

## Resolvendo o problema multiobjetivo de despacho econômico/ambiental através dos métodos da soma ponderada e de pontos interiores

**Elis Gonçalves<sup>1</sup>**

**Diego N. da Silva<sup>1</sup>**

**Antonio R. Balbo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia de Bauru – FEB/UNESP, Bauru, SP

E-mail: elisgon01@hotmail.com, diegoitapeva996@hotmail.com

<sup>2</sup> Depto de Matemática, Faculdade de Ciências, FC/UNESP, Bauru, SP

E-mail: arbalbo@fc.unesp.br

### RESUMO

O método previsor corretor primal-dual de pontos interiores, proposto em [4], foi desenvolvido em [6] para Problemas de Programação Não Linear (PPNL) utilizando a estratégia de pontos exteriores relacionada à função barreira logarítmica modificada. Estes métodos têm se mostrado eficientes para a resolução de PPNL's e neste trabalho são aplicados à resolução do problema multiobjetivo de despacho econômico (com ponto de válvula) e ambiental.

O PMDEA é formulado como um problema de otimização que envolve a minimização de dois objetivos conflitantes: custo total de geração ( $F_e$ ) e custo total de emissão ( $F_a$ ). O objetivo é otimizar o processo de alocação de energia elétrica entre as unidades geradoras satisfazendo as restrições operacionais e minimizando o custo de geração, além de minimizar a emissão de poluentes na natureza.

A determinação da solução ótima desse tipo de problema é definida na literatura como utópica, [5]. Assim, são necessárias estratégias pré-definidas para a investigação de soluções, das quais destacam-se: o método da soma ponderada (modelo I) e do  $\mathcal{E}$ -restrito (modelo II), que transformam o problema multiobjetivo em um conjunto de subproblemas mono-objetivos e as soluções ótimas desses subproblemas permitem a determinação de um conjunto de soluções denominadas de eficientes ou não-dominadas para o PMDEA (Pareto-ótimo).

O modelo I utiliza o método da soma ponderada, que considera uma soma balanceada das funções a serem otimizadas e é o método mais simples e mais utilizado na otimização de problemas multiobjetivo. Nele, cada objetivo é multiplicado por um peso e então todos são somados em uma única função objetivo. O PMDEA considera a minimização concomitante das funções  $F_e$  e  $F_a$  e é formulado a seguir já considerando a estratégia-método da soma ponderada, de acordo com o modelo I. O modelo II, associado à estratégia de solução denominada de método  $\mathcal{E}$ -restrito, considera uma das funções a serem otimizadas como a objetivo e as demais são inseridas como restrições do problema. Esse modelo, que não será apresentado, é objeto de investigação futura.

Neste trabalho a investigação de soluções do PMDEA é feita explorando-se o modelo I, o qual é resolvido através do Método Previsor Corretor Primal Dual de Pontos Interiores com estratégia de Barreira Logarítmica Modificada (MPCDPPIBLM), desenvolvido em [6]. Além do método em destaque, para a resolução do modelo I utilizou-se também um método de aproximante de funções definido em [2], baseado em funções de ativação para suavizar a função de despacho econômico, a qual é não-diferenciável e não-convexa devido à inserção de pontos de válvula e possibilitar a aplicação do MPCDPPIBLM à resolução do modelo I. Os resultados da aplicação feita do método em destaque em um PMDEA contendo 3 geradores são vistos a seguir.

**Modelo I:** PMDEA formulado com a estratégia da soma ponderada

$$\begin{aligned} \text{Minimizar} \quad & \alpha F_e + (1-\alpha)F_a \\ \text{Sujeito a:} \quad & \sum_{i=1}^n P_i = P_d \\ & P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \\ \text{Em que:} \quad & F_e = \sum_{i=1}^n F_{e,PV_i} = \sum_{i=1}^n a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i + \sum_{i=1}^n |e_i \text{sen}(f_i(P_i^{\min} - P_i))| \\ & \text{é a função despacho econômica;} \\ & F_a = \sum_{i=1}^n F_{a_i} = \sum_{i=1}^n A_i P_i^2 + B_i P_i + C_i \text{ é a função despacho ambiental} \\ & \alpha \in [0,1] \text{ é o parâmetro (peso) utilizado pelo método da soma ponderada.} \end{aligned}$$

O algoritmo do MPCPDPIBLM foi implementado computacionalmente utilizando o *software* MATLAB e aplicado a um modelo de 3 geradores, encontrado em [7] e [8].

Utilizando o modelo I solucionado para valores de  $\alpha \in [0,1]$  pelo método, é possível perceber que a fronteira de Pareto não está completa, os valores encontrados se concentram próximos aos pontos em que a emissão de poluentes é mínima, em  $\alpha = 1$  ou o custo é mínimo, em  $\alpha = 0$ .

Assim, a grande dificuldade desta estratégia se dá na escolha dos valores do parâmetro  $\alpha$ . Isso ocorre, pois a função objetivo definida pela soma ponderada é uma função não-convexa, ainda que suavizada nos pontos de válvula. Em [1] é afirmado que, se a função é não-convexa, a curva de Pareto sempre terá esse comportamento quando utilizado o método da soma ponderada. É afirmado também que, a estratégia baseada no método  $\varepsilon$ -restrito para problemas multiobjetivo, é considerada mais adequada e pode fornecer a curva de Pareto completa, sendo esse o próximo passo a ser estudado no trabalho. Uma nova proposta de resolução é apresentada para problemas deste tipo em que uma das funções objetivo é não convexa em [3] e também será explorada no futuro

**Palavras-chave:** *Método Primal- Dual de Pontos Interiores, Método da Soma Ponderada, Despacho Econômico e Ambiental.*

## REFERÊNCIAS

- [1] Ávila, M. A.; Pfeilsticker, P. C. Problema de Otimização Multiobjetivo.
- [2] Chen, C.; Magasarian, O. L. A Class of Smoothing Functions for Nonlinear and Mixed Complementarity Problems, *Computational Optimization and Applications*, 1996.
- [3] Jubril, A. M. Solving Multi-Objective Economic Dispatch Problem Via Semidefinite Programming, *IEEE Transactions on power systems*, vol. 28, nº3, Agosto de 2013.
- [4] Mehrotra, S.; Sun, J. An algorithm for convex quadratic programming that requires  $O(n^{3.5})$  arithmetic operations, *Mathematics of Operations Research* 15, 342-363, 1990.
- [5] Miettinen, K. *Nonlinear Multiobjective Optimization*. Boston: Kluwer, 1999.
- [6] Pinheiro, R. B. N. *Um método predictor corretor primal-dual de pontos interiores barreira logarítmica modificada, com estratégias de convergência global e de ajuste cúbico, para problemas de programação não-linear e não-convexa*. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2012.
- [7] Samed, M.M.A. *Um Algoritmo Genético Híbrido Co-Evolutivo para Resolver Problemas de Despacho*. Tese de Doutorado, UEM, Depto. de Engenharia Química, Agosto de 2004.
- [8] Senthil, K.; Manikandan, K. Economic Thermal Power Dispatch with Emission Constraint and Valve Point Effect loading using Improved Tabu Search Algorithm, *International Journal of Computer Applications*, vol. 3, nº 9, Julho de 2010.