

Problema de fluxo de potência ótimo estocástico com variáveis discretas investigado através de uma abordagem determinística

Marina Schimidt¹

FCT/UNESP, Presidente Prudente, SP

Antonio Roberto Balbo²

DMAT/UNESP, Bauru, SP

Rafael Ramos de Souza³

FEB/UNESP, Bauru, SP

O trabalho proposto apresenta um modelo para o problema de Fluxo de Potência Ótimo Estocástico e Discreto (FPOED) associado a sistemas termo-eólicos, com o objetivo de minimizar os custos de geração termelétricos e eólicos, considerando variáveis discretas relacionadas aos *taps* dos transformadores e controles *shunt* de capacitores e reatores.

A função objetivo do modelo é representada pelas funções de custo de geração termelétrica e eólica. A função de custo termelétrico considera a inclusão dos pontos de carregamento de válvula, definidos por expressões valor absoluto senoidais, as quais transformam-na em não convexa e não diferenciável nesses pontos. Essa é tratada considerando variáveis auxiliares e otimização restrita para possibilitar a utilização de métodos determinísticos baseados em gradientes. Com a introdução de fontes eólicas a programação do despacho de potência ativa torna-se incerta, já que sua geração depende da velocidade e ocorrência do vento em determinada região, de modo que o custo de geração eólica é definido pela soma de 3 custos: Custo Linear, Custo de Reserva e Custo de Penalidade. O Custo Linear está associado a amortização da implementação do parque eólico e a manutenção deste. O Custo de Reserva está relacionado com a superestimação da geração eólica e associa-se à confiabilidade do atendimento da demanda, caso a potência programada para o parque eólico não seja atendida ou esteja muito acima da disponível. O Custo de penalidade tem relação com a subestimação da geração eólica, caso a potência programada para o gerador eólico esteja muito abaixo da média disponível. Para a caracterização da probabilidade de ocorrência do vento é utilizada a função de densidade de probabilidade de Weibull (FDPW) [2]. A potência eólica programada depende da FDPW para o cálculo dos custos de reserva e penalidade, explorados no problema de FPOED.

Para o tratamento das variáveis discretas foi utilizada uma estratégia que transforma o problema discreto em um sequência de problemas contínuos, considerando uma função penalidade senoidal, que impõem às variáveis assumirem valores discretos, conforme proposto por [3] e baseado em [1]. Essa função insere vários máximos locais, dificultando a solução do problema. Para resolver tal fato, propõe-se uma estratégia de correção de inércia, que garante a determinação de direções de descida para o sistema KKT de direções de busca e a consequente obtenção de mínimos locais ao problema.

Para a resolução do FPOED utilizou-se um método determinístico, baseado em [4], o método primal-dual de pontos interiores/exteriores barreira logarítmica modificada com procedimento

¹marina.schimidt@unesp.br

²antonio.balbo@unesp.br

³rafael.ramos@unesp.br

previsor-corretor e estratégia de direções de busca combinadas (PDPIEBLM). O método PDPIEBLM foi implementado em linguagem de programação Matlab e aplicado aos sistemas IEEE 14 e 30 barras. Nestes sistemas os geradores termelétricos foram substituídos por geradores eólicos com a mesma capacidade nominal, transformando-se assim em sistemas termo-eólicos. Os testes realizados levaram em consideração casos termelétricos contínuos (FPO) e discretos (FPOD), bem como casos termo-eólicos contínuos (FPOE) e discretos (FPOED), e nesta etapa, somente os *taps* dos transformadores foram considerados como variáveis discretas, as susceptâncias *shunt* de capacitores e reatores foram consideradas com valores fixos. Os resultados obtidos pelo método PDPIEBLM são apresentados na Tabela 1. Os *taps* foram definidos no conjunto discreto $Y = \{0.9, 0.92, 0.94, \dots, 1.08, 1.1\}$.

Tabela 1: Resultados para os Sistemas IEEE 14 e 30 barras.

| Sistema 14 barras | FPOE | FPOED | FPO | FPOD |
|----------------------------------|-------------|--------------|------------|-------------|
| Custo Total (\$/h) | 1103.77 | 1105.11 | 1138.20 | 1138.73 |
| <i>tap</i> ₄₋₇ (pu) | 0.9833 | 0.9399 | 1.0283 | 0.9800 |
| <i>tap</i> ₄₋₉ (pu) | 0.9561 | 1.0200 | 0.9000 | 0.9600 |
| <i>tap</i> ₅₋₆ (pu) | 1.0008 | 0.9201 | 0.9968 | 0.9399 |
| Sistema 30 barras | FPOE | FPOED | FPO | FPOD |
| Custo Total (\$/h) | 804.37 | 804.81 | 846.70 | 847.21 |
| <i>tap</i> ₆₋₉ (pu) | 1.0488 | 0.9799 | 1.0497 | 0.9798 |
| <i>tap</i> ₆₋₁₀ (pu) | 0.9000 | 0.9599 | 0.9000 | 0.9600 |
| <i>tap</i> ₄₋₁₂ (pu) | 1.0382 | 0.9399 | 1.040 | 0.9399 |
| <i>tap</i> ₂₈₋₂₇ (pu) | 0.9728 | 0.9600 | 0.9733 | 0.9601 |

Os casos de geração termelétrica (FPO E FPOD) apresentam valores de função objetivo relativamente maiores comparados aos casos com geradores eólicos, ou seja, a substituição do gerador termelétrico pelo gerador eólico foi mais vantajosa em ambos os sistemas. Ao considerarmos os *taps* dos transformadores como variáveis discretas nos problemas FPOED e FPOD o valor da função objetivo sofre uma pequena alteração, que mostra que a natureza dessas variáveis influencia na geração das potências desse sistema e consequentemente no seu custo. Novos testes serão realizados de modo a tratar as susceptâncias *shunt* como variáveis discretas do problema de FPOED, bem como para a resolução de sistemas com maior dimensão de 57 e 118 barras.

Referências

- [1] J. A. Delgado. “Método primal-dual de pontos interiores-penalidade e o problema de fluxo de potência ótimo reativo com variáveis de controle discretas”. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia, 2021.
- [2] J. Hetzer; D. C. Yu ; K. Bhattarai. “An Economic Dispatch Model Incorporating Wind Power”. Em: **IEEE Transactions on Energy Conversion** 23.2 (2008), pp. 603–611.
- [3] E. M. Soler; E. N. Asada; G. R. M. Costa. “Penalty-based nonlinear solver for optimal reactive power dispatch with discrete controls”. Em: **IEEE Transaction on Power Systems** 28.3 (2013), pp. 2174–2182.
- [4] R. R. Souza. “Programação do despacho termo-eólico por fluxo de potência ótimo ativo/reativo solucionado por métodos de interiores/exteriores”. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia, 2020.