

Marcos H. S. Alves¹, Pablo R. Lopes², Pedro H. A. Ribeiro³, Robson M. Freitas⁴, Nelber X. Melo⁵

Resumo — A inserção de unidades de Geração Distribuída (GD) nos sistemas de distribuição se destaca pelos benefícios oportunizados. Em contrapartida as alterações nos níveis de corrente de falta e parâmetros do sistema elétrico de potência (SEP), provoca a perda de coordenação e seletividade entre os equipamentos de proteção. Buscando alternativas para mitigar tais problemas, esse artigo propõe uma metodologia de projeto auxiliado por simulação, que avalia as influências da posição da GD em relação ao barramento, do comprimento do alimentador e do limite de margem de corrente do sistema. Considerando que a presença da GD no SEP está crescendo continuamente, os resultados obtidos demonstram ser essa, uma metodologia bastante precisa e confiável.

Palavras-chave – geração distribuída; proteção; coordenação; seletividade.

I. INTRODUÇÃO

A escassez de fontes energéticas tradicionais, nas últimas décadas, somada ao contínuo crescimento da demanda mundial tem incentivado o desenvolvimento e a utilização de formas alternativas de produção de energia cada vez mais próximas dos centros consumidores.

Nesse contexto, as unidades de Geração Distribuída (GD) têm se destacado pelos benefícios trazidos ao sistema elétrico, como: redução das perdas na transmissão; melhoria na qualidade do serviço; redução dos riscos de planejamento; redução dos impactos ambientais, dentre outros.

No entanto, conforme [1], a inserção da GD traz efeitos colaterais, que são mais perceptíveis no sistema de proteção e provocam modificações, principalmente, nos níveis de corrente de falta, fazendo com que se percam a coordenação e a seletividade entre os equipamentos de proteção.

Em geral, a implantação de uma nova geração

implica na necessidade de estudos para a avaliação das condições de operação da rede e da coordenação entre os equipamentos de proteção sob condições de falta [2].

O Procedimento de Distribuição (Prodinst), apresenta os requisitos para conexão da GD, do ponto de vista técnico. Em [3] é apresentado o impacto da GD sobre as correntes de curto-circuito. Já em [4], analisa-se o desempenho da proteção anti-ilhamento para geradores síncronos distribuídos. Em [5] e [13], é proposto um método de alocação ótima de unidades de GD com vista a tornar o sistema de proteção mais robusto na presença de GD.

Os principais problemas avaliados nas referências são ocorrência de ilhamentos, religamentos e perda parcial ou total da seletividade.

Assim, este artigo avalia o impacto de um gerador conectado a uma rede de média tensão como uma geração distribuída, tanto nos níveis de corrente de falta em diferentes pontos do sistema quanto no ajuste de corrente dos relés de proteção, pelo uso de simulações, buscando avaliar a influência da potência da GD, o comprimento da linha de distribuição e a localização da GD no Sistema Elétrico de Potência (SEP).

II. METODOLOGIA E PROBLEMÁTICA

Os impactos considerados neste estudo estão fundamentalmente relacionados à coordenação e a seletividade entre os dispositivos de proteção, notadamente os relés localizados no início dos alimentadores, devido às alterações no nível e direção da corrente de falta. Como a GD altera o nível da corrente de falta, a seletividade amperimétrica e a cronométrica ficam comprometidas [6]. Em outras palavras, não é possível saber em qual local ocorreu a falta analisando simplesmente o nível da corrente. Para se resolver essa situação, é possível utilizar proteções direcionais de sobrecorrente.

Essas proteções, para realização de sua função, utilizam-se de amostras de tensão e corrente e pode ser formada por duas unidades de proteção: uma unidade de sobrecorrente (50 ou 51) e uma unidade direcional (32), cujo conjunto dessas unidades recebe o número 67, de acordo com a nomenclatura ANSI, irá comparar o ângulo de fase entre a tensão e a corrente para que

¹O Autor é aluno de Mestrado do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará (UFC) (e-mail: marcos.hs.alves@gmail.com).

²O Autor é aluno de Graduação do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Piauí (UFPI) (e-mail: prlopes4@yahoo.com.br).

³O Autor é Graduado do curso de engenharia elétrica da Universidade Federal do Piauí (UFPI) (e-mail: pedro.eeufpi@gmail.com).

⁴O Autor é aluno de Graduação do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Piauí (UFPI) (e-mail: robson_o_giga@hotmail.com).

⁵O Autor é Professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Piauí (UFPI) (e-mail: nelber@ufpi.edu.br).

ocorra a determinação da direção (sentido) do fluxo de corrente de modo a se verificar se uma falta está ou não ocorrendo [7].

A parametrização das funções de proteção de sobrecorrente do sistema antes da inserção da GD pode ser afetada significativamente quando ocorre essa inserção. Pode ocorrer alteração nas amplitudes das correntes dos alimentadores, de forma que uma diminuição nas amplitudes dessas correntes, quando da ocorrência de uma falta, pode não ser suficiente para a detecção do dispositivo de proteção, tendo por consequência alteração nos tempos de atuação de cada dispositivo de proteção e, assim, a não isolamento da falta do sistema [8].

Para avaliar o impacto da inserção de um gerador distribuído, na rede de distribuição em média tensão (alimentador), sobre as correntes de falta, elaborou-se um modelo, no qual é possível alterar alguns parâmetros para que análises gráficas possam ser realizadas. Tal modelo foi simulado no software MATLAB®.

Como muitas situações podem influenciar no comportamento do sistema, com enfoque na proteção, foram selecionadas como variáveis para estudo: a distância do gerador à barra da subestação; a potência da geração; e o comprimento do alimentador ao qual está conectado a GD.

III. SISTEMA ANALISADO

Para análise da influência da geração distribuída nas correntes de Curto-circuito, bem como na margem de coordenação de corrente do sistema, analisaram-se duas situações: 1) sistema sem GD; 2) sistema com GD. Para cada situação, a margem de corrente do sistema em função da potência da GD, a potência aceitável da GD em função do comprimento da linha e a potência aceitável da GD em função da posição de inserção da GD foram obtidas graficamente, utilizando-se um sistema com os dados da Tabela 1.

TABELA 1 – DADOS DA REDE ANALISADA

Elemento	Função	Características Elétricas
Sgrid	Potência de curto-circuito da rede	2000 MVA
St	Potência do transformador	10 MVA
ϵ_4	Reatância do transformador	12% na base do transformador
Unom	Tensão de linha do barramento	10 kV
Dgen	Comprimento da linha desde o barramento até o ponto de conexão do gerador	2 km
Dflt	Comprimento da linha até o final do alimentador	10 km
z_f	Impedância da linha por comprimento	0,35 Ω /km
Sgen	Potência do gerador	3,7 MVA
ϵ_{ger}	Reatância do gerador	25% na base do gerador
CB1	Disjuntor da linha 1	-
CB2	Disjuntor da linha 2	-

A Tabela I apresenta os dados do sistema analisado. Esse sistema é apresentado na Figura 1, a seguir.

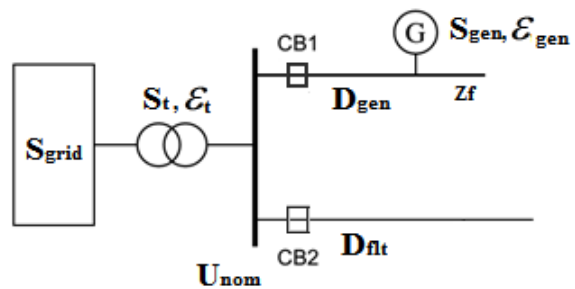


Figura 1. Sistema Elétrico analisado [9]

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de se analisar o efeito da inserção de uma geração distribuída nos ajustes da proteção do sistema elétrico analisado (Figura 1), o sistema será primeiramente analisado sem a geração distribuída, onde serão avaliados os níveis de corrente de falta e quais funções de proteção são necessárias para a configuração dos relés 1 e 2, os quais controlam os disjuntores CB1 e CB2, respectivamente. Em seguida, com a inserção do gerador, os valores das correntes de falta serão recalculados e uma margem de corrente entre elas será medida entre essas faltas para que o impacto da geração distribuída nesse sistema seja analisado.

A. Sistema sem geração distribuída

Para que os relés sejam ajustados corretamente, primeiramente se faz necessário conhecer os limites de falta do sistema estudado, desde a mais severa até a mais branda. Para esse sistema, a falta mais severa é uma falta trifásica no começo do alimentador (barramento de tensão). O modelo em circuito do sistema para esse tipo de falta é dado na Figura 2.

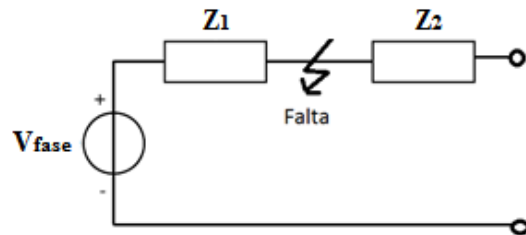


Figura 2. Modelo em circuito do sistema sem geração distribuída para uma falta trifásica no começo do alimentador [9]

Nessa figura, V_{fase} é a tensão de fase do sistema, pois a falta é simétrica; $Z1$ é a impedância combinada da rede mais a do transformador, e $Z2$ é a impedância total da linha. Já que a falta foi no começo do alimentador, a corrente de falta trifásica, bem como as impedâncias, é mostrada abaixo:

$$V_{fase} = \frac{U_{nom}}{\sqrt{3}} \Rightarrow V_{fase} = 5,77 \text{ kV} \quad (1)$$

$$Z1 = \frac{U_{nom}^2}{S_{grid}} + \epsilon_t * \frac{U_{nom}^2}{St} \Rightarrow Z1 = 1,25 \Omega \quad (2)$$

$$I_{f1} = \frac{V_{fase}}{Z1} \Rightarrow I_{f1} = 4,62 \text{ kA} \quad (3)$$

A Equação (3) mostra o valor de corrente de fase provido pela rede para uma falta trifásica no começo do alimentador. Já a falta com menor magnitude para o sistema em questão se trata de uma falta monofásica ao final do alimentador, independente da linha. Tratando-se de uma falta monofásica, o sistema deve ser separado em modelos de circuito distintos, os quais representam o cálculo da falta em componentes simétricos. As seguintes considerações serão feitas quanto ao cálculo das impedâncias de cada componente do sistema estudado:

- O gerador não contribui para a corrente de sequência zero da falta;
- As impedâncias de sequência positiva e negativa são iguais para todos os elementos do sistema, com exceção do gerador;
- A impedância de sequência zero do elemento antes do alimentador (rede e transformador) é proporcional a impedância de sequência positiva por um fator α ;
- A impedância de sequência negativa do gerador é proporcional a impedância de sequência positiva por um fator β ;
- A impedância de sequência zero das linhas é proporcional a impedância de sequência positiva por um fator γ .

A Tabela 2 mostra os critérios citados acima em expressões numéricas.

TABELA 2 – IMPEDÂNCIAS DOS ELEMENTOS DO SISTEMA DADAS EM TERMOS DE COMPONENTES SIMÉTRICOS

Sequência positiva	Sequência negativa	Sequência zero
$Z_{1p} = Z_1$	$Z_{1n} = Z_1$	$Z_{1z} = \alpha Z_1$
$Z_{2p} = Z_2$	$Z_{2n} = Z_2$	$Z_{2z} = \gamma Z_2$
$Z_{3p} = Z_3$	$Z_{3n} = Z_3$	$Z_{3z} = \gamma Z_3$
$Z_{4p} = Z_4$	$Z_{4n} = Z_4$	$Z_{4z} = \gamma Z_1$
$Z_{5p} = Z_5$	$Z_{5n} = \beta Z_5$	$Z_{5z} = \infty$
$Z_{6p} = Z_6$	$Z_{6n} = Z_6$	$Z_{6z} = \gamma Z_6$

Em posse dos valores das impedâncias, o modelo em circuito para a falta monofásica é mostrado na Figura 3.

Assumindo-se $\alpha = 0.6$, $\beta = 0.75$ e $\gamma = 1.8$, a corrente de falta monofásica é dada por:

$$Z_{1p} = Z_{1n} = Z_1 \quad (4)$$

$$Z_{1z} = \alpha * Z_1 = 0,75 \, \Omega \quad (5)$$

$$Z_2 = Df_{lt} * z_f = 3,5 \, \Omega \quad (6)$$

$$Z_{2p} = Z_{2n} = Z_2 \quad (7)$$

$$Z_{2z} = \gamma * Z_2 = 6,3 \, \Omega \quad (8)$$

$$I_{fmono1} = \frac{V_{fase}}{Z_{1p} + Z_{1n} + Z_{1z} + Z_{2p} + Z_{2n} + Z_{2z}} = 348,5A \quad (9)$$

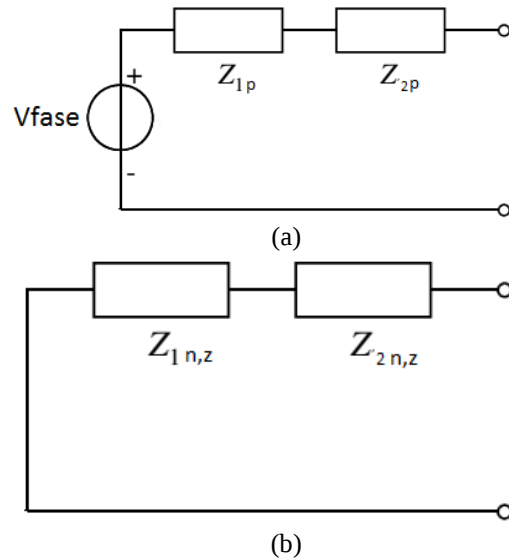


Figura 3. Modelo em circuito da (a) sequência positiva, (b) negativa e zero do sistema sem geração distribuída para uma falta monofásica no final do alimentador [9]

A Equação (9) mostra o valor de corrente provido pela rede para uma falta monofásica no final do alimentador. Por ser uma falta monofásica, a corrente de falta calculada corresponde a corrente na fase afetada. Portanto, se consideramos a Fase A como a fase afetada, a corrente que passa por ela é I_{fmono1} . Comparando os valores de I_{f1} e I_{fmono1} , percebe-se que há uma grande margem de corrente, que possibilita uma maior flexibilidade (vários ajustes podem ser usados) ao ajustar e coordenar os relés 1 e 2 para proteger o sistema até o final do alimentador. Como os relés devem ser sensíveis à menor corrente de falta, para que atuem corretamente, o valor de I_{fmono1} é o recomendado para o ajuste da função sobrecorrente dos relés e será suficiente para proteger esse sistema, devido à simplicidade deste.

B. Sistema com geração distribuída

Considerando a inserção do gerador na linha 1 do alimentador, foi feito um novo cálculo para as correntes de falta citadas anteriormente. Começando pela falta trifásica no começo do alimentador, o novo modelo em circuito é mostrado na Figura 4.

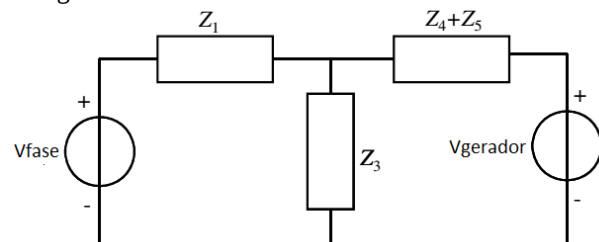


Figura 4. Modelo em circuito do sistema com geração distribuída para uma falta trifásica no começo do alimentador [9]

Além das variáveis já conhecidas, como V_{fase} , Z_1 e Z_2 , tem-se novos parâmetros, como Z_3 , que representa a impedância da linha 2 até o final do alimentador; Z_4 , correspondente à impedância da linha 1 entre o barramento de tensão e o ponto de conexão do gerador, Z_5 , que é a impedância do gerador; e $V_{gerador}$, que corresponde à tensão de fase do gerador, nesse caso é igual à V_{fase} , já que está conectado no mesmo sistema. Para uma falta trifásica que ocorre no começo do alimentador, não há corrente fluindo pela linha 2, o que exclui a contribuição de Z_3 para a corrente de falta ($Z_3 = 0$).

Além da corrente calculada em (9), a presença do gerador no sistema fará com que ele também contribua para a corrente de falta, a qual passa por CB1. A seguir, será avaliada essa contribuição.

$$V_{gerador} = 5,77 \text{ kV} \quad (10)$$

$$Z_4 = D_{gen} * z_f = 0,7 \Omega \quad (11)$$

$$Z_5 = \epsilon_{gen} * \frac{U_{nom}^2}{S_{gerador}} \Rightarrow Z_5 = 6,76 \Omega \quad (12)$$

$$ICB1 = \frac{V_{fase}}{Z_4 + Z_5} \Rightarrow ICB1 = 773,93 \text{ A} \quad (13)$$

Comparando a corrente em (13), que é uma corrente de fase, com a corrente de ajuste dos relés em (9), observa-se que haverá uma atuação indevida pela função de sobrecorrente, pois a corrente em (13) é maior que o ajuste do relé e ele só deveria atuar para faltas a frente do alimentador. Portanto, devido à inserção do gerador no sistema, é recomendado adição de uma nova função do relé 1: direcionalidade. Assim, quando uma corrente for medida no sentido contrário do fluxo normal de corrente pelo relé 1 com a magnitude calculada em (9), ele não atuará, já que é responsabilidade do relé à montante eliminar essa falta.

Realizando-se, agora, o cálculo da falta monofásica no final da linha 1, a fim de avaliar outro efeito da geração distribuída na função sobrecorrente do relé 1. Na Figura 5, temos o modelo em circuito do sistema para a falta monofásica considerando a geração distribuída.

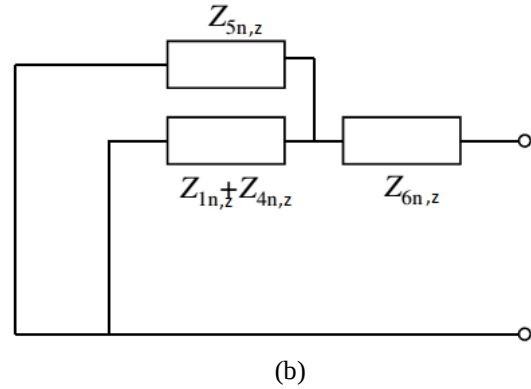
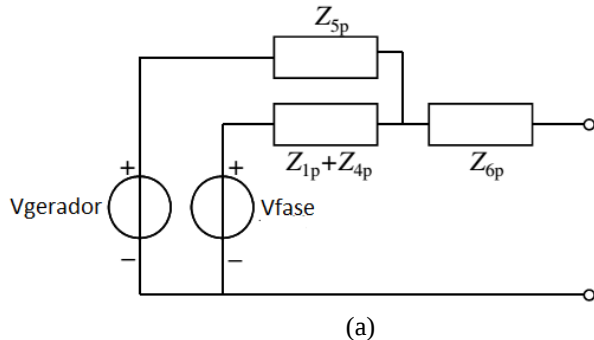


Figura 5. Modelo em circuito da (a) sequência positiva, (b) negativa e zero do sistema com geração distribuída para uma falta monofásica no final do alimentador na linha 1 [9]

A inserção do gerador faz com que a linha 1 seja dividida em duas seções para o caso da falta monofásica: Z_4 , que já foi mencionado anteriormente, e Z_6 , que representa a impedância da linha desde o ponto de conexão do gerador até o local da falta, que nesse caso é o final do alimentador. Logo, a corrente de falta monofásica para essa situação é dada por:

$$Z_{4p} = Z_{4n} = Z_4 \quad (14)$$

$$Z_{4z} = \gamma * Z_4 = 1,26 \Omega \quad (15)$$

$$Z_{5p} = Z_5 \quad (16)$$

$$Z_{5n} = \beta * Z_5 = 5,07 \Omega \quad (17)$$

$$Z_6 = (D_{flt} - D_{gen}) * z_f = 2,8 \Omega \quad (18)$$

$$Z_{6p} = Z_{6n} = Z_6 \quad (19)$$

$$Z_{6z} = \gamma * Z_6 = 5,04 \Omega \quad (20)$$

$$Z_p = \frac{(Z_{1p} + Z_{4p}) * Z_{5p}}{Z_{1p} + Z_{4p} + Z_{5p}} + Z_{6p} \quad (21)$$

$$Z_n = \frac{(Z_{1n} + Z_{4n}) * Z_{5n}}{Z_{1n} + Z_{4n} + Z_{5n}} + Z_{6n} \quad (22)$$

$$Z_z = Z_{1z} + Z_{4z} + Z_{6z} \quad (23)$$

$$I_{fmono2} = \frac{V_{fase}}{Z_p + Z_n + Z_z} \Rightarrow I_{fmono2} = 370,75 \text{ A} \quad (24)$$

A corrente calculada em (24) é a corrente de falta monofásica no final da linha. Essa corrente não é percebida pelo relé 1, pois ele mede a corrente que vem da rede para o começo do alimentador. Logo, para encontrar a corrente que passa por CB1, deve-se decompor a corrente em (24) em suas componentes simétricas para aplicar o método da divisão de corrente em cada circuito de sequência, mostrado na Figura 6.

$$I_p = \frac{Z_{5p}}{Z_{1p} + Z_{4p} + Z_{5p}} * I_{fmono2} = 287,8 \text{ A} \quad (25)$$

$$I_n = \frac{Z_{5n}}{Z_{1n} + Z_{4n} + Z_{5n}} * I_{fmono2} = 267,8 \text{ A} \quad (26)$$

$$I_z = \frac{Z_{5z}}{Z_{1z} + Z_{4z} + Z_{5z}} * I_{fmono2} = 370,75 \text{ A} \quad (27)$$

Em posse das correntes em (25), (26) e (27), pode-se calcular a corrente em cada fase no começo do alimentador da

linha 1. Uma vez que a falta é monofásica, espera-se que somente a corrente na fase A da linha 1 tenha magnitude suficiente para disparar a função sobrecorrente do relé 1.

$$I_a = I_p + I_n + I_z = 926,38 A \quad (28)$$

$$I_b = a^2 * I_p + a * I_n + I_z = 92.94 + 17.29i A \quad (29)$$

$$I_c = a * I_p + a^2 * I_n + I_z = 92.94 - 17.29i A \quad (30)$$

Comparando os valores de ICB1 e I_a , a margem de corrente desse relé é dada abaixo.

$$Margem = ICB1 - I_a = 152,45 A \quad (31)$$

A margem de corrente representa a região em cuja operação do relé pode ocorrer, conforme o ajuste de corrente usado. Este deve ser maior que a maior corrente de falta trifásica no começo do alimentador e menor que a menor corrente de falta monofásica no final do alimentador. Quanto menor a margem de corrente, mais difícil será a coordenação entre os relés, estejam eles a montante ou jusante do sistema.

Muitos fatores influenciam na margem de corrente do sistema. Os principais são: a potência da geração distribuída; o comprimento da linha do alimentador; e a posição da geração em relação ao barramento. Começando pelo efeito da potência da geração na margem de corrente, a relação é mostrada na Figura 7.

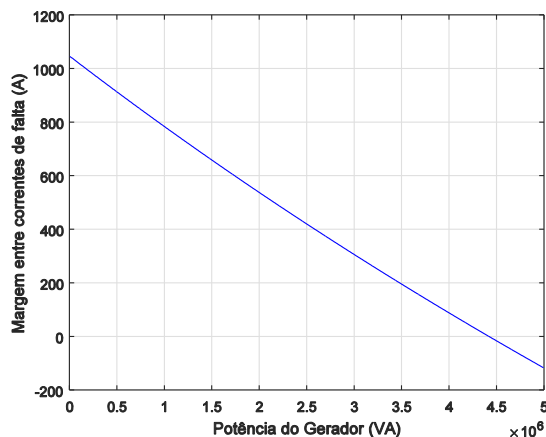


Figura 7. Margem de corrente em função da potência do gerador

Percebe-se, pela Figura 7, que ao se aumentar a potência da geração diminui a margem de corrente. Para um gerador de potência 4,42 MVA, a margem de corrente passa a ser zero, o que torna o ajuste e coordenação do relé 1 difícil.

Devido aos efeitos significativos da geração distribuída no sistema estudado, muitas concessionárias estabelecem limites de margem de corrente aceitáveis, a fim de não prejudicar a coordenação já estabelecido nos sistemas de média tensão, como o caso do sistema estudado. Quanto maior a margem mínima requerida, menor a potência aceitável pelo sistema. Caso o limite mínimo de margem seja de 50 A, a máxima potência que um gerador poderia ter, para o sistema estudado, seria de 4,18 MVA (vide Figura 7); para um limite de 100 A, a potência já diminuiria para 3,94 MVA.

Outro parâmetro que influencia a potência aceitável pelo sistema é o comprimento da linha do alimentador, mantendo a posição do gerador fixa. A Figura 8 mostra essa relação.

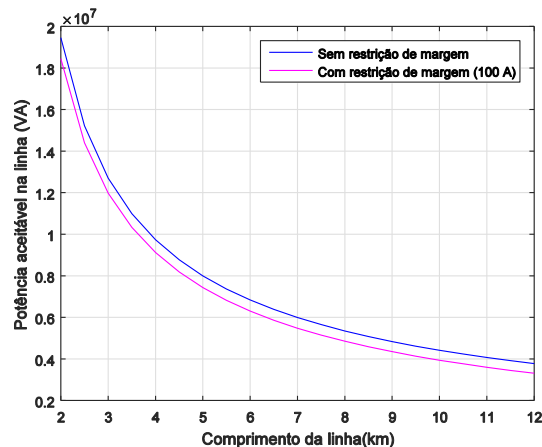


Figura 8. Potência aceitável no sistema em função do comprimento da linha

Pela Figura 8, observa-se que quanto maior for o comprimento da linha menor será a potência aceitável pelo sistema. Isso já era esperado, porque ao se aumentar o comprimento da linha, também se aumenta sua impedância, o que por sua vez diminui o nível da falta monofásica no final do alimentador. Consequentemente, a margem de corrente do sistema diminui naturalmente e, por conseguinte, a potência aceitável pelo sistema (vide figura 7). No caso específico do exemplo calculado, com uma linha de 10 km, sem a restrição de margem, a potência máxima aceitável da geração é de 4,42 MVA; com a restrição de 100 A (valor comum nas concessionárias de energia europeias para o limite de margem mínimo), esse valor cai para 4 MVA. Do ponto de vista prático, o impacto não é tão grande, devido ao fato de o sistema analisado ser de média tensão. No entanto, caso fosse um sistema de distribuição, o impacto de uma geração distribuída seria bem maior.

Por fim, a Figura 9 mostra a relação entre a potência de geração aceitável pelo sistema e a posição do gerador em relação ao barramento.

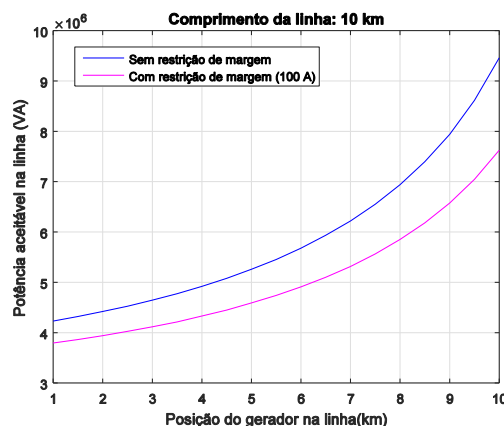


Figura 9. Potência aceitável no sistema em função da posição do gerador na linha (comprimento da linha fixo em 10 km)

Pela Figura 9, observa-se que conforme esperado, quanto mais distante a geração está do barramento de tensão, maior é

a potência aceitável pelo sistema, pois ao se posicionar o gerador mais distante do começo do alimentador, diminui-se a impedância entre eles (Z4) e, também, diminui-se o nível da falta trifásica no começo do alimentador. Em contrapartida, quanto mais próximo do fim do alimentador a geração se encontra, maior é o nível da falta monofásica no final da linha, uma vez que a impedância diminui (Z6). Portanto, margem de corrente aumenta naturalmente. Na figura 9, também se percebe um efeito mais significativo da restrição de margem na potência aceitável: sem a restrição, a potência do gerador poderia chegar a 10 MVA, enquanto que, com a restrição, esse valor só chega até 8 MVA. Caso o comprimento da linha variasse juntamente com a posição do gerador, a tendência das curvas mostradas na Figura 9 seriam de se afastar cada vez mais; um feito dos dois parâmetros combinados.

V. CONCLUSÕES

Tendo em vista que a presença da geração distribuída no sistema de potência irá crescer cada vez mais no sistema de distribuição, foi analisado nesse artigo o efeito de uma geração distribuída em um sistema de potência de média tensão, em termos de nível de corrente de falta e no ajuste dos relés. Foi concluído que a inserção da GD diminui a margem de corrente entre a falta mais severa e a falta mais branda do sistema, o que prejudica a coordenação dos relés com outros a montante ou a jusante do sistema, além de provocar a atuação indevida dos relés. Portanto, é recomendado que o ajuste dos relés seja refeito para considerar os efeitos da GD, com ênfase nas funções sobrecorrente e direcional.

Também foi analisado como a potência aceitável da GD no sistema é afetada por parâmetros como a posição da geração em relação ao barramento da subestação; o comprimento do alimentador e o limite de margem de corrente do sistema. Foi mostrado que o aumento da margem mínima de corrente, bem como o aumento do comprimento da linha, diminui a potência aceitável da GD no sistema, enquanto que quanto mais distante do barramento de tensão a GD se encontra, maior a potência da GD que pode ser conectada ao sistema. Consequentemente, todos esses parâmetros são levados em conta em um projeto de geração distribuída.

Visto que a temática tratada neste artigo apresenta relevância para o projeto de sistemas de proteção na presença de GD, avanços podem ser realizados no sentido de implementar a alocação ótima de unidades de geração distribuída, utilizando algoritmos genéticos, com vista a manter a coordenação e seletividade do sistema de proteção. É possível ainda, o aumento da escala do sistema de potência estudado e analisar, em termos matemáticos, a coordenação dos relés em um sistema de potência, bem como a localização de faltas por ondas viajantes, conforme [14].

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Educação Tutorial – PET da Universidade Federal do Piauí pelo apoio. Ao Grupo de Processamento de Energia e Controle – GPEC da Universidade Federal do Ceará.

REFERÊNCIAS

- [1] PRIOLKAR, J. G.; SHET, V. N. A Review on Protection Issues in Microgrid. *International Journal of Emerging Trends in Electrical and Electronics (IJETEE)*, v. 2, n. 1, p. 6, Abril 2013. ISSN 2320-9569. Disponível em: <http://iret.co.in/archivesJ1.html>. Acesso em: Abril 2015.
- [2] SALGADO, Danilo Augusto. KAGAN, Nelson. Uma Abordagem Paramétrica do Impacto da Geração Distribuída Sobre as Correntes de Curto-Circuito em Redes de Distribuição de Energia Elétrica. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE*. 2014.
- [3] BOLLEN, Math. HASSAN, Fainan. *Integration of Distributed Generation in the Power System*. 2011.
- [4] CARVALHO, Márcio M. MOTTER, Daniel. JÚNIOR, José C. M. Vieira. Análise do Impacto de Cargas Estáticas no Desempenho da Proteção Anti-ilhamento de Geradores Síncronos Distribuídos. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE*. 2014.
- [5] DONADEL, Clainer Bravin. FARDIN, Jussara Farias. ENCARNACÃO, Lucas Frizera. Alocação Ótima de Unidades de Geração Distribuída em Redes de Distribuição - Metodologias e Desafios. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE*. 2014.
- [6] CIGRÉ Study Committee No. 37: "Impact of Increasing Contributions of Dispersed Generation on the Power Systems". Final report of Working Group 37-23, 1998.
- [7] SGUAÇABIA, R. Avaliação do Impacto da Geração Distribuída sobre o Sistema de Proteção de Sobrecorrente de uma Rede de Distribuição Operando em Ilhamento Intencional. 2015. 163 f. Dissertação – Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.
- [8] LUIZ, Cicéli Martins. Avaliação dos Impactos da Geração Distribuída para Proteção do Sistema Elétrico. 2012. p.90. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – PPGE, Escola de Engenharia, Universidade de Minas Gerais, 2012.
- [9] GEIDL, M. Protection of Power Systems with Distributed Generation: State of the Art. *Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich*. [S.l.], p. 35. 2005. HUSSAIN, B. et al. Integration of distributed generation into the grid: protection challenges and solutions. *IET International Conference on Developments in Power System Protection*, 2010.
- [10] BITTENCOURT, Annelise Anderson. Proteção Adaptativa de Alimentadores de Distribuição de Energia Elétrica considerando Geração Distribuída. 2011. p.93. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.
- [11] LINO, Marco Aurélio Batista. Proteção da Interconexão de um Gerador Distribuído com o Sistema de Distribuição de Energia Elétrica. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2007.
- [12] P. P. Barker, R. W. De Mello. Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Radial Distribution Systems. 2000. *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, volume 3, pp. 1645-1656, 2000.
- [13] BRANCO, César A. S. Castelo. Júnior, Arnaldo P. Azevedo. Alves, Helton do Nascimento. Alocação Ótima de Unidades de Geração Distribuída em Redes de Distribuição: Comparação entre Metodologias. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE*. 2014.
- [14] ALVES, Marcos H. S.; ALMEIDA, Otacílio M.; ALMEIDA, Aryfrance R.; CARVALHO, José G. S.; JUNIOR, Bartolomeu F. S.; ABREU, Francisco C. M. Teoria das Ondas Viajantes e Filtragem Adaptativa de Sinais para Localização de Faltas em Linhas de Transmissão. *12º Congresso Brasileiro de Inteligência Computacional/2º Latin-American Conference on Computational Intelligence*, Curitiba, Paraná, Brasil, 2015.