

# O método de programação por metas ponderadas aplicado ao problema multiobjetivo de despacho econômico e ambiental termo-eólico

Andréa Camila dos Santos Martins<sup>1</sup>

Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Bauru/SP

Antonio Roberto Balbo<sup>2</sup>

Departamento de Matemática, Bauru/SP

Dylan Jones<sup>3</sup>

Centre for Operational Research and Logistics, Portsmouth/UK

A questão energética é um dos maiores problemas mundiais, pois as produções de energia são provenientes de fontes não renováveis, assim tem-se buscado gerar energia através das fontes renováveis como a energia eólica, solar e de biomassa. A geração de energia eólica tem apresentado um crescimento e em 2019 ocupou o 2º lugar na matriz energética do Brasil e a 7ª posição no ranking mundial em capacidade instalada de energia eólica [1]. Com o intuito de investigar o impacto ambiental referente à produção de energia termoeletrica o objetivo deste trabalho é mostrar que uma metodologia determinística envolvendo métodos de otimização multiobjetivo é eficiente à resolução de um problema multiobjetivo de despacho econômico e ambiental termo-eólico (PMDEATE) apresentado em [4], minimizando a função custo associado a geração de energia eólica, função custo dos combustíveis e função emissão de poluentes dos geradores termoeletricos, atendendo a uma demanda de produção determinada e restrições operacionais dos geradores eólicos e termoeletricos. A função custo dos geradores eólicos ( $C_w(P_w)$ ) está associada a incerteza quanto a velocidade do vento disponível e utiliza a função de distribuição de *Weibull* para ser calculada e está relacionada a 3 tipos diferentes de custo: o custo linear ( $C_l(P_w)$ ) relacionado ao custo de produção de energia de cada gerador eólico; o custo de penalização ( $C_p(P_w)$ ) relacionado à não utilização de toda a energia disponível pelo gerador eólico e o custo reserva ( $C_r(P_w)$ ) relacionado à incerteza da disponibilidade da geração de energia eólica, baseada em [2]. A função de custos de combustíveis ( $C_c(P_t)$ ) é obtida a partir da soma dos custos individuais de cada um dos geradores considerando o ponto de carregamento de válvula. Essa função é não convexa e não diferenciável e por isso uma transformação é aplicada à função ( $C_c(P_t)$ ), a qual é reescrita como  $C_c(P_t) = C_c^1(P_t) + C_c^2(P_t)$ , onde  $C_c^1(P_t)$  é a parte quadrática da função  $C_c(P_t)$  e  $C_c^2(P_t)$  é uma função linear apresentada na parte modular da função  $C_c(P_t)$ . A função de emissão de poluentes ( $C_e(P_t)$ ) é modelada levando em consideração a relação entre a quantidade de cada poluente e a saída de potência do gerador. O PMDEATE com 3 objetivos (PMDEATE<sub>3</sub>) com representação das perdas nas linhas de transmissão é formulado da seguinte forma:

---

<sup>1</sup>andrea.martins@unesp.br

<sup>2</sup>antonio.balbo@unesp.br

<sup>3</sup>dylan.jones@port.ac.uk

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimizar } \left\{ C_c^1(P_t) + \sum_{j=1}^m v_j, C_w(P_w), C_e(P_t) \right\} \\
 & \text{sujeito a } \sum_{i=1}^n Pw_i + \sum_{j=1}^m Pt_j = D + L \\
 & (C_c^2)_j(P_{t_j}) - v_j \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \\
 & (C_c^2)_j(P_{t_j}) + v_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \\
 & 0 \leq Pw_i \leq Pw_i^{max} \quad i = 1, 2, \dots, n \\
 & Pt_j^{min} \leq Pt_j \leq Pt_j^{max} \quad j = 1, 2, \dots, m \\
 & v_j \in \Re \quad j = 1, 2, \dots, m
 \end{aligned} \tag{1}$$

A resolução do problema (1) foi realizada através da técnica de programação por metas ponderadas. Foram investigados os seguintes casos: 1A: 6 geradores termoeletricos; 6 geradores termoeletricos e unidade eólica 1 e 1C: 6 geradores termoeletricos e unidades eólicas 1 e 2. Os pesos associados em cada caso podem ser encontrados em [3]. A Tabela 1 apresenta a solução de compromisso escolhida para os casos 1A, 1B e 1C e a comparação desses casos.

Tabela 1: Valores do custo e emissão pela programação por metas para os casos 1A, 1B e 1C

CASO	$C_c(P_t)$	$C_w(P_w)$	$C_e(P_t)$	redução da emissão	redução do custo
1A	1072.32	0.00	235.89	-	-
1B	954.09	30.33	206.01	12.67%	8.20%
1C	762.86	199.89	193.18	18.11%	10.22%

Os valores apresentados na Tabela 1 compara os resultados obtidos nos casos 1B e 1C com o caso 1A, mostrando que a inserção da energia eólica no sistema de energia reduz a emissão dos poluentes. Mesmo com uma redução de 12.67% para o caso 1B e 18.11% para o caso 1C, o que em  $Kg/h$ , são dados por 29.68  $Kg/h$  e 42.71  $Kg/h$ , respectivamente. E com relação aos custos, na resolução deste problema a redução foi de 87.90  $\$/h$  e 109.57  $\$/h$ , respectivamente para os casos 1B e 1C. Os resultados obtidos mostram a relevância do método e modelo investigado para a redução dos custos operacionais e emissão de poluentes de um sistema de geração de energia termo-eólico.

## Referências

- [1] Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica). Energia eólica - os bons ventos do Brasil. InfoVento nº 19. Atualizada em 11 fev de 2021.
- [2] Hetzer, J; Yu, D. C.; Bhattarai, K. An economic dispatch model incorporating wind power. IEEE Transactions on Energy Conversion, v. 23, n. 2, p. 603-611, 2008.
- [3] Martins, A. C. S. Métodos de otimização multiobjetivo em problemas de despacho econômico e ambiental de sistemas termo-eólico. Tese de Doutorado, Unesp, 2020.
- [4] Martins, A. C. D. S.; Balbo, A. R.; Jones, D.; Nepomuceno, L.; Soler, E. M.; Baptista, E. C. A Hybrid Multi-Criteria Methodology for Solving the Sustainable Dispatch Problem. Sustainability, v. 12, n. 17, p. 6780, 2020.