

Método de Identificação da Instabilidade de Tensão Baseado em Circuito Equivalente Acoplado de Porta-Simples Aprimorado

Diogo C. Lima* Ricardo B. Prada*
Marcos Vinícius P. Teixeira**

* *Departamento de Engenharia Elétrica
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio
diogolima@ele.puc-rio.br*

** *Departamento de Engenharia Elétrica
Instituto Militar de Engenharia, IME*

Abstract: Due to severe consequences, the phenomenon associated with voltage stability has aroused the interest of engineers and researchers across the globe for development of efficient methods for voltage instability detection. New possibilities were created with the advent of synchronized phasor measurement units and the real-time monitoring of the power system became feasible. Several contributions of methods based on synchrophasors measurements for the construction of network equivalents have been presented and, more recently, the improved coupled single-port equivalent was introduced. In this context, this article aims to evaluate the performance considering static and time domain simulations using the MATLAB[®]/PSAT software.

Resumo: O fenômeno associado à estabilidade de tensão tem despertado, sobretudo devido às suas severas consequências, o interesse de engenheiros e pesquisadores para criação de métodos eficientes e ágeis que permitam identificar a iminente perda de estabilidade. Novas possibilidades surgiram com o advento das unidades de medição fasorial sincronizadas e, assim, o monitoramento do sistema elétrico em tempo-real tornou-se factível. Diversas contribuições sobre métodos baseados em medições sincrofatoriais para construção de equivalentes de rede foram apresentadas, dentre as quais, mais recentemente, destaca-se o circuito equivalente acoplado de porta-simples aprimorado. Neste contexto, este artigo propõe-se a avaliar o desempenho do método em simulações estáticas e dinâmicas através do software MATLAB[®]/PSAT.

Keywords: Voltage instability; synchrophasor measurement; multi-port equivalent; Improved Coupled Single-Port; voltage collapse.

Palavras-chaves: Estabilidade de tensão; medição fasorial sincronizada; equivalente multi-portas; Circuito Acoplado de Porta Simples Aprimorado; colapso de tensão.

1. INTRODUÇÃO

O fenômeno associado à instabilidade de tensão tem sido amplamente investigado nas últimas décadas devido às suas severas consequências em incidentes registrados em países ao redor do mundo (Ajjarapu, 2006).

A estabilidade de tensão comumente se caracteriza pela existência de uma máxima potência ativa e reativa que pode ser transferida para uma barra de carga. Contudo, sabe-se atualmente que o fenômeno também se manifesta pela existência de uma máxima geração de potência ativa e reativa injetada na rede através de geradores e compensadores síncronos.

Com o desenvolvimento das unidades de medição fasorial no início da década de 90, associado ao desenvolvimento tecnológico e aumento da infraestrutura das redes de comunicação, criou-se uma nova perspectiva acerca do monitoramento do sistema elétrico, com aplicações promissoras no planejamento, estimação de estado, avaliação do com-

portamento dinâmico, estratégias de controle e proteção e em novos modelos para identificação da instabilidade de tensão (Lima et al., 2019). Uma visão geral sobre os diferentes métodos de detecção da instabilidade de tensão, dentre os quais encontra-se os equivalentes de rede, é apresentado em (Glavic and Van Cutsem, 2011), sendo agrupadas em dois grandes blocos: os métodos baseados em medições locais e os métodos baseados em amplo monitoramento.

Conforme observado nas sucessivas publicações de (Vu et al., 1999; Milosević and Begović, 2003; Šmon et al., 2003; Corsi and Taranto, 2008), os equivalentes de rede construídos a partir de medições locais foram precursores e demonstraram potencial aplicação em sistemas reais de grande porte. Posteriormente, abordagens envolvendo o vasto monitoramento do sistema foram concebidas e diversos autores se comprometeram a compará-los, como em (Yuan and Li, 2014; Silva et al., 2017; Carvalho, 2017; Lima et al., 2018; Lima, 2019), o que reforça o

atual interesse no desenvolvimento de modelos que sejam capazes de identificar o iminente colapso de tensão.

Dada relevância do tema, este trabalho apresenta como contribuição uma avaliação de desempenho do modelo baseado em equivalentes multi-portas proposto em (Cui and Wang, 2017), denominado Circuito Acoplado de Porta Simples Aprimorado (CAPS Aprimorado), através de análises estáticas e dinâmicas.

Para tanto, este artigo estrutura-se da seguinte forma: na Seção 2 é descrita a fundamentação teórica sobre os equivalentes de rede e sua utilização no monitoramento da máxima transferência de potência (MTP). Em seguida, na Seção 3, é apresentado o método CAPS Aprimorado e seu algoritmos para implementação. Na Seção 4 são mostrados os resultados aplicados ao sistema IEEE 14 barras. Por fim, na Seção 5 destacam-se os principais resultados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As diferentes linhas de trabalho e pesquisa beneficiadas pela aplicação do Sistema de Medição Fasorial Sincronizada (SMFS) e sua maturidade com relação aos aspectos tecnológicos e normativos, foram elementos propulsores para sua implementação no sistema elétrico brasileiro. O projeto piloto formando pela cooperação entre o Operador Nacional do Sistema (ONS) e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) têm explorado a aplicação do SMFS através da alocação de unidades de medição instaladas na baixa tensão de diversas universidades do Brasil, e na alta tensão de diversos agentes de transmissão.

Conforme (Fernandes et al., 2019), a responsabilidade de implantação do SMFS no Sistema Interligado Nacional (SIN) cabe ao ONS, que estabelece uma previsão inicial de 181 PMUs instalados em 31 subestações da rede básica, estrategicamente identificadas. Dentre os objetivos do ONS com a utilização do SMFS, listados em (Fernandes et al., 2019), destaca-se a utilização de ferramentas para suporte à tomada de decisão na operação em tempo-real.

Portanto, métodos que permitam, por exemplo, avaliar as condições de estabilidade de tensão valendo-se de medições provenientes de PMUs (do inglês, “*Phasor Measurement Units*”) podem fornecer indicadores importantes para a operação do sistema elétrico e, conforme a revisão sistemática apresentada em (Pinzón and Colomé, 2017), muitos trabalhos estão sendo desenvolvidos, sobretudo empregando os equivalentes de rede.

Os equivalentes de rede baseiam-se no teorema de Thévenin, cuja aplicação em circuitos lineares é bastante conhecida. Sabe-se, contudo, que as equações associadas ao fluxo de carga em sistemas elétricos de potência são não-lineares e, portanto, esforços têm sido direcionados para estimar os parâmetros equivalentes do circuito de Thévenin que, conforme mostrado na Fig. 1, possui uma fonte de tensão \dot{E}_{th} em série com a impedância \bar{Z}_{th} .

Através da configuração do circuito equivalente de Thévenin, demonstra-se que a MTP ocorre quando $|\bar{Z}_L| = |\bar{Z}_{th}|$ e, nestas condições a potência aparente é dada por:

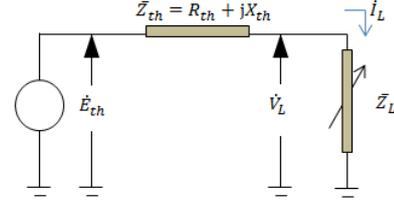


Figura 1. Equivalente de Thévenin de uma barra de carga

$$S_{\text{máx}} = \frac{|\dot{E}_{th}|^2 [|\bar{Z}_{th}| - (X_{th} \sin(\delta) + R_{th} \cos(\delta))]}{2 [X_{th} \cos(\delta) - R_{th} \sin(\delta)]^2} \quad (1)$$

onde δ representa o fator de potência da carga.

Deste modo, é possível quantificar a margem de carregamento para a barra j , tal que $j \in \Omega^L$, que denota o conjunto de cardinalidade n_L das barras de carga monitoradas. Logo:

$$\text{Margem}_j = \left(\frac{S_{L_j}^{\text{máx}} - S_{L_j}}{S_{L_j}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

A margem do sistema é obtida através da margem mínima dentre as Ω^L barras:

$$\text{Margem}_{\text{sistema}} = \min \{ \text{Margem}_1, \dots, \text{Margem}_{n_L} \} \quad (3)$$

Portanto, torna-se evidente que a identificação da instabilidade de tensão se traduz no monitoramento, através do plano $R - X$, da distância relativa entre a impedância de carga e a impedância de Thévenin “vista” pela respectiva barra (Vu et al., 1999).

3. CIRCUITO ACOPLADO DE PORTAS-SIMPLES

O método denominado Circuito Acoplado de Porta-Simples (CAPS), apresentado em (Wang et al., 2011), baseia-se no conceito de equivalente multi-portas e pertence a uma categoria de métodos que emprega um amplo monitoramento do sistema. O modelo CAPS, em sua concepção original, propõe desagregar as cargas do sistema e representá-las em circuitos equivalentes de Thévenin. A influência das demais cargas na barra j em análise é explícita, sendo modelada por uma impedância de acoplamento \bar{Z}_{cj} , suposta constante pelos autores.

Desde sua publicação, diversos artigos destacam as limitações do método CAPS e algumas modificações foram sugeridas para contornar as imprecisões associadas à estimativa do máximo carregamento. Em (Liu and Chu, 2014), destaca-se que a premissa adotada, para o qual o comportamento de \bar{Z}_{cj} é relativamente constante, não é adequado em cenários de carregamento desproporcional e propõe-se o emprego de um fator de resposta de potência reativa (RPRF, do inglês: “*Reactive Power Response Factor*”) derivado do equivalente estendido de Ward para compensar as variações do modelo CAPS.

Ainda em (Yuan et al., 2016), enfatiza-se que em condições topológicas específicas podem ocorrer a quebra de acoplamento do método CAPS, levando-o a erros grosseiros na estimativa da margem de carregamento e, novamente, modificações são sugeridas ao modelo.

Mais recentemente a publicação de (Cui and Wang, 2017) representou uma evolução para os equivalentes multi-portas pois em comparação com as modificações supracitadas, apresenta menor número de medições e esforço computacional.

3.1 Circuito Acoplado de Portas Simples Aprimorado

Conforme mencionado, o método CAPS Aprimorado baseia-se no conceito de equivalente multi-portas, cuja formulação emprega o desmembramento das cargas e geradores da rede, como mostrado na Fig. 2. Assim, o sistema pode ser descrito por:

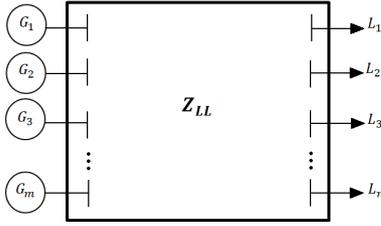


Figura 2. Modelo do sistema multi-portas

$$\begin{bmatrix} -\mathbf{I}_L \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{I}_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Y}_{LL} & \mathbf{Y}_{LT} & \mathbf{Y}_{LG} \\ \mathbf{Y}_{TL} & \mathbf{Y}_{TT} & \mathbf{Y}_{TG} \\ \mathbf{Y}_{GL} & \mathbf{Y}_{GT} & \mathbf{Y}_{GG} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_L \\ \mathbf{V}_T \\ \mathbf{V}_G \end{bmatrix} \quad (4)$$

Os subíndices L , T e G representam, respectivamente, as barras de carga, de passagem e geração. Através de algumas manipulações é possível expressar o vetor de tensão nas barras de carga por:

$$\mathbf{V}_L = \mathbf{K} \mathbf{V}_G - \mathbf{Z}_{LL} \mathbf{I}_L \quad (5)$$

onde:

$$\mathbf{Z}_{LL} = (\mathbf{Y}_{LL} - \mathbf{Y}_{LL} \mathbf{Y}_{TT}^{-1} \mathbf{Y}_{TL})^{-1} \quad (6)$$

$$\mathbf{K} = \mathbf{Z}_{LL} (\mathbf{Y}_{LT} \mathbf{Y}_{TT}^{-1} \mathbf{Y}_{TG} - \mathbf{Y}_{LG}) \quad (7)$$

Um fator de sensibilidade $\gamma(t_{k+1})$ é introduzido para representar a resposta do sistema à variação de potência ativa, calculado a partir de medições consecutivas pela equação (8):

$$\gamma(t_{k+1}) = \frac{dP_j}{d|\dot{V}_j|} = \frac{P_j(t_k) - P_j(t_{k+1})}{|\dot{V}_j(t_k)| - |\dot{V}_j(t_{k+1})|} \quad (8)$$

Deste modo, torna-se possível calcular os parâmetros do equivalente de Thévenin, pois $\dot{E}'_{th} = |\dot{E}'_{eqj}| \angle \theta_e$ será dado por:

$$|\dot{E}'_{eqj}| = \left(\frac{2 - \gamma |\dot{V}_j| / P_j}{1 - \gamma |\dot{V}_j| / P_j} \right) |\dot{V}_j| \cos(\theta_e - \theta) \quad (9)$$

$$\theta_e = \angle [KV_G]_j \quad (10)$$

e a impedância de Thévenin Z'_j é obtida diretamente, uma vez que:

$$Z'_j = \frac{\dot{E}'_{eqj} - \dot{V}_j}{\dot{I}_j} \quad (11)$$

A implementação do método CAPS Aprimorado, tal como os métodos propostos em (Wang et al., 2011; Liu and Chu, 2014), também necessita do conhecimento da topologia da rede, fornecidos pelo sistema SCADA (do inglês, *Supervisory Control and Data Acquisition*) para construção das matrizes \mathbf{Z}_{LL} e \mathbf{K} , além da aquisição dos fasores de tensão \dot{V}_G nos geradores. Contudo, apenas as medições de corrente e tensão na barra de carga em análise são necessárias, o que representa uma importante contribuição dada a redução na complexidade do sistema de medição.

4. RESULTADOS

Neste trabalho utilizou-se o *Power System Analysis Toolbox* (PSAT), desenvolvido por Federico Milano em 2002 como uma ferramenta *Open Source* incorporada ao *software* MATLAB[®]. Constantes atualizações foram realizadas no PSAT até sua mais recente versão, revisada em 2019.

O PSAT possui um fórum de discussões bastante ativo desde sua criação em 2003, e onde são compartilhados artigos e arquivos de rede para simulações. Através de sua interface amigável é possível executar análises de fluxo de carga, fluxo de potência ótimo (FPO), análise de contingências, estabilidade a pequenos sinais, fluxo de potência continuado (FPC), entre outros (Milano, 2005; Vanfretti and Milano, 2007).

4.1 Análise estática

A avaliação das condições de estabilidade de tensão envolvem estudos considerando aspectos dinâmicos e estáticos. A análise dinâmica produz resultados mais precisos ao se analisar a resposta do sistema no domínio do tempo, e sua abordagem torna-se bastante útil na avaliação da estabilidade de tensão face a grandes distúrbios, como por exemplo, devido a perdas de unidades geradoras, ou após a ocorrência de faltas no sistema. Por sua vez, a análise estática envolve apenas as equações algébricas e capturam o estado operativo do sistema em diversos instantes (Lima et al., 2018).

Para a análise estática, utilizou-se o sistema IEEE 14 barras visto na Fig. 3 e, a partir de dois pontos de operação ligeiramente próximos, realizou-se a identificação da barra de carga crítica pelo método CAPS Aprimorado, conforme mostrado na Fig. 4. Observa-se que margem estimada pelo método a partir de (3) foi de 344,52% em face dos 300,44% da margem de carregamento do sistema obtida pelo FPC (traçado como referência, em vermelho).

Impôs-se ao sistema um aumento de carga proporcional de 0,1 [%] nas parcelas ativa e reativa em todas as barras. O rastreamento da impedância de Thévenin e da margem estimada para a barra 14, considerada como a barra de carga crítica, é mostrada na Fig. 5 e permite verificar que o método CAPS Aprimorado identifica corretamente a MTP, quando ocorre o casamento de impedância e a margem do sistema é levada à zero.

Destaca-se ainda que durante a simulação foram considerados os limites de geração reativa das máquinas síncronas. Assim, observa-se que diante das sucessivas violações dos limites, a margem de estabilidade de tensão é deteriorada pelo esgotamento dos recursos de controle de tensão.

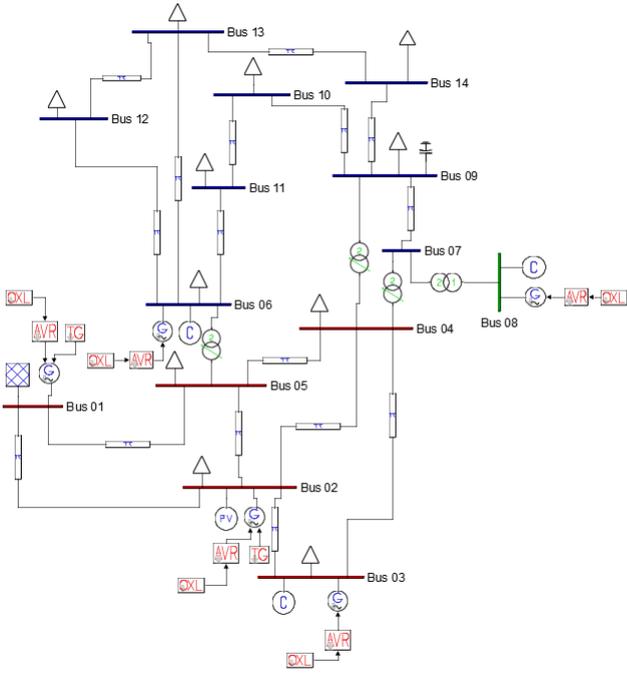


Figura 3. Sistema IEEE 14 barras

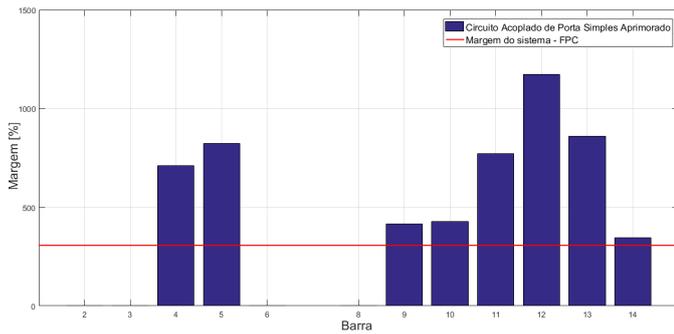


Figura 4. Identificação da barra de carga crítica e margem estimada pelo método CAPS Aprimorado

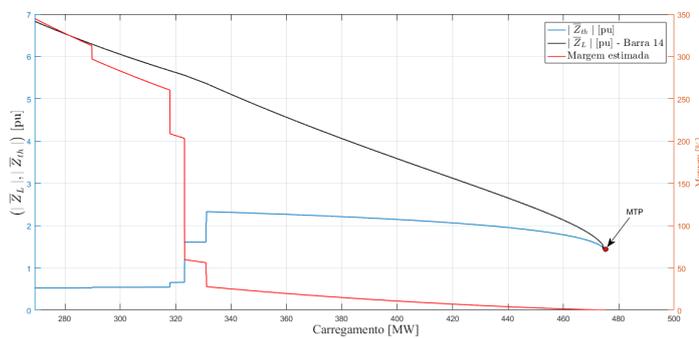


Figura 5. Monitoramento da impedância de Thévenin em [pu] e da margem estimada em [%] para a barra 14 em função do carregamento do sistema em [MW]

4.2 Análise dinâmica

A flexibilidade do PSAT e a sua integração ao MATLAB[®] torna-o bastante útil para diversos tipos de estudo. Ar-

quivos de perturbação podem ser incorporados ao modelo para promover mudanças topológicas, aumento de carga ou simular condições operativas quaisquer.

Considerou-se para a análise dinâmica um aumento de carga proporcional de 0,1 [%/s] nas parcelas ativa e reativa das cargas nas barras 10, 11, 12, 13 e 14. As cargas foram modeladas como do tipo potência constante e as unidades de geração foram representadas com os respectivos reguladores de velocidade (TG, do inglês: “*Turbine Governor*”), reguladores automáticos de tensão (AVR, do inglês: “*Automatic Voltage Regulator*”) e limitadores de sobre-excitação (OXL, do inglês: “*Overexcited Limiter*”).

A evolução da tensão nas barras do sistema ao longo do tempo é mostrada na Fig. 6 e a corrente de campo dos geradores e compensadores síncronos é mostrada na Fig. 7. Com o aumento no carregamento do sistema, as correntes de campo das máquinas (geradores e compensadores) síncronas atingem os seus limites, levando assim à perda de controle de tensão da barra terminal.

Como descrito em (Teixeira et al., 2017), a perda de controle de tensão em barras da rede devido ao esgotamento dos recursos físicos de geradores, compensadores, LTCs e capacitores chaveáveis, podem ter efeito deletério para a margem de estabilidade de tensão, pois impõe uma redução na capacidade de transmissão nas barras adjacentes.

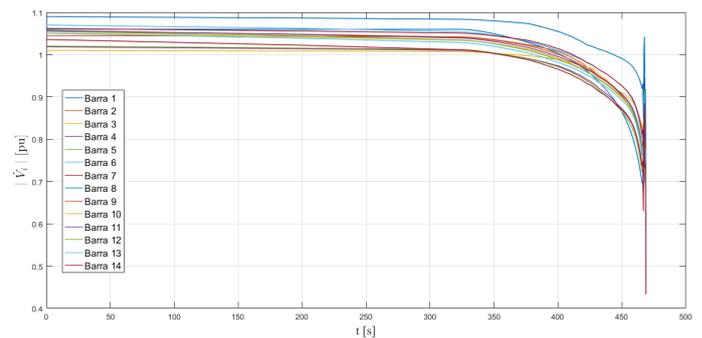


Figura 6. Perfil de tensão ao longo do tempo

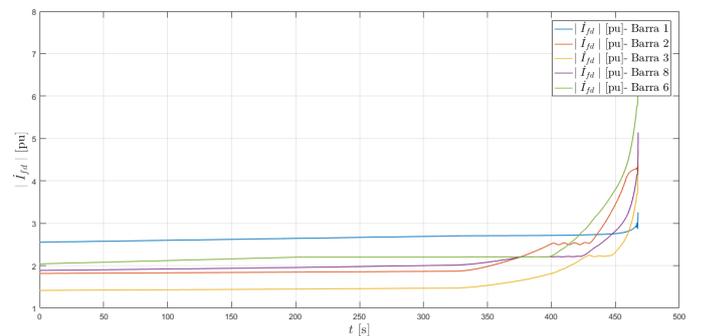


Figura 7. Corrente de campo das máquinas síncronas

O monitoramento da barra 14 é mostrado na Fig. 8 e permite mensurar o impacto da atuação do OXL na margem de carregamento do sistema.

Para o sistema em análise, o método CAPS Aprimorado identifica o iminente colapso de tensão aos 465,3 segundos, prevendo-o com antecedência de 3,47 segundos.

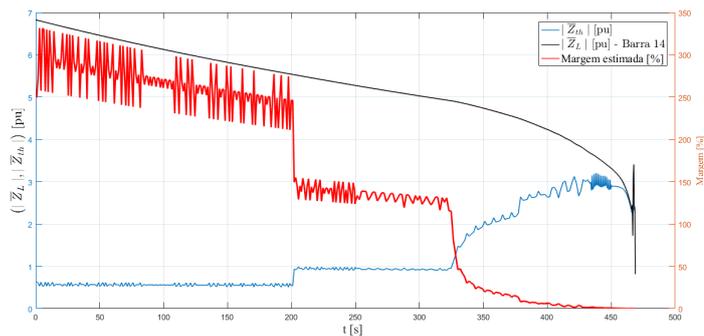


Figura 8. Monitoramento da impedância em [pu] e da margem estimada em [%] para a barra 14, em função do tempo

5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma abordagem completa sobre a utilização do método CAPS Aprimorado para a identificação da instabilidade de tensão. O desempenho do método foi avaliado em simulações estáticas e dinâmicas através do PSAT, e sua escolha baseou-se na interface bem desenvolvida e integrada. Soma-se a isso a possibilidade de se implementar, através do MATLAB[®], as condições operativas desejadas e, ainda, o acesso irrestrito ao modelo, sendo possível, por exemplo, acessar a matriz de admitância de barra.

A escolha do método, por sua vez, foi motivada por sua potencial aplicação no monitoramento das barras de transferência e de tensão controlada. Além disso, a redução do esforço computacional e estrutura de medição requeridos tornam o método CAPS Aprimorado superior aos modelos baseados em equivalente multi-portas que o antecedem.

A avaliação do modelo considerando a abordagem estática permitiu concluir que método CAPS Aprimorado possui um desempenho adequado para estimar a barra de carga crítica do sistema e identificar a MTP. Quanto à sua aplicação em simulações dinâmicas, o método possui claras limitações considerando a alta taxa amostragem, que produz oscilações indesejáveis. Assim, simulações de colapso de tensão muito abruptos, como apresentado em (Van Cutsem et al., 2015), podem ser impossíveis de se identificar pelo modelo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPQ pelo apoio financeiro, através da concessão de bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS

- Ajjarapu, V. (2006). *Computational techniques for voltage stability assessment and control*. Springer, Iowa.
- Carvalho, C.S. (2017). *Comparação de métodos de identificação de instabilidade de tensão baseados em medições sincronizadas*. Master's thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro - RJ, Brasil.
- Corsi, S. and Taranto, G.N. (2008). A real-time voltage-stability identification algorithm based on local phasor

measurement. *IEEE Trans. Power Syst.* Vol. 23, No. 3, pp. 1271–1279.

Cui, B. and Wang, Z. (2017). Voltage stability assessment based on improved coupled single-port. *IET Generation, Transmission and Distribution.* Vol. 11, No. 11, pp. 2703–2711.

Fernandes, R.O., Gonçalves, D.N., and Muniz, M.P. (2019). O projeto smsf do ons e os resultados práticos do uso da tecnologia sincrofasorial pelas equipes de operação e de análise de eventos considerando os aplicativos offline e de tempo real instalados nos seus concentradores de dados. *In: XVII Encontro Regional Ibero-Americano del CIGRÉ - XVIII ERIAC.* Foz do Iguaçu, Brasil.

Glavic, M. and Van Cutsem, T. (2011). A short survey of methods for voltage instability detection. *IEEE Power and Energy Society General Meeting.* San Diego, USA, pp. 24–29.

Lima, D.C., Prada, R.B., and Teixeira, M.V.P. (2018). Análise comparativa de métodos baseados em medições fasoriais para o monitoramento da estabilidade de tensão. *In: XXII Congresso Brasileiro de Automática - XXII CBA.* João Pessoa, Brasil.

Lima, D.C., Prada, R.B., and Teixeira, M.V.P. (2019). Método de detecção da máxima injeção de potência baseado em medições fasoriais sincronizadas. *In: XVIII Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRÉ - XVIII ERIAC.* Foz do Iguaçu, Brasil.

Lima, D.C. (2019). *Métodos baseados em medições fasoriais sincronizadas para o monitoramento da estabilidade de tensão*. Master's thesis, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro - RJ, Brasil.

Liu, J.H. and Chu, C.C. (2014). Wide-area measurement-based voltage stability indicators by modified coupled single-port models. *IEEE Trans. Power Syst.* Vol. 26, No. 2, pp. 756–764.

Milano, F. (2005). “Power system analysis toolbox”. Technical report. Documentation for PSAT version 1.3.4.

Milosević, B. and Begović, M. (2003). Voltage-stability protection and control using a wide-area network of phasor measurements. *IEEE Trans. Power Syst.* Vol.18, No. 1, pp.121–127.

Pinzón, J.D. and Colomé, D.G. (2017). Voltage stability assessment using synchrophasor measurements: Trends and development. *In: Proc. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America,* Quito, Ecuador, pp. 20–22, Sep 2017.

Silva, F.D., Vale, M.H.M., de Sousa, C.E., et al. (2017). Equivalentes de redes para análises da estabilidade de tensão - abordagem comparativa. *In: The 12th Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission - CLAGTEE.* Mar del Plata, Argentina.

Teixeira, M.V.P., Prada, R.B., and Jardim, J.L. (2017). Método para ajuste de tensão considerando os limites de sobre-excitação dos geradores síncronos. *In: XVII Encuentro Regional Ibero-Americano del CIGRÉ - XVII ERIAC.* Ciudad del Este, Paraguay.

Van Cutsem, V., Glavic, M., Rosehart, W., et al. (2015). “Test systems for voltage stability analysis and security assessment”. Technical report, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Report No.: PES-TR 19.

- Vanfretti, L. and Milano, F. (2007). Application of the psat, an open source software, for educational and research purposes. *IEEE Power Engineering Society General Meeting*. Tampa, USA, pp. 1– 7.
- Šmon, I., Verbić, G., and Gubina, F. (2003). Local voltage-stability index using tellegen’s theorem. *IEEE Trans. Power Syst.* Vol. 21, No. 3, pp.1267–1275.
- Vu, K., Begovic, M.M., Novosel, D., et al. (1999). Use of local measurements to estimate voltage-stability margin. *IEEE Trans. Power Syst.* Vol. 14, No. 3, pp. 1029–1035.
- Wang, Y., Pordanjani, I.R., Li, W., et al. (2011). Voltage stability monitoring based on the concept of coupled single-port circuit. *IEEE Trans. Power Syst.* Vol. 26, No. 4, pp.2154–2163.
- Yuan, H., Li, X., Li, F., et al. (2016). Mitigate overestimation of voltage stability margin by coupled single-port circuit models. *In: Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*. Boston, USA, pp. 17-21.
- Yuan, H. and Li, F. (2014). A comparative study of measurement-based Thevenin equivalents identification methods. *In: North American Power Symposium (NAPS)*. Pullman, USA, pp. 1– 6.