

# Diferentes estratégias para determinação da matriz hessiana e do parâmetro de barreira e o problema de fluxo de potência ótimo

**Gabriela F. Bregadioli**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UNESP-Univ. Estadual Paulista  
Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube, 14-01, 17033-360, Bauru, SP  
E-mail: gaby\_fb.dc@hotmail.com

**Edméa C. Baptista**

Departamento de Matemática, UNESP-Univ. Estadual Paulista  
Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube, 14-01, 17033-360, Bauru, SP  
E-mail: baptista@fc.unesp.br

**Leonardo Nepomuceno**

Departamento de Engenharia Elétrica, UNESP-Univ. Estadual Paulista  
Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube, 14-01, 17033-360, Bauru, SP  
E-mail: leo@feb.unesp.br

## RESUMO

### **Introdução**

A consolidação de técnicas matemáticas para resolução de problemas de grande porte, o surgimento de novos e potentes recursos computacionais, a um custo relativamente baixo, e o aumento no interesse econômico na operação dos sistemas de energia vem impulsionando a utilização dos problemas de fluxo de potência ótimo (FPO) como ferramenta para a análise da operação dos sistemas de potência. A primeira formulação do problema de FPO é atribuída a Carpentier [3] na década de 60. O principal objetivo do problema de FPO é determinar o estado de operação ótimo de um sistema de potência e ele pode ser modelado como um problema de programação não linear (PNL). Em geral, esses modelos são não lineares, não convexos e de grande porte, tornando-os difíceis de serem resolvidos. Com o intuito de amenizar esta dificuldade, muitos pacotes de algoritmos de otimização foram desenvolvidos e podem ser aplicados na resolução destes tipos de problemas [1]. Destacamos aqui o pacote de otimização denominado Knitro [5]. A robustez, eficiência e facilidade de manipulação deste pacote de otimização torna-o uma ferramenta potente e este, pode ser utilizado em redes de transmissão com um enorme número de barras.

O Knitro tem como base um método de pontos interiores e um método de conjunto ativo, e apresenta quatro diferentes estratégias para a determinação da matriz hessiana: (a) Hessiana Exata; (b) Quasi-Newton BFGS; (c) Quasi-Newton SR1; e (d) Quasi-Newton BFGS com memória limitada; bem como seis estratégias para a atualização do parâmetro de barreira: (i) o parâmetro de barreira é decrescido monotonamente; (ii) o parâmetro de barreira é calculado por uma regra adaptativa com base na diferença de complementaridade; (iii) é realizada uma investigação sobre o passo (afim-escala) para determinar dinamicamente o valor do parâmetro barreira a cada iteração; (iv) é utilizada uma regra Mehrotra tipo preditor-corretor para determinar o parâmetro de barreira levando em conta o passo corretor; (v) é utilizada uma regra Mehrotra tipo preditor-corretor para determinar o parâmetro de barreira sem considerar o passo corretor; e (vi) uma função mérito é minimizada em cada iteração para determinar o parâmetro de barreira.

Neste sentido, propomos neste trabalho uma análise das estratégias para a determinação da matriz hessiana, juntamente com as regras de atualização do parâmetro de barreira, na solução problema de FPO, utilizando o pacote de otimização Knitro.

### **O Problema de FPO**

O problema de FPO, matematicamente, pode ser modelado como:

$$\begin{aligned}
 \min \quad & f(x) \\
 \text{s. a.:} \quad & g_i(x) = 0 & i = 1, 2, \dots, m < n \\
 & h_j(x) \leq 0 & j = 1, 2, \dots, p \\
 & x_{\min} \leq x \leq x_{\max}
 \end{aligned} \tag{1}$$

em que  $x^T = (V, \theta) \in \mathbb{R}^n$  é o vetor das variáveis de estado e de controle;  $f(x)$  é a função objetivo que, neste trabalho, representa as perdas de potência ativa nas linhas de transmissão;  $g_i(x)$  correspondem às equações do fluxo de potência;  $h_j(x)$  correspondem às inequações funcionais da rede elétrica; e  $x_{\min}$  e  $x_{\max}$  são, respectivamente, os limites inferiores e superiores das variáveis de estado e controle.

### Testes Numéricos

O sistema elétrico de potência usado para os testes numéricos foi IEEE 14 barras e tem as seguintes características: 1 barra de geração (*slack*); 4 barras de controle reativo; 9 barras de carga; 20 linhas de transmissão. Os dados deste sistema foram obtidos na página <http://www.ee.washington.edu/research/pstca/>, os *taps* dos transformadores foram considerados fixos e os limites mínimos e máximos das magnitudes de tensão das barras do sistema foram, respectivamente,  $V_{\min} = 0,95$  p.u. e  $V_{\max} = 1,1$  p.u. Um programa em scilab-5.4.1 foi desenvolvido para a leitura dos dados.

A formulação matemática do problema de FPO IEEE 14 barras contempla 27 variáveis, 23 restrições de igualdade e 38 restrições de desigualdade.

**Tabela 1. Convergência FPO 14 barras em número de iterações**

		(Parâmetro de Barreira)					
		(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)
Matriz Hessiana	(a)	12	11	8	7	7	8
	(b)	23	12	10	9	8	11
	(c)	20	12	10	9	9	10
	(d)	29	17	14	18	14	17

Na tabela 1 observamos que, para a matriz hessiana exata (a), as estratégias (iv) e (v) foram as mais eficientes. Já para todas as estratégias que utilizam as matrizes hessianas de maneira aproximada (b), (c) e (d), destacamos a estratégia (v). Observamos que ocorreu um empate no caso (d) entre as estratégias (iii) e (v) e que dentre as estratégias aproximadas a (b) juntamente com a (v) é a que resultou no menor número de iterações. Estudos com sistemas maiores estão sendo realizados.

**Palavras-chave:** Método de Pontos Interiores, Fluxo de Potência Ótimo, Hessiana, Knitro.

### Referências

- [1] M. F. Bedriñana, M. J. Rider, C. A. Castro, Ill-conditioned Optimal Power Flow Solutions and Performance of Non-Linear Programming Solvers, em "IEEE Bucharest Power Tech Conference", pp. 01-07, Bucharest, Romania, 2009.
- [2] R. H. Byrd, J. Nocedal, R. A. Waltz, *KNITRO: An integrated package for nonlinear optimization, Large-Scale Nonlinear Optimization*. New York, Springer Verlag, p. 3, 2006.
- [3] J. L. Carpentier, *Contribution a L'etude du Dispatching Economique*. Bull-Soc. Fr Elec., Ser. B3, 431 – 447, 1962.
- [4] E. C. Ferreira, "Uma investigação da influência do parâmetro de barreira na solução do problema de fluxo de potência ótimo", Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2013.
- [5] R. A. Waltz, T. D. Platenga, "Knitro *User's Manual*. Version 9.0", Technical Report, Ziena Optimization, Evanston, IL, Usa, 2013.