

# 1 Introdução

## 1.1 – Considerações Gerais

A análise de fluxo de potência é a ferramenta mais freqüentemente utilizada em estudos envolvendo sistemas elétricos de potência. Consiste basicamente no cálculo das tensões nodais, em módulo e ângulo, e dos fluxos de potência em sistemas de transmissão, para uma dada condição de carga e geração. A solução do fluxo de potência corresponde a uma “fotografia” do sistema em um certo instante de tempo. Este tipo de estudo é muito importante para, por exemplo, verificar a proximidade das condições-limite durante a operação.

O método de Newton-Raphson para solução de equações algébricas não lineares é um método clássico de reconhecida eficiência no cálculo numérico. Sua aplicação na solução do problema de fluxo de potência tornou-se amplamente aceita com a introdução dos métodos de solução de sistemas de equações lineares com matrizes de coeficientes esparsas por fatoração triangular otimamente ordenada [Tinney, 1967].

Devido ao crescimento contínuo da demanda aliado à problemas ambientais e à falta de investimentos em geração e transmissão de energia elétrica, a estabilidade de tensão vem se tornando um ponto crítico para a operação dos sistemas de potência. Assim, a possibilidade de ocorrência de problemas ligados à estabilidade de tensão vem se tornando um assunto de grande preocupação nas empresas de energia elétrica do mundo inteiro.

Os fenômenos de estabilidade de tensão estão intrinsecamente ligados ao fluxo de potência ativa e reativa sobre a rede, ao comportamento das cargas face às variações de tensão, à ação de dispositivos automáticos de controle de tensão e limitação de sobre-excitação de geradores, entre outros.

A perda de estabilidade de tensão ocorrerá quando houver um declínio progressivo e descontrolado da tensão do sistema após ter sido submetido a um distúrbio, aumento da carga ou mudanças nas suas condições, como, por exemplo, a saída de um gerador [Silveira, 2003]. Assim, seriam recomendáveis

estudos nas fases de planejamento e operação de análise estática da estabilidade de tensão.

Uma das técnicas empregadas na análise da estabilidade de tensão é a obtenção do perfil das tensões nas barras, através de sucessivas soluções do fluxo de potência, obtidas aumentando-se o carregamento do sistema. O método convencional de solução de fluxo de potência é inadequado na obtenção do ponto de máximo carregamento, devido à singularidade da matriz Jacobiana neste ponto. Para contornar este problema, utiliza-se o método da continuação. A utilização deste método na formulação Newton completa [Cañizares, 1993] e na formulação desacoplada [Bijwe, 1997] tem sido estudada.

Uma outra técnica utilizada é o método da matriz  $[D']$  [Prada R.B. et al, 2002] que possui a capacidade de estimar o ponto de máximo carregamento em redes complexas, identificando as áreas susceptíveis a problemas de instabilidade de tensão. A análise realizada por este método é nodal e, deste modo, a localização de áreas da rede muito carregadas é imediata.

O programa computacional EstabTen [Prada R.B. et al, 2002] efetua o cálculo dos índices de avaliação das condições de segurança de tensão, trabalhando a partir de um determinado ponto de operação. Para estudos “off-line”, este ponto, em geral, é proveniente de um programa de fluxo de potência, no caso, do pacote computacional ANAREDE (de propriedade do CEPEL, cedido para fins de ensino e pesquisa). Assim como o programa de fluxo de potência é continuamente estendido, o programa EstabTen deve continuar a ter sua capacidade estendida, visando atender às necessidades dos estudos.

Entre os índices de avaliação destacam-se  $S_m$ , que é uma estimativa da máxima potência que poderia ser injetada, a ser comparada com a potência injetada  $S_i$ , e o ângulo  $\beta$  entre os vetores gradiente dos fluxos de potência ativa e reativa no plano do módulo e ângulo da tensão da barra em análise. Estes índices indicam a região de operação na curva SV e a margem de potência para a máxima carga, além de outras informações.

## 1.2 – Objetivos

Os objetivos deste trabalho podem ser divididos em três partes:

- i. avaliar o programa computacional EstabTen, em relação ao tratamento adotado para barras associadas ao controle remoto de tensão através da geração de potência reativa, e propor nova modelagem para a obtenção de índices de segurança de tensão coerentes com o desejado,
- ii. estender a modelagem proposta em [Passos Filho, 2000] para controle de tensão em barras remotas para barras de tensão controlada localmente e aplicá-la na avaliação das condições de segurança de tensão,
- iii. propor um novo modelo para o tratamento de múltiplas barras *swing*, que represente estas barras de uma maneira mais adequada, tanto no problema do fluxo de carga como no cálculo dos índices de segurança de tensão.

## 1.3 – Estrutura do Trabalho

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos, que serão resumidamente descritos a seguir.

No Capítulo 2 é apresentado o método de avaliação das condições de segurança de tensão a ser utilizado neste trabalho para o cálculo dos índices de estabilidade de tensão.

No Capítulo 3 são realizados testes com o programa computacional EstabTen, com um sistema-teste de 5 barras, visando averiguar o seu funcionamento. São propostos novos modelos para o tratamento de barras *swing* e de barras associadas ao controle remoto de tensão por geração de potência reativa.

No Capítulo 4 é desenvolvido um novo modelo para o cálculo do fluxo de potência em sistemas com barras de controle local de tensão, a partir do modelo

proposto em [Passos Filho, 2000]. Foi averiguada a aplicabilidade destes modelos na avaliação das condições de segurança de tensão.

No Capítulo 5 apresenta-se uma nova modelagem para o tratamento de múltiplas barras *swing* no problema básico de fluxo de potência. Analisa-se também a sua aplicabilidade no cálculo dos índices de estabilidade de tensão.

No Capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões referentes às modelagens propostas, assim como sugestões para trabalhos futuros.