

Palavras chaves: sistemas de potência; fluxo de carga; sistemas testes; mal condicionamento; otimização de passo.

Introdução

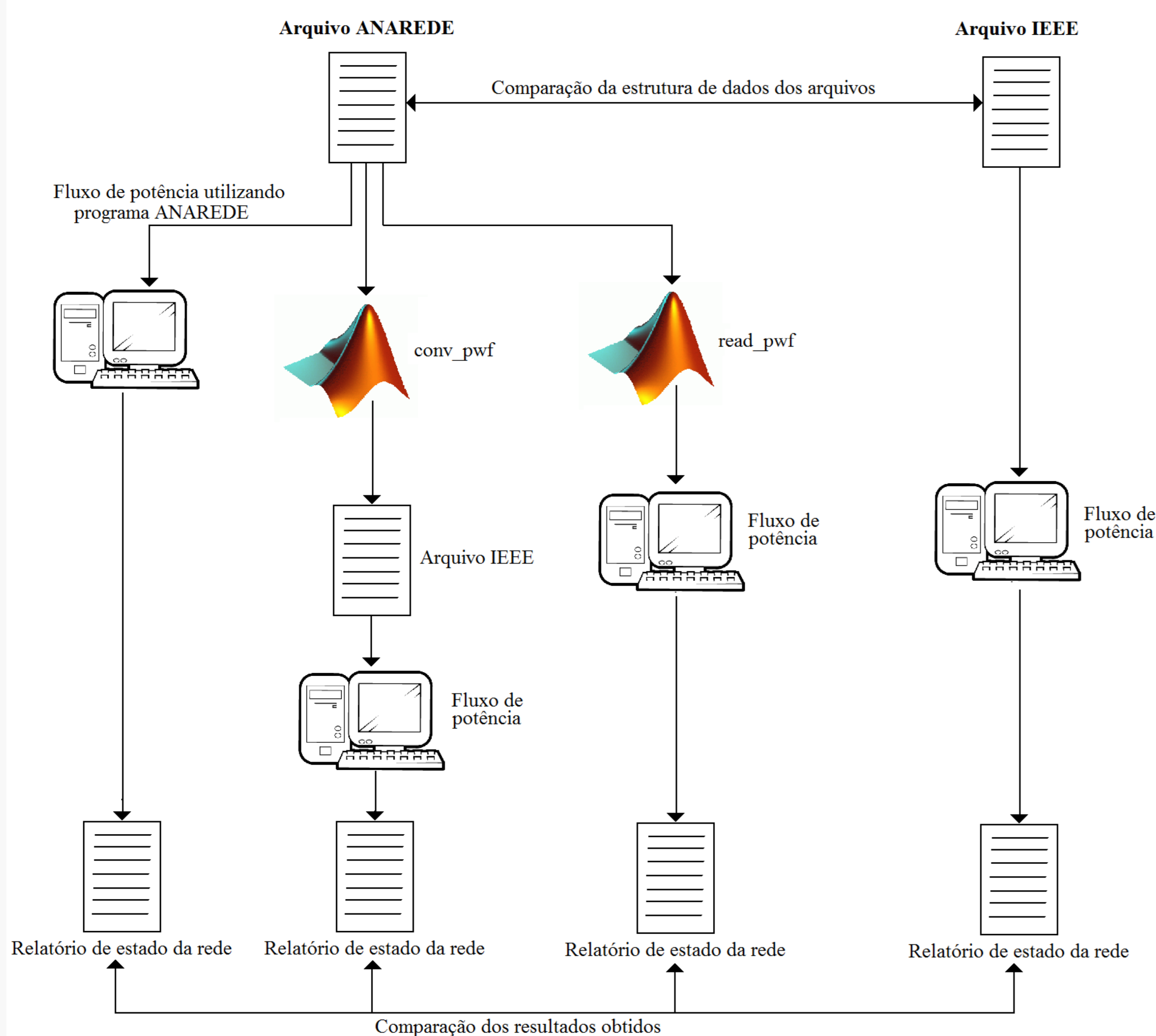
A análise computacional de sistemas elétricos de potência modernos constitui tarefa muito complexa e abrangente, sendo inúmeras as dificuldades relacionadas a modelagens de componentes e fenômenos, uso de técnicas numéricas e aplicações de metodologias diversas. Atualmente, o uso de sistemas de potência testes recaem freqüentemente sobre aqueles denominados “Sistemas IEEE”, que, embora utilizados largamente no processo de validação de modelos e programas, não oferecem um conjunto completo de dados para diversas aplicações, o que requer adaptações para que se possam realizar testes específicos.

Uma dissertação de mestrado, recentemente apresentada na Universidade Federal Fluminense teve como objetivo propor um conjunto de sistemas testes de pequeno porte baseados no sistema elétrico brasileiro. Estes têm 9, 16, 33, 65 e 107 barras. A característica interessante desses sistemas é que eles foram artesanalmente criados a partir de dados reais, apresentados topologias, parâmetros e condições operativas encontradas no sistema interligado nacional. A idéia foi refletir, na medida do possível, as peculiaridades energéticas e topológicas do SIN. Este trabalho de pesquisa visa especificamente a avaliação dos sistemas testes baseados no sistema elétrico brasileiro utilizando programas computacionais de fluxo de potência. Apesar de ser um dos problemas mais básicos, tradicionais e importantes na área de sistemas de potência, ainda requer grande esforço de pesquisa para tornar seus procedimentos de cálculos mais robustos, confiáveis e eficientes.

Metodologia

O primeiro objetivo era o desenvolvimento de uma rotina computacional que tivesse como entrada o arquivo PWF e como saída um arquivo no padrão IEEE. Esta rotina, desenvolvida totalmente no software *Matlab*, foi denominada *conv_pwf*. É importante ressaltar que esta rotina não processa o fluxo de potência, mas apenas faz a transformação entre os arquivos.

Para o caso onde se está interessado apenas no resultado do fluxo de potência, e não na conversão entre os arquivos, uma outra rotina computacional foi desenvolvida, esta chamada *read_pwf*. Esta rotina tem como entrada o arquivo PWF e como saída a análise do fluxo de potência da rede. Em nenhum momento o arquivo PWF é convertido em um arquivo IEEE, porém o programa compatível com o padrão internacional consegue ler o arquivo PWF com o auxílio da rotina desenvolvida.



O método de fluxo de carga com otimização de passo foi desenvolvido visando a solução do fluxo de carga para redes mal condicionadas. Para essas redes, o método de fluxo de carga convencional exibiu uma performance pobre ou simplesmente divergia, apesar do sistema operar em um ponto de equilíbrio estável. Para redes bem condicionadas, μ assume valores próximos de 1 e não afeta o processo iterativo de maneira significativa. No caso de redes mal condicionadas, μ assume valores que fazem com que o processo iterativo haja de forma mais eficiente e a solução é obtida, enquanto o método convencional de fluxo de carga sem otimização de passo falharia. Dependendo da escolha do usuário para o fator PCTLD, o ponto de operação pode ser encontrado na região factível do problema (A) ou na região não-factível. Quando o ponto de operação se encontra dentro da região A, tanto o método de fluxo de carga de Newton sem otimização de passo quanto o FCOP conseguem uma solução (convergem);

$$\mathbf{x}^{(r+1)} = \mathbf{x}^{(r)} + \mu^{(r)} \Delta \mathbf{x}^{(r)},$$

$$\Delta \mathbf{x}^{(r)} = - \left[\nabla_{\mathbf{x}} \mathbf{g} \right]^{-1} \Big|_{\mathbf{x}=\mathbf{x}^{(r)}} \mathbf{g}(\mathbf{x}^{(r)}, \rho),$$

no entanto, se o ponto escolhido estiver fora da região A, na fronteira ou próxima dela, o método sem otimização de passo não obtém uma resposta e diverge, enquanto que o FCOP obtém uma resposta aproximada para o ponto escolhido. Dessa forma, para verificar o condicionamento das redes, diversas simulações de fluxo de carga com otimização de passo foram realizadas, aumentando gradativamente o valor de PCTLD em cada uma delas até que a rede atingisse um ponto de operação fora da região A ou próximo à fronteira. Para redes bem condicionadas, o valor de μ varia próximo de 1, enquanto que para redes mal condicionadas, μ varia perto 0,5.

	PCTLD (%)	μ_{\min}	n° iteração	μ_{\max}	n° iteração
9 barras	100	0,9324	0	1,0007	3
	160	0,9345	0	1,1627	2
	167*	0,000	4	1,4344	2
16 barras	100	0,9708	0	1,0113	1
	200	1,0000	2	1,0840	0
	220	0,9999	2	1,0892	0
	241*	0,0508	4	1,0930	1
33 barras	100	0,6659	2	1,2877	1
	104	0,6241	2	1,0140	10
	105*	0,0093	6	1,2550	2
65 barras	100	0,7080	0	1,0437	1
	110	0,7365	0	1,1835	2
	115*	0,0443	6	1,2386	3
107 barras	100	0,8733	0	1,0380	1
	110	0,9119	0	1,1706	2
	113*	0,0291	4	0,9750	3

Resultados e discussão

As redes propostas na dissertação foram apresentadas no formato PWF (compatível com o programa ANAREDE desenvolvido no CEPEL). Esta extensão, no entanto, não é compatível com o padrão internacional IEEE. Dois programas computacionais foram desenvolvidos: o primeiro deles, *conv_pwf*, faz a leitura dos dados do arquivo ANAREDE e tem como saída um arquivo de texto no formato IEEE. É importante ressaltar que essa rotina em nenhum momento realiza o cálculo do fluxo de carga da rede. Esse programa destina-se àqueles que queiram transformar um arquivo PWF em um arquivo IEEE, para que este último seja utilizado em qualquer programa computacional que siga os padrões internacionais. A segunda rotina, *read_pwf*, faz a leitura dos dados do arquivo ANAREDE e automaticamente processa o fluxo de carga sem a necessidade transformar o arquivo ANAREDE em um arquivo IEEE, ou seja, a rotina lê os dados do arquivo ANAREDE e os interpreta como dados de um arquivo IEEE (não há a conversão explícita entre arquivos). Esse programa é destinado àqueles que queiram apenas o resultado do fluxo de carga utilizando o programa de fluxo de potência e o arquivo do ANAREDE.

Pelo fato de as redes testadas serem criadas artesanalmente, seria possível que os dados pudessem causar uma não-convergência do caso, por problemas de natureza numérica. No entanto, o método de fluxo de carga de Newton com otimização de passo mostrou-se extremamente confiável no caso das redes propostas, já que em nenhum momento erros numéricos foram detectados ou ocorreu a não-convergência do caso. Podemos notar ainda, pela tabela, que as redes propostas são bem condicionadas como se pode observar, por exemplo, com a rede de 16 barras que suportou um sobre-carregamento de 141%.

Conclusão

Conclui-se que a constante dinamização do setor elétrico mundial exige cada vez mais padronizações tanto de hardwares como softwares (incluindo programas, rotinas, arquivos, etc) para análises. Quando essas padronizações não são possíveis devido às características marcantes de cada local, programas devem ser desenvolvidos para que análises possam ser feitas utilizando qualquer padrão. Nesse sentido, os programas desenvolvidos têm papel fundamental, já que, por exemplo, as redes propostas não poderiam ser estudadas por um pesquisador que não possuísse o programa ANAREDE mas utilizasse um programa no padrão IEEE.

As redes propostas mostraram-se eficazes e bem condicionadas. Essas redes têm papel importantíssimo no planejamento de expansão do sistema interligado nacional, já que aspectos topológicos intrínsecos ao Brasil foram levados em conta. Além disso, pode-se perceber que o manuseio de redes testes de porte reduzidos é menos penoso (tanto para simulações como para suas análises) e os resultados obtidos são semelhantes aos resultados obtidos se a análise com a rede completa fosse realizada.

A utilização do Método de Newton com Otimização de passo (FCOP) tornou o cálculo do fluxo de carga mais robusto e eficiente e, portanto, mais confiável. Sua utilização para os testes de condicionamento das redes foi imprescindível, já que para alguns pontos de operação considerados, o método de Newton tradicional não iria gerar os resultados obtidos.

Referências bibliográficas

- W. F. Neves. Proposição de sistemas teste para a análise computacional de sistemas de potência. Dissertação de mestrado, Universidade Federal Fluminense (UFF), 2007.
- M.A. Pai. Computer Techniques in Power System Analysis, Tata McGraw-Hill, 1979
- CEPEL, Programa de análise de redes, ANAREDE – manual do usuário 2005
- Beatriz L. Tavares, Manfred M. Bedriñana, Carlos A. Castro, New method based on load flow with step size optimization for calculating the maximum loading point, PowerTech 2009