

Análise da Influência da Geração Distribuída na Margem de Estabilidade de Tensão em Condições de Pré e Pós Contingências

Carolina Cortez do Prado¹, Daniel Pinheiro Bernardon², Priscila Silveira Ebert³, Felipe Cirolini Lucchese⁴

Universidade Federal de Santa Maria

Endereço: Av. Roraima, 1000 - Fone/Fax: (55) 3220-8720

CEP: 97105-900 – Santa Maria – RS – Brasil

Resumo - A Geração Distribuída (GD) vem apresentando grandes mudanças no atual sistema de distribuição. Dessa forma, torna-se cada vez mais necessária a análise profunda do sistema elétrico de potência. Entre as diversas questões relacionadas aos sistemas de potência, o estudo estabilidade de tensão é de grande interesse, já que é um fator que influencia na segurança operacional. Nesse contexto, esse trabalho visa analisar o impacto que a GD pode causar na margem de estabilidade de tensão e determinar de que maneiras a GD poderá seguir operando trazendo benefícios ao sistema e sem prejuízos a estabilidade

Palavras – chaves: Estabilidade de tensão, Geração Distribuída, Sistemas de distribuição, Sistemas Elétricos de Potência, Smart Grid.

I. INTRODUÇÃO

Os últimos anos foram marcados por grandes e importantes avanços tecnológicos no segmento de energia elétrica. Entre esses, destaca-se o conceito de Smart Grid, ou Redes Inteligentes. A proposta da Smart grid é transformar a rede atual em um sistema capaz de proporcionar novas atribuições, como por exemplo, o gerenciamento do uso da energia, gerenciamento do preço da energia em tempo real, sistemas sustentáveis, com qualidade e confiabilidade satisfatórias ao consumidor. Para que essas novas habilidades do sistema se concretizem, novas tecnologias devem ser incorporadas ao sistema atual, com destaque para a inserção de unidades de Geração Distribuída (GD).

A GD tem se tornado uma interessante solução para aprimorar o tradicional sistema elétrico, sendo capaz de oferecer diversos benefícios, tanto no âmbito técnico e econômico, como também para o meio ambiente. A redução de perdas de energia, pequeno impacto ambiental, diversificação da matriz energética, descongestionamento dos sistemas de transmissão e distribuição e diminuição de gastos com investimentos estão entre as principais vantagens da inserção de GDs. Por isso, pode ser considerada uma interessante solução em termos de sustentabilidade.

As novas tecnologias que vem sendo inseridas ao sistema tradicional, são responsáveis por grandes mudanças no design

tradicional das redes de distribuição. Essas mudanças ainda são motivo para inúmeras discussões e preocupações quanto ao impacto que as redes inteligentes e a inserção de GD podem causar ao sistema elétrico. Portanto, a análise do sistema, incluindo unidades de geração distribuída, torna-se um problema emergente, especialmente por possuir uma grande variedade de tecnologias associadas as GDs, e a singularidade de cada configuração das redes de distribuição.

Entre as inúmeras questões e dúvidas relacionadas aos sistemas de potência com inserção de GD, a análise da estabilidade do sistema é de grande importância, por ser definida como a capacidade do sistema de manter seus níveis de tensão em limites aceitáveis, após ser submetido a distúrbios.

A instabilidade de tensão pode ser resultado de um progressivo colapso, grande e rápido aumento ou decréscimo nos barramentos do sistema, o que é capaz de causar interrupção de carga, perda de linhas de transmissão e até um colapso total do sistema.

Nesse contexto, esse trabalho busca realizar uma análise do impacto que a GD é capaz de causar na margem de estabilidade de tensão (MET).

Para tanto, um sistema hipotético de distribuição com unidades de GD será apresentado. Por meio de recursos computacionais, diferentes simulações serão realizadas para diversas ocasiões. O principal objetivo dessas simulações é avaliar a resposta da estabilidade de tensão para situações em contingência.

Com base nos resultados das simulações, esse trabalho busca avaliar e determinar os locais mais apropriados para a inserção de unidades de GD, de forma que as novas gerações não tragam prejuízos ao sistema, e garantam a estabilidade de tensão satisfatória.

A expectativa é procurar saber de que formas a GD pode operar da melhor maneira possível, explorando seus benefícios, e aprimorando os sistemas de energia elétrica

¹Mestranda em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Estudos em Energia e Sistemas de Potência (CEESP). carolina.cortez.prado@gmail.com

² Prof. Dr. na Universidade Federal de Santa Maria.

³Doutoranda em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Estudos em Energia e Sistemas de Potência (CEESP).

⁴Graduando em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Estudos em Energia e Sistemas de Potência (CEESP).

II. ESTABILIDADE DE TENSÃO

A estabilidade de tensão é definida como a capacidade do sistema elétrico de potência de manter níveis aceitáveis de tensão, tanto para condições normais de operação, como após a ocorrência de distúrbios [1].

A instabilidade é capaz de ocorrer em virtude de perturbações na rede, crescimento acelerado de carga de demanda ou mudanças bruscas nas condições de operação, os quais podem causar um aumento ou decréscimo incontrolável nos níveis de tensão. As principais razões que influenciam nas condições de estabilidade de tensão são:

- extensas redes de transmissão, que conectam as usinas de geração aos centros consumidores;
- linhas de transmissão sobrecarregadas, as quais causam um aumento nas perdas de energia reativa;
- falta de coordenação entre os sistemas de controle e de proteção;
- influencia das características das cargas frente as variações de tensão.

O principal fator responsável pela instabilidade de tensão é a inabilidade do sistema elétrico de manter um apropriado balanço de potência reativa e fornecer um suporte adequado de tensão ao longo do sistema.

Em um determinado ponto, o fluxo de potência reativa inverte-se, e o sistema de transmissão passa a absorver energia reativa. Se a quantidade de reativos não for suficiente, os níveis de tensão começam a declinar. A solução viável seria aumentar a diferença de tensão entre as barras do sistema. Assim, troca-se a energia reativa por pela diferença de tensão. No entanto, caso exceda-se os limites operacionais, a situação pode não ser sustentada e poderá ocorrer um colapso do sistema [1][3].

Dessa forma, pode-se afirmar que a o fenômeno de estabilidade de tensão está associada ao fluxo de potência reativa, comportamento das cargas frente as variações de tensão e a atuação de dispositivos de controle de tensão [3].

No intuito de evitar a instabilidade de tensão, a qualidade do serviço para garantir o atendimento a demanda de carga, exige níveis de tensão dentro de limites pré-estabelecidos, e o sistema de potência deve dispor de dispositivos capazes de oferecer suporte de reativos, em conjunto com métodos de controle de tensão.

A geração distribuída é capaz não apenas de fornecer energia elétrica, como também atua como um suporte de potência reativa. Ainda, a inserção de unidades de GD oferece importantes benefícios capazes de influenciar positivamente nas questões relacionadas ao problema da instabilidade: extensas linhas de transmissão tornam-se dispensáveis e, conseqüentemente, há uma redução nas perdas de energia e atenuação do congestionamento dos sistemas de transmissão e distribuição. O acréscimo de unidades de GD nos sistemas de

distribuição tem a capacidade de aumentar ou diminuir a margem de estabilidade de tensão, dessa forma, impactando diretamente na estabilidade do sistema. Nesse contexto, então, a GD pode ser considerada uma alternativa para assegurar o desempenho satisfatório do sistema de energia elétrica.

III. MÉTODO DE ANÁLISE

O conhecimento da distância entre o ponto de operação estável e de instabilidade é de grande importância para garantir a segurança operacional do sistema. Por consequência, situações indesejadas podem ser previstas e medidas corretivas e/ou preventivas podem ser tomadas. No que diz respeito a estabilidade de tensão, um importante índice pode ser utilizado, conhecido como Margem de Estabilidade de Tensão (MET) [1][2][3].

A margem de estabilidade de tensão pode ser obtida por meio de métodos estáticos, os quais se baseiam na relação entre a potência recebida (P) e a tensão (V) em uma determinada barra, conhecida como curva PV [2].

A curva PV é obtida aplicando-se o fluxo de potência continuado, e representa o valor máximo de potência que a barra em estudo é capaz de suportar. Verificando-se a curva, a distância entre a potência (MW) consumida em um ponto de operação seguro até um ponto crítico, ou de máxima carga, é conhecida como a margem de estabilidade de tensão (figura 1) [7].

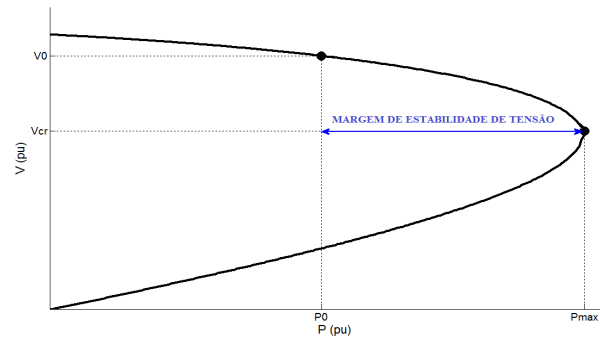


Figura 1 - Margem de Estabilidade de Tensão

Como pode ser visto na figura 1, o ponto crítico é dado por V_{cr} (tensão crítica) e $P_{máx}$ (potência ou carga máxima). A margem de estabilidade está em destaque pela linha azul na figura 1, e é estabelecida pela diferença entre o ponto de operação e o ponto crítico.

Pela curva PV pode-se identificar as barras mais sensíveis a variação de tensão. Essas possivelmente serão as barras mais propensas a receberem unidades de GD, a fim de verificar de que forma são capazes de influenciar na margem de estabilidade de tensão e se configuram alternativas adequadas para aprimorar o sistema.

IV. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Para esse estudo, as simulações foram realizadas no sistema de 14 barras proposto pelo IEEE (figura 2). O mesmo é formado por uma barra de referência V0 (barra 1), quatro barras do tipo PV sendo que a barra 2 possui um gerador síncrono, e as outras três (3, 6 e 8) contêm compensadores síncronos. Ao todo, o sistema possui onze cargas que totalizam 259,00 MW e 73,50 Mvar de demanda. Num primeiro momento, o sistema é simulado em condições normais de operação, a fim de identificar as barras mais sensíveis as variações de tensão (figura 3). As simulações foram realizadas com o *software* ANAREDE e os gráficos gerados a partir da extensão PlotCepel.

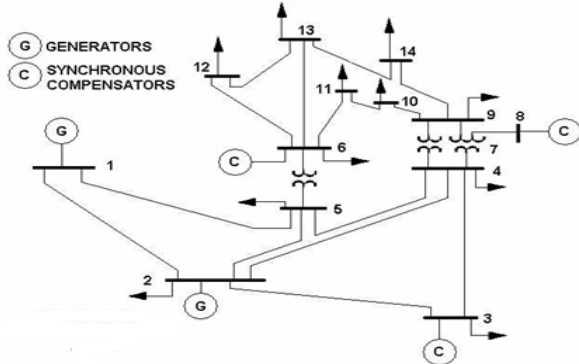


Figura 2 - IEEE 14 barras

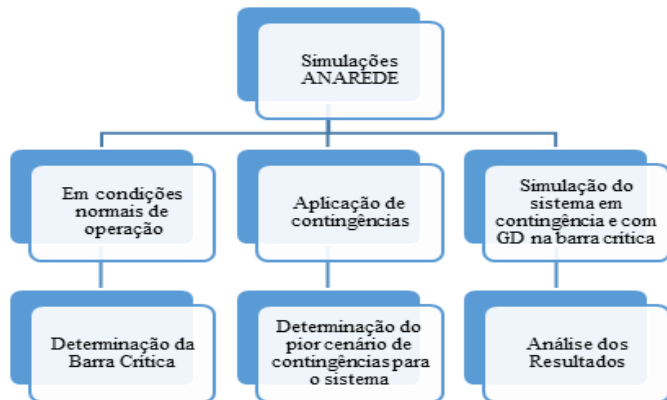


Figura 3 - Esquema representativo das simulações

A. Simulação em condições normais de operação.

Observando-se a figura 4, é possível notar que o valor máximo de carga ($P_{\text{máx}}$) está em torno de 512 MW. Conforme a carga aumenta, a tensão varia, tendendo a decrescer. Para garantir o fornecimento de carga, é necessário um apropriado suporte de reativos. A figura 5 mostra o comportamento da potência reativa, fornecida pelos compensadores síncronos, conforme a variação de carga. A potência reativa aumenta à

medida que a carga cresce, até atingir seu limite máximo, representado pelas linhas constantes na figura 5.

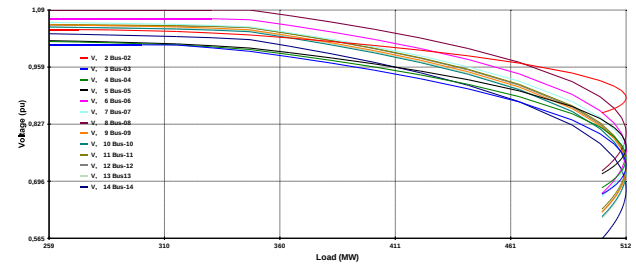


Figura 4 - Resultado de simulação para condições normais de operação

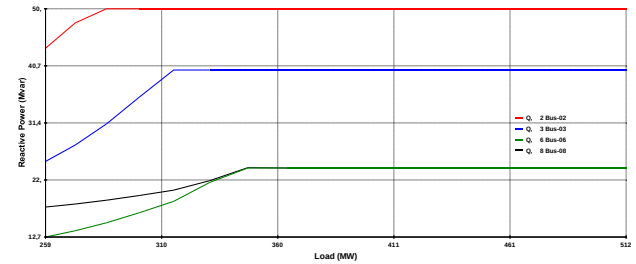


Figura 5 - Curva de carga (MW) x Potência reativa (Mvar)

De acordo com a figura 4, a barra 14 é a barra que apresenta o menor valor de tensão (p.u.) para carga máxima de 512 MW. Portanto, é definida como barra crítica do sistema e candidata a receber unidades de GD.

A figura 6 apresenta a MET para as barras 2 e 14. A primeira tende a apresentar uma margem mais segura, ao contrário da segunda, uma vez que está localizada próxima a central geradora e conectada a barra de referência do sistema.

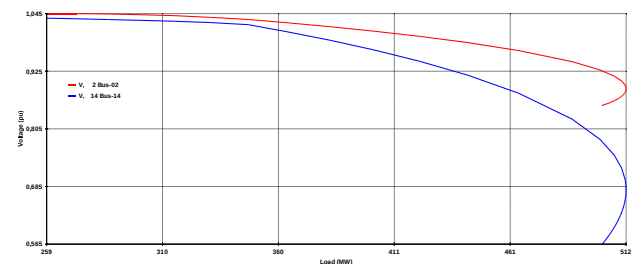


Figura 6 - Comparação entre as MET das barras 2 e 4.

B. Aplicação de contingências

A simulação das contingências é feita desligando-se as linhas de transmissão que conectam a barra 1 a barra 5, a barra 6 a barra 13, e os dois desligamentos ao mesmo tempo. Os resultados são demonstrados nas figuras 7, 8 e 9.

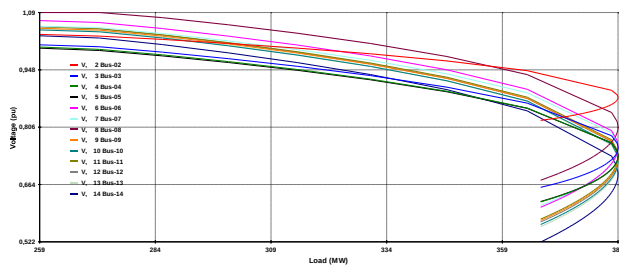


Figura 7 - Curva PV com desligamento da linha 1-5

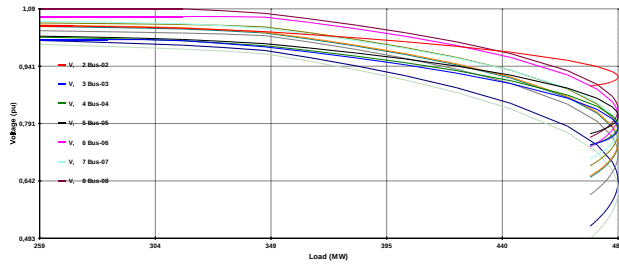


Figura 8 - Curva PV com desligamento da linha 6-13

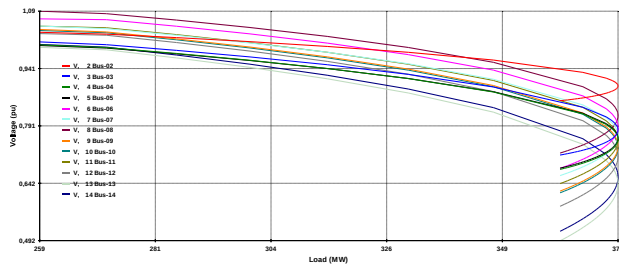


Figura 9 - Curva PV com desligamento das linhas 1-5 e 6-13

Através das curvas, identifica-se a linha de transmissão capaz de causar maiores prejuízos ao sistema frente a contingências, a qual é representada pela conexão entre as barras 1-5. Enquanto que o desligamento da linha entre as barras 6-13 altera a carga máxima para 485 MW, representando uma redução de 5% de potência máxima, o desligamento de linha entre 1-5 representa uma diminuição de 25% da MET, com valor de carga máxima de 384 MW.

Quando as duas linhas são desligadas simultaneamente, a potência máxima do sistema decresce para 371 MW, ou 21% de redução da MET. Portanto, apenas o primeiro caso será utilizado para as simulações, visto que representa o pior cenário.

C. Simulação do sistema em contingência e com inserção de geração distribuída.

A primeira simulação baseia-se na inserção de uma GD de 5 MW na barra 14. Como mostra a figura 10, a potência máxima aumenta para 395 MW, ou seja, há um aumento de 3% na MET, em comparação ao caso de desligamento de linha sem adição de novas unidades geradoras.

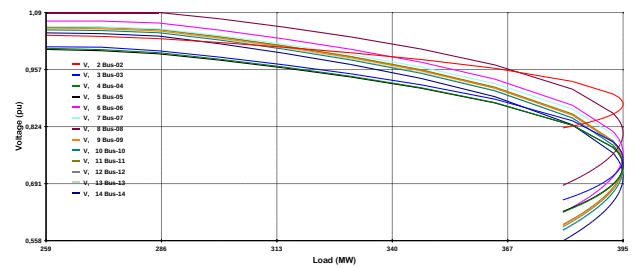


Figura 10 - Curva PV com GD de 5 MW na barra 14.

Em seguida, o mesmo procedimento é feito, porém com a inserção de GD com potência de 10 MW na barra 14. O resultado de simulação pode ser verificado na figura 11.

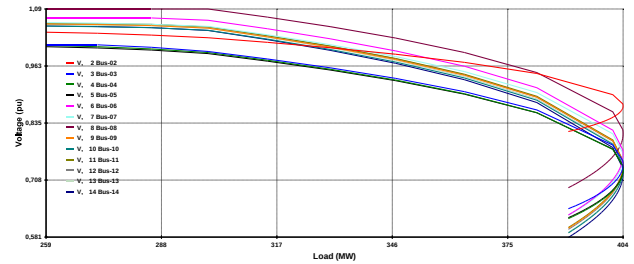


Figura 11 - Curva PV com GD de 10 MW na barra 14.

O valor de carga máxima aumenta para 404 MW, representando um aumento de 5% em comparação com o caso de contingência sem GD. Assim, conforme o valor de potência da GD aumenta, a margem de estabilidade de tensão tende a aumentar, garantindo uma maior margem de segurança para todo o sistema, apenas com a inserção de GD em uma única barra.

É importante notar o comportamento da tensão para cada situação. Na ocorrência de perturbações, a tensão tende a decrescer, especialmente na barra crítica, podendo causar uma significativa sub-excitação. Se o sistema não contar com um suporte de reativos apropriado, o sistema de proteção poderá atuar e isolar o problema. Porém, outras barras poderão ficar sobrecarregadas, e a proteção poderá atuar novamente, o que é capaz de causar um colapso do sistema. Assim, justifica-se a definição da barra 14 como a barra crítica e o motivo pela qual a adição de GD foi realizada nessa barra.

Para fins de entendimento, a mesma GD de 5 MW será adicionada a barra 4. A figura 12 apresenta a simulação do sistema em condições normais de operação, comparando as barras 2, 4 e 14. A barra 4 apresenta uma tensão de 0,68 p.u., enquanto que a tensão da barra 14 é de 0,56 p.u. A barra 2 é apresentada apenas para demonstrar uma condição com valores satisfatórios.

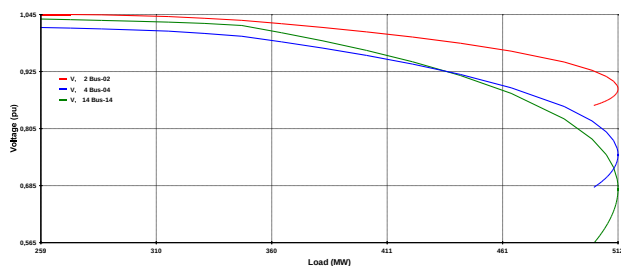


Figura 12 - Comparação entre as barras 2, 4 e 14 em condições normais de operação.

Abaixo (figura 13), a simulação é realizada para a mesma situação de contingência, com a linha entre as barras 1-5 desligada. A tensão da barra 4 e 14 diminuem para 0,62 p.u. e 0,52 p.u., respectivamente.

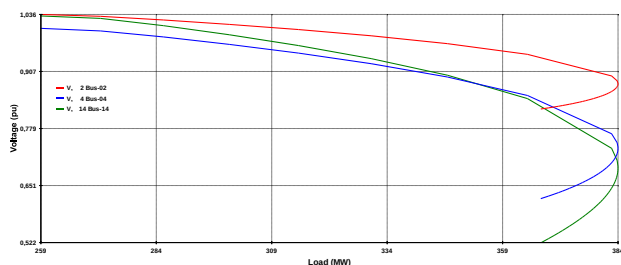


Figura 13 - Comparação entre as MET das barras 4 e 14 em situação de contingência.

Por fim, simulando o sistema em estudo com a adição da GD de 5 MW na barra 4 (figura 14), sua tensão aumenta para 0,635 p.u. Porém, a carga máxima apresenta valores menores do que quando a GD está inserida na barra 14, com diferença de 7 MW, e consequentemente, a margem de estabilidade de tensão também é menor. A tensão da barra 14 segue com valores baixos para esse caso (0,54 p.u.).

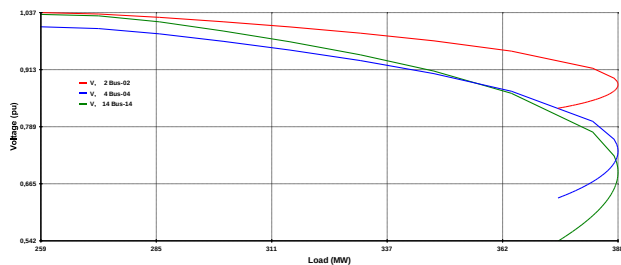


Figura 14 - Comparação entre as barras 4 e 14, com GD inserida na barra 4.

V. CONCLUSÕES

A proposta desse trabalho foi realizar uma análise da influência que as inserções de unidades de geração distribuída podem ter sobre a margem de estabilidade de tensão.

A geração distribuída tem sido tema de diversas pesquisas, em vista das inúmeras incertezas que a cercam e que podem impactar nos sistemas de energia. A integração dessas novas fontes possivelmente mudará os cenários atuais de perfil de

tensão, qualidade de carga, confiabilidade, estabilidade e proteção dos sistemas. Nesse contexto, torna-se necessário estudos sobre a integração de geração distribuída as redes de energia tradicionais.

Apesar das incertezas, as tecnologias das GDs são consideradas interessantes soluções para aprimorar o sistema atual. Seus benefícios, tais como baixo impacto ambiental, menores perdas de energia, descongestionamento de redes e diversificação da matriz energética, configuram uma boa alternativa para melhorar o atendimento a carga, especialmente em centros urbanos, onde a demanda de carga tem alcançado elevados níveis, ou até em áreas mais remotas, dispensando a integração as redes comuns e investimentos com construção de novos sistemas de transmissão.

A estabilidade de tensão em sistemas de distribuição possui papel importante para o planejamento seguro de sistemas de energia, considerando que a instabilidade é capaz de causar interrupções de carga, perda de linhas de transmissão e até ocasionar colapso total no sistema.

Desse modo, esse trabalho baseou-se em diferentes simulações, visando avaliar como a inserção de unidades de GD podem influenciar nos sistemas de distribuição.

Num primeiro momento, o sistema IEEE 14 barras foi simulado para condições normais de operação. Esse caso foi útil para determinação da barra crítica, a qual foi reconhecida como barra 14, cuja de tensão e margem de estabilidade de tensão apresentaram valores críticos.

Aplicando-se contingências nas simulações do sistema, verificou-se uma redução na margem de estabilidade de tensão. Apenas com o desligamento de uma única linha (1-5), houve uma redução de 25% da MET.

A fim de melhorar a MET, uma GD foi integrada ao sistema, sendo conectada a barra crítica. Os resultados de simulação mostram que com apenas uma unidade de GD, a carga máxima do sistema e a margem de estabilidade de tensão aumentam, o que garante mais segurança ao sistema em situações de contingência.

Para esclarecer a importância de identificar a barra crítica, a mesma unidade de GD foi inserida em outra barra, escolha aleatoriamente. Foi possível deduzir que quando a GD é conectada a barra mais conveniente, o resultado apresenta valores mais satisfatórios de MET.

Portanto, a integração de GD aos sistemas tradicionais pode ser útil não apenas para fornecer energia, mas também para manter a segurança do sistema em casos de distúrbios na rede.

Para estudos futuros, estima-se criar uma metodologia para análise, visando determinar a necessidade de inserção de GD, o nível de potência e o local apropriado para instalação dessas novas unidades, no intuito de garantir a estabilidade de tensão em sistemas reais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio técnico e financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- [1] P. KUNDUR, “Power System Stability And Control”, Palo Alto: Mc Graw Hill, 1994.
- [2] W. D. STEVENSON JR., “Análise de Sistemas de Potência”, 2ª ED. Mc Graw Hill, 1982.
- [3] C. W. TAYLOR, “Power System Voltage Stability”, Mc Graw-Hill, 1994.
- [4] A. ABED, J. AQUILAR, N. CHOPRA, P. KRZYKOS, A. LAW, B. LEE, F. M. ELVAIN, S. MOGRI, L. PEREIRA, C. QUIST, R. SCHELLBERG, J. SEABROOK, CH. THOMAS, B. TUMARIN, “Voltage Stability Criteria, Undervoltage Load Shedding Strategy Reactive Power Reserve Monitoring Methology”, Western Systems Coordinating Council, 1998.
- [5] C. S. M. M. DOS REIS, “Determination of Voltage Stability Indices”, Master’s Degree Dissertation, Porto University Of Engineering College - Portugal, 2005.
- [6] S. Y. C. CONDEGA, “Metodologia para Determinação da Margem de Estabilidade de Tensão na Perspectiva de Expansão e Operação de Sistemas de Potência.” Dissertação de Mestrado. UFMG - Belo Horizonte (MG), Brasil, 2013.
- [7] R.S. Al Abri, Ehab F. El-Saadany, Y. M. ATWA; “Optimal Placement and Sizing Method to Improve the Voltage Stability Margin in a Distribution System Using Distributed Generation”. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 28, nº 1. February 2013.
- [8] A. M. AZMY, I. ERLICH; “Impact of Distributed Generation on the Stability of Electrical Power Systems” IEEE Transactions, 2005.
- [9] H. CHEN; J. CHEN; D. SHI; X. DUAN; “Power Flow Study and Voltage Stability Analysis for Distribution Systems with Distributed Generation. IEEE Transactions, 2006.