

# 1 Introdução

## 1.1. Considerações Gerais

Um sistema elétrico de potência tem como funções gerar, transmitir e entregar aos consumidores energia elétrica de forma confiável, segura e econômica. Devido ao crescimento contínuo, baixos investimentos, restrições técnicas, ambientais e econômicas, a operação dos sistemas de potência torna-se uma tarefa, a cada dia, mais complexa.

Com a operação do sistema perto dos seus limites, a estabilidade de tensão e o colapso de tensão vêm se tornando assuntos de grande preocupação nas empresas de energia elétrica do mundo inteiro. A estabilidade de tensão refere-se à capacidade do sistema de potência em manter as tensões estáveis em todas as barras do sistema quando é submetido a uma perturbação [1]. O colapso de tensão refere-se ao processo pelo qual uma sequência de eventos provoca tensões baixas, degradando a integridade do sistema com o desligamento de linhas, geradores e equipamentos de carga pela atuação das proteções. .

Neste cenário, os esforços dos pesquisadores são divididos em duas áreas: i) a compressão do fenômeno, ii) novos métodos capazes de avaliar as condições de carregamento da rede. Estas duas áreas são complementares, já que com a compressão do fenômeno é possível desenvolver métodos mais eficientes para melhorar o desempenho dos sistemas e manter a estabilidade de tensão.

Na literatura, existem diversas técnicas para análise de estabilidade de tensão [2][3][7][8]. Na maioria destas, são encontradas margens de estabilidade de tensão, as quais permitem medir a distância entre o ponto de operação e a “ponta

de nariz” da curva  $\phi$  constante no plano SV, correspondente ao máximo carregamento.

Uma das técnicas empregadas é o método da matriz  $D'$ , o qual permite identificar a região de operação e a margem de potência. O método permite análise nodal e sistêmica.

Nos últimos anos, tem-se incrementado o interesse dos pesquisadores em usar equivalentes de rede (o teorema de Thévenin, o circuito equivalente entre geradores e cargas, a técnica de redução de Kron) para obter modelos mais simples e criar novas técnicas que permitam avaliar as condições de estabilidade de tensão.

## **1.2. Objetivos**

Os objetivos deste trabalho são dois.

- 1) Verificação da possibilidade de utilização de circuitos elétricos equivalentes para a avaliação das condições de estabilidade de tensão.
- 2) Verificação da possibilidade de utilização de medidas fasoriais na construção desses equivalentes.

## **1.3. Estrutura da Dissertação**

No Capítulo 2 são caracterizados os fundamentos que demonstram o surgimento do fenômeno de estabilidade de tensão na operação de sistemas elétricos. Através de um sistema elétrico de duas barras, é mostrada a existência de uma máxima potência transferida para a carga a partir do gerador e, também, é encontrada a impedância equivalente no ponto de máximo carregamento, definindo o limite de estabilidade de tensão.

No Capítulo 3 é apresentada a ferramenta para avaliação das condições de segurança de tensão utilizada para o cálculo dos índices de estabilidade de tensão. Com um sistema-teste 5 barras, é mostrado como é aplicada a ferramenta para barras do tipo PQ, PV e *Slack*.

No Capítulo 4 é apresentado o procedimento para o cálculo do circuito equivalente entre geradores e cargas, o qual é baseado no cálculo de correntes de curto-circuito. Através de diferentes testes realizados com um sistema-teste de 3 barras, é avaliada a possibilidade de usar este circuito equivalente no cálculo de índices de estabilidade de tensão.

No Capítulo 5 são apresentados os índices de estabilidade de tensão de um sistema-teste de 3 barras quando em uma barra são considerados os modelos admitância e potência constante. É apresentada a formulação matemática para eliminação de barras intermediárias. São utilizados sistemas-teste de 3 e 4 barras para avaliar a possibilidade de usar a rede reduzida na avaliação das condições de estabilidade de tensão.

No Capítulo 6 são apresentados os fundamentos teóricos do circuito equivalente de Thévenin e são estudados cinco métodos para a obtenção desse circuito, três deles usando o ponto de operação em estudo e dois usando medições dos fasores de tensão e corrente. Em seguida, com os sistemas-testes de 3 e 4 barras, estes equivalentes são validados através de exemplos numéricos. Finalmente, é analisado o uso desses equivalentes na avaliação das condições de estabilidade de tensão em todos os tipos de barras.

No Capítulo 7 são apresentadas as conclusões do trabalho.

No Capítulo 8 são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento desta dissertação.

No Apêndice A são apresentados os procedimentos para obtenção dos parâmetros do circuito equivalente de Thévenin para o sistema-teste de 3 barras usando os métodos apresentados na Seção 6.1.

No Apêndice B é mostrado o procedimento de cálculo dos parâmetros dos equivalentes de Thévenin obtidos para barra de tensão controlada usando alguns dos métodos da Seção 6.1.