

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

No processo de planejamento as decisões a serem tomadas envolvem uma alocação de recursos elevada e exigem um grande esforço na análise dos fatores que influenciam estas decisões. Estes fatores são bastante complexos em sua natureza e possuem uma dinâmica própria de comportamento que envolvem incertezas internas e externas ao sistema em análise.

A evidência da presença de incertezas no processo de planejamento exige que as mesmas sejam tratadas adequadamente, principalmente quando as decisões estão voltadas para o horizonte de longo prazo, onde o nível de incerteza é mais elevado. No caso particular de sistemas de potência as incertezas estão relacionadas à disponibilidade de energia (hidrologia), às disponibilidades dos equipamentos de geração e transmissão, ao mercado e aos recursos financeiros. A qualidade da decisão estará sempre intimamente ligada a correta representação destas incertezas.

A atividade de planejamento de sistemas de potência consiste em propor a política mais adequada para a expansão dos sistemas de geração e transmissão, visando o atendimento aos requisitos de mercado. No caso específico do planejamento da transmissão, o algoritmo de fluxo de potência é a ferramenta

mais utilizada. Na análise convencional, as alternativas de transmissão são definidas através de simulações de fluxo de potência para as contingências de primeira ordem mais relevantes. Os impactos destas contingências são avaliados e desde que os critérios de planejamento sejam violados novos reforços são implementados. Os reforços podem ser novas linhas de transmissão, aumento da compensação reativa, etc.. Realiza-se, então, uma análise econômica comparativa e a decisão sobre qual é a melhor alternativa de expansão é baseada no compromisso entre fatores técnicos e econômicos. Toda esta análise considera um conjunto de parâmetros determinísticos que, pela sua natureza, são incapazes de representar a experiência passada e prever o desempenho futuro do sistema. A adoção de procedimentos convencionais de planejamento podem levar a certas situações indesejáveis, inerentes a um sistema concebido, sem levar em conta as incertezas associadas ao processo.

Nos últimos anos vem se desenvolvendo uma forte e irreversível tendência de incorporar a natureza estocástica dos dados aos modelos de representação destes sistemas, movida dentre outras coisas pela escassez de recursos imposta ao setor elétrico. Esta tendência fez com que o problema de fluxo de potência passasse a receber um tratamento probabilístico. O algoritmo de Fluxo de Potência Probabilístico (FPP) considera a natureza estatística dos parâmetros de entrada (injeções nodais) e avalia o efeito das incertezas envolvidas no comportamento de regime estacionário dos sistemas de potência. O algoritmo utilizado neste trabalho modela as incertezas na carga e as indisponibilidades de geração, expressas em termos

de funções densidade de probabilidade. Variáveis aleatórias de entrada (injeções de potência) são devidamente transformadas em variáveis aleatórias de saída (fluxos de potência, potência reativa gerada nas barras de tensão controlada, etc), também caracterizadas por funções densidade de probabilidade. Estas variáveis de saída quando confrontadas com as restrições operacionais do sistema, fornecem índices de adequação, tais como: probabilidade do carregamento de uma linha de transmissão ou transformador exceder os limites estabelecidos; probabilidade da tensão de uma determinada barra estar fora dos limites admissíveis; probabilidade de um gerador ou compensador violar seus limites de geração de potência reativa.

Vale ressaltar que as informações fornecidas por estes índices são similares às aquelas obtidas por um algoritmo de avaliação da Confiabilidade Global de Sistemas (CGS). A diferença básica entre os algoritmos de Fluxo de Potência Probabilístico e Confiabilidade Global de Sistemas é que este último fornece os índices de adequação obtidos após a solução dos problemas da rede (sobregarga, sobre/sub-tensões, etc) através de algoritmos corretivos (redespacho, corte de carga e outros); enquanto que no FPP os índices são calculados sem que qualquer medida corretiva automática seja tomada.

A análise probabilística permite agilizar o processo de planejamento no que diz respeito às atividades que envolvem fluxo de potência uma vez que, o algoritmo de FPP simula todas as injeções possíveis de carga (para uma determinada condição de carga pesada ou leve por exemplo) e geração e sintetiza os resultados em uma única solução, que possui muito mais informações sobre o desempenho do sistema. Este procedimento

4

incorpora novas bases ao processo de planejamento, permitindo que as soluções propostas apresentem um certo grau de segurança, podendo inclusive ser mais econômicas.

O principal desafio para implementação da abordagem probabilística é a mudança que a análise de modelos com incertezas requer na rotina estabelecida nos estudos e critérios de planejamento. Tal fato implicará em adaptações estruturais que serão a base de uma nova cultura, que vem se estabelecendo no ambiente da análise de sistemas de potência.

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma aplicação do Fluxo de Potência Probabilístico ao planejamento da expansão de um sistema real de grande porte, dando especial atenção a modelagem estatística das cargas e a introdução dos índices de adequação como variáveis de decisão no processo de planejamento.

1.2. DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO

Recentemente, foi publicado um trabalho [1] que apresentou uma pesquisa bibliográfica sobre a abordagem probabilística em sistemas de potência enfocando, dentre outras, a análise de Fluxo de Potência Probabilístico.

Conforme pode ser verificado neste trabalho, desde a primeira publicação sobre FPP [2] em 1974, cerca de 80 artigos foram apresentados sobre o assunto, sendo que a grande maioria foi direcionada para o desenvolvimento de algoritmos capazes de solucionar o problema. A primeira aplicação de um desses algoritmos a sistemas reais de grande porte, surgiu em 1986, onde o FPP foi utilizado como ferramenta auxiliar no

planejamento da operação.

Os primeiros algoritmos desenvolvidos utilizavam métodos analíticos considerando equações linearizadas de fluxo de potência. Inicialmente utilizou-se o modelo DC e mais tarde o modelo AC, sendo que ambas formulações utilizavam técnicas de convolução matemática e matrizes de sensibilidade. Houve ainda uma outra formulação importante denominada fluxo de potência estocástico, obtido a partir dos princípios de estimação de estado.

Ao longo destes 15 anos, os modelos foram sendo aperfeiçoados e em 1984 foi proposto um algoritmo [3,4] que considerava a política de pré-despacho, o que não era feito até então. A solução de FPP foi eficientemente obtida por uma combinação das técnicas de convolução matemática e simulação de Monte Carlo (método híbrido ou semi-analítico), usando equações de fluxo de potência AC linearizadas. A Simulação de Monte Carlo (SMC) foi adotada devido às não-linearidades introduzidas pela política de pré-despacho. Este método foi a base do algoritmo utilizado neste trabalho.

A primeira aplicação realizada usando técnicas de FPP e dados de um sistema real foi publicada em 1976 [5] e visava realizar uma análise de riscos para auxiliar decisões operacionais. O sistema teste utilizado, apesar de ser real, foi bem pequeno (4 barras). Este estudo utilizou um algoritmo de FPP baseado em equações de fluxo de potência DC; conseqüentemente não puderam ser avaliados índices de adequação relacionados a magnitudes de tensão, geração de potência reativa, etc. Durante o período de 1976 a 1986 existiram

algumas outras aplicações (6,7,8).

Em 1986, pela primeira vez, foi aplicado o algoritmo de FPP a um sistema real de porte médio (CEMIG 84 barras). Foram publicados três artigos (9,10,11) que enfatizavam o uso do FPP no planejamento da operação que visavam ilustrar as vantagens da análise probabilística sobre a determinística. Foi realizada uma coleta de dados de carga e ficou constatada a necessidade de se ter uma modelagem mais precisa destes dados e se ajustar o algoritmo existente para uso em redes reais com as características do Sistema Brasileiro. O critério de despacho utilizado nas referências 3 e 4 foi adaptado visando representar a política operativa utilizada pela concessionária. Na referência 11 foi ainda ressaltada a extensão do uso do algoritmo para o sistema Sul Brasileiro (450 barras) onde se observou a necessidade de uma nova representação da política de despacho diferente daquela até então utilizada. Estes trabalhos marcaram o início de uma nova fase da pesquisa de FPP, onde a preocupação maior passou a ser a correta modelagem dos dados e os ajustes necessários ao algoritmo diante das particularidades destes dados.

Em 1987, foram publicados dois artigos [12,13] que utilizavam um algoritmo de FPP desenvolvido na ELETROBRÁS onde ainda não era adotada uma política de despacho, ou seja, a barra "swing" era responsável pelo balanço de potência do sistema. Estes trabalhos ressaltavam alguns aspectos do uso de FPP, sugeriam algumas aplicações e apresentavam exemplos para subsistemas brasileiros. Estes artigos também enfatizaram a necessidade de se ter uma modelagem mais realística para a

carga e de se estabelecer de uma metodologia para uso do FPP. Foi realizado ainda um exemplo de uma análise incluindo custos.

Em 1989, foi publicado um trabalho [15] que visava apresentar os resultados do projeto de pesquisa "Fluxo de Potência Probabilístico" desenvolvido através de um convênio entre a PUC/RJ e a ELETROBRÁS [14]. O principal objetivo deste projeto foi compatibilizar o algoritmo até então existente [3] com as peculiaridades do Sistema Brasileiro e desenvolver uma metodologia para obtenção de uma modelagem realística dos dados de carga. O novo algoritmo, aperfeiçoado, passou a incorporar uma função de despacho multi-área mais coerente com a operação energética de reservatórios (típica de sistemas com predominância de geração hidráulica). Foi desenvolvida uma metodologia para o tratamento estatístico das cargas e realizado um levantamento de dados para o sistema Sul-Sudeste brasileiro. Para avaliação do desempenho do algoritmo três sistemas reais foram considerados : CEMIG, Sul brasileiro e Norte-Nordeste brasileiro. Foi demonstrado que o algoritmo responde de forma consistente aos principais requisitos de modelagem.

A primeira aplicação do FPP ao planejamento da expansão de um sistema real de grande porte (Norte-Nordeste 300 barras) foi publicada em 1988 [16]. A rede planejada através de um algoritmo de Fluxo de Potência Convencional (FPC) foi revisada de modo a incorporar as incertezas nas cargas e as indisponibilidades de geração. Os resultados do estudo convencional foram confrontados com aqueles obtidos usando a metodologia probabilística. Foram mostradas algumas vantagens da inclusão do algoritmo de FPP como ferramenta utilizada no

planejamento da expansão. O trabalho também estabeleceu, pela primeira vez, um paralelo entre os algoritmos de FPP e CGS no que diz respeito aos índices de adequação obtidos em ambas análises.

Em 1989, foi publicado um artigo [17] que apresentava uma aplicação do algoritmo de FPP utilizando o equivalente do Sistema Sul-Sudeste dando destaque a área Rio. O trabalho mostrava uma metodologia para analisar os resultados obtidos através do FPP e tomar decisões, na fase de planejamento da operação, levando em consideração inclusive aspectos econômicos.

Em 1990, foi apresentado um artigo [18] que baseado nos resultados obtidos nesta dissertação de mestrado (Capítulos 3 e 4) realizou uma extensão do estudo iniciado na referência 16. O trabalho inclui o aperfeiçoamento do algoritmo existente [14] no que diz respeito a incorporação das incertezas associadas a previsão do mercado e a introdução dos índices de adequação como variáveis de decisão nos estudos de planejamento.

1.3. ROTEIRO DO TRABALHO

Conforme citado anteriormente o objeto de estudo deste trabalho diz respeito a dois aspectos : a modelagem estatística dos dados de mercado e a utilização do algoritmo de FPP no planejamento da expansão. Os tópicos abordados encontram-se distribuídos nos próximos 4 Capítulos, cujos objetivos são resumidos a seguir.

O Capítulo 2 apresenta a formulação do problema de FPP e o fluxograma simplificado do algoritmo utilizado. Este algoritmo

é baseado nas referências 3,4,14,19,20 e 21 e responde, de forma consistente, aos principais requisitos de modelagem : utiliza um modelo AC linear podendo avaliar o desempenho da rede acessando grandezas ativas e reativas; considera as incertezas nas cargas com qualquer distribuição e suas possíveis correlações; simula possíveis perdas de unidades geradoras e incorpora uma função de despacho de potência multi-área.

O Capítulo 3 é dedicado a modelagem estatística das cargas. Com base em dados coletados do sistema CHESF, foi feito um tratamento diferenciado para as incertezas de curto e longo prazo e proposta uma metodologia para compor estas incertezas. Foram também avaliadas as possíveis correlações lineares existentes entre cargas . O algoritmo existente descrito no Capítulo 2 foi estendido de forma a permitir a modelagem das incertezas associadas a previsão do mercado.

No Capítulo 4 foi realizado um estudo de planejamento utilizando o algoritmo de FPP. É feita uma breve discussão sobre as abordagens determinística e probabilística para o planejamento da expansão. A rede planejada através de um algoritmo de FPC foi revisada, de modo a incorporar as incertezas do mercado e as indisponibilidades de geração. Os resultados do estudo convencional são confrontados com aqueles obtidos com a metodologia probabilística. São levantados alguns aspectos que dizem respeito a utilização dos índices de risco e ainda demonstradas algumas vantagens da inclusão do FPP como uma ferramenta a ser utilizada no planejamento da expansão. É realizada ainda uma comparação entre os algoritmos de FPP e CGS no que diz respeito aos índices de adequação obtidos em ambas

análises.

Finalmente no Capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões do trabalho. Algumas limitações dos estudos realizados são mostradas, bem como diversas propostas para trabalhos futuros sobre o tema.