



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E COMPUTAÇÃO CIENTÍFICA
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA APLICADA



MATEUS ISMAEL DOS SANTOS TOLEDO

Pré-despacho de sistemas de potência: relaxação Lagrangeana e métodos de pontos interiores

Campinas
24/06/2024

MATEUS ISMAEL DOS SANTOS TOLEDO

Pré-despacho de sistemas de potência: relaxação Lagrangeana e métodos de pontos interiores*

Monografia apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção de créditos na disciplina Projeto de Extensão Supervisionado, sob a orientação do(a) Prof. Dr. Aurelio R. L. Oliveira.

*Este trabalho foi financiado pela CNPQ.

Resumo

O problema de minimização de perdas da geração e transmissão do pré-despacho de sistemas de energia elétrica é formulado como um modelo de fluxo em redes e havia sido resolvido anteriormente pelo orientador do projeto via métodos de pontos interiores primal-dual e preditor-corretor. A continuidade da pesquisa se deve à aplicação da relaxação Lagrangeana às restrições de metas diárias de geração energética das usinas, desacoplando tais restrições particionamos o nosso modelo em sub-problemas específicos para cada hora do dia, os quais são resolvidos através de métodos de pontos interiores especializados. Esta abordagem se demonstra vantajosa pois aproveita a vantagem da formulação por fluxo em redes somada à eficiência da relaxação Lagrangeana. A estrutura matricial do problema é explorada profundamente e faz com que o método de solução tenha convergência rápida, pois a partir dela é possível reduzir a dimensão do sistema linear a ser resolvido ao número de barras ou ao número de linhas do sistema teste. Além disso, a matriz dos sistemas lineares é invariante ao longo das iterações, fato que permite uma decomposição a priori. É também utilizada uma heurística para a obtenção a priori de uma matriz de reatância esparsa. Fatores esses que auxiliam no desempenho computacional do algoritmo de solução.

Abstract

The problem of minimizing losses in the generation and transmission of pre-dispatch in power systems is formulated as a network flow model and had previously been solved by the project advisor using primal-dual interior-point methods and predictor-corrector methods. The continuation of the research is due to the application of Lagrangian relaxation to the daily generation target constraints of the power plants. By decoupling these constraints, we partition our model into specific sub-problems for each hour of the day, which are solved using specialized interior-point methods. This approach proves advantageous as it leverages the benefits of the network flow formulation combined with the efficiency of Lagrangian relaxation. The matrix structure of the problem is deeply explored and converges quickly because it allows for the reduction of the dimension of the linear system to be solved to the number of buses or lines of the test system. Additionally, the matrix of the linear systems is invariant throughout the iterations, which allows for an a priori decomposition. A heuristic is also used to obtain an a priori sparse reactance matrix. These factors aid in the computational performance of the solution algorithm.

Conteúdo

1	Introdução	6
2	O modelo de pré-despacho	6
2.1	Modelo estático	6
2.2	Modelo dinâmico	7
3	Resolução dos sub-problemas	9
3.1	Método de Pontos Interiores Primal-Dual	10
3.2	Resolução do sistema linear	12
4	Decomposição usando relaxação Lagrangeana	13
4.1	Problema minimax dual	15
4.2	Coordenador	16
5	Conclusão	16

1 Introdução

O problema de fluxo de potência ótimo é fundamental na análise e operação de sistemas de potência. Este problema visa determinar a melhor maneira de operar um sistema de potência sujeito a diversas restrições, como limites de geração, demanda e segurança do sistema, enquanto otimiza um determinado objetivo, como a minimização do custo de geração ou perdas de potência.

O problema de pré-despacho é formulado como a minimização de uma função quadrática com variáveis separáveis, as quais representam as perdas na transmissão e na geração de potência, sujeito a restrições lineares que representam o fluxo de potência ativo e as metas de geração de energia. As restrições de fluxo podem ser divididas em blocos que se repetem e representam o sistema elétrico a cada hora.

Visto que tais blocos matriciais são unidos entre si por meio de restrições adicionais de acoplamento, aplicando a relaxação de tais restrições fazemos com que o problema seja decomposto e obtemos como produto os sub-problemas de despacho ótimo de potência ativa. Problemas esses que são formulados como fluxo em redes com restrições adicionais e resolvidos por meio de métodos de pontos interiores especializados, desenvolvidos por (Oliveira, Nepomuceno & Soares, 2001a).

2 O modelo de pré-despacho

2.1 Modelo estático

Apresentaremos primeiramente o problema de fluxo de potência ótima ativa para um único intervalo de tempo (uma hora):

$$\min \quad \alpha f' R f + \beta \gamma(p) \tag{1}$$

$$\text{sujeito a} \quad A f = p - l, \quad X f = 0 \tag{2}$$

$$f^{\min} \leq f \leq f^{\max}, \quad p^{\min} \leq p \leq p^{\max} \tag{3}$$

em que:

f é o fluxo de potência ativa;

p é a geração de potência ativa;

R é a matriz diagonal das resistências das linhas;

$\gamma(p)$ é a função de perdas na geração;

A é a matriz de incidência da rede de transmissão;

X é a matriz de reatância da rede de transmissão;

l representa as demandas de potência ativa;

f^{max} e f^{min} são os limites de fluxo de potência ativa;

p^{max} e p^{min} são os limites de geração de potência ativa;

α e β são pesos atribuídos conforme nosso objetivo de minimização.

O sistema de transmissão é representado por um fluxo de carga em corrente contínua (DC) com limites de fluxo de carga ativo. A rede de geração e transmissão é representada pelas leis de Kirchhoff (2), as quais dizem a respeito ao princípio da conservação da carga elétrica (lei dos nós) e ao princípio da conservação da energia (lei das malhas), leis que são apresentadas separadamente para que as variáveis f e p possam existir simultaneamente no modelo. Além disso, temos em nosso conjunto de restrições as capacidades de geração e de transmissão do sistema elétrico (3).

As duas componentes da função objetivo em (1) são quadráticas e com variáveis separáveis, a primeira componente representa as perdas na rede de transmissão e a segunda representa o custo de geração de energia das usinas.

2.2 Modelo dinâmico

A seção anterior modelava o problema apenas para um único intervalo de tempo, ou seja, uma hora em nosso caso. Para representar um modelo dinâmico devemos considerar o problema estático da seção 2.1 para cada intervalo de tempo, além de considerar uma restrição adicional de acoplamento dada por:

$$\sum_{i=1}^t p_i = q \quad (4)$$

em que:

q é a meta de geração de energia;

p_i é a geração de potência ativa no intervalo de tempo i ;

t é o número total de intervalos de tempo que estamos analisando.

A partir disso, podemos montar o problema dinâmico:

$$\begin{aligned}
\min \quad & \alpha \sum_{i=1}^t f_i' R f_i + \beta \sum_{i=1}^t \gamma(p_i) \\
\text{sujeito a} \quad & A f_1 = p_1 - l_1 \\
& X f_1 = 0 \\
& f^{\min} \leq f_1 \leq f^{\max} \\
& p^{\min} \leq p_1 \leq p^{\max} \\
& \vdots \\
& A f_n = p_n - l_n \\
& X f_n = 0 \\
& f^{\min} \leq f_n \leq f^{\max} \\
& p^{\min} \leq p_n \leq p^{\max}
\end{aligned} \tag{5}$$

Desse modo, podemos perceber que as restrições sobre a rede de geração e transmissão são apresentadas separadamente para cada intervalo de tempo t e são acopladas pela restrição adicional da meta de geração de energia (4). É essa estrutura dinâmica específica do problema que vamos explorar para fazer a nossa relaxação Lagrangeana, a partir da penalização na função objetivo da restrição de acoplamento é que podemos separar esse problema em outros t sub-problemas. Tais sub-problemas possuem a estrutura parecida com a do modelo dinâmico apresentado, com exceção do termo de penalização na função objetivo. Discutiremos na próxima seção a resolução desses sub-problemas.

3 Resolução dos sub-problemas

Os sub-problemas são resolvidos através de métodos de pontos interiores especializados para formulações em redes de corrente contínua. A fim de aplicarmos tal método é necessário então que simplifiquemos o modelo estático (1, 2 e 3) fazendo:

- Mudanças de variáveis: $\tilde{f} = f - f^{min}$ e $\tilde{p} = p - p^{min}$;
- Os pesos α e β serão iguais a 1;
- $\tilde{R} = 2R$;
- A função de perdas $\gamma(p) = \frac{1}{2}p'Hp$ com H sendo uma matriz diagonal que representa a componente quadrática do custo de geração.

Assim temos o nosso modelo sendo da seguinte maneira:

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \frac{1}{2}\tilde{f}'\tilde{R}\tilde{f} + c'_f\tilde{f} + \frac{1}{2}\tilde{p}'H\tilde{p} + c'_p\tilde{p} \\
 \text{sujeito a} \quad & A\tilde{f} - \tilde{p} = \tilde{l}_i, \quad X\tilde{f} = \tilde{l}_v \\
 & 0 \leq \tilde{f} \leq f^{max}, \quad 0 \leq \tilde{p} \leq p^{max}
 \end{aligned} \tag{6}$$

em que $c_f = \tilde{R}f^{min}$, $c_p = Hp^{min}$, $\tilde{l}_i = -l - Af^{min} + p^{min}$ e $\tilde{l}_v = -Xf^{min}$. Podemos então introduzir as variáveis de folga e remover os tils para simplificar nossa notação:

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \frac{1}{2}f'Rf + c'_ff + \frac{1}{2}p'Hp + c'_pp \\
 \text{sujeito a} \quad & Af - p = l_i, \quad Xf = l_v \\
 & f + s_f = f^{max}, \quad p + s_p = p^{max} \\
 & (f, s_f) \geq 0, \quad (p, s_p) \geq 0
 \end{aligned} \tag{7}$$

Como utilizaremos para a solução do problema um método de pontos interiores primal-dual, devemos introduzir o dual associado ao problema primal apresentado em (7). Apre-

sentemos este já com as variáveis de folga introduzidas:

$$\begin{aligned}
\min \quad & l'y - (f^{max})'w_f - \frac{1}{2}f'Rf - (p^{max})'w_p - \frac{1}{2}p'Hp \\
\text{sujeito a} \quad & B'y + z_f - w_f - Rf = c_f, \quad -y(p) + z_p - w_p - Hp = c_p \\
& (z_f, w_f) \geq 0, \quad (z_p, w_p) \geq 0
\end{aligned} \tag{8}$$

em que $B = \begin{bmatrix} A \\ X \end{bmatrix}$, $l = \begin{bmatrix} l_i \\ l_v \end{bmatrix}$ e $y(p)$ são os elementos da variável dual y que são correspondentes às barras de geração.

A partir das formulações primal e dual apresentadas podemos reconhecer as condições de otimalidade como sendo as restrições para cada um dos problemas (7 e 8) somadas as condições de não negatividade das variáveis primais e duais, chamadas de condições de complementaridade, dadas por:

$$\begin{aligned}
FZ_f e = 0, \quad PZ_p e = 0 \\
S_f W_f e = 0, \quad S_p W_p e = 0
\end{aligned} \tag{9}$$

em que e é o vetor unitário, tem 1 em todas as suas posições. A fim de fazer uma simplificação, introduzimos aqui também a notação $F = \text{diag}(f)$ para a representação de matrizes diagonais.

3.1 Método de Pontos Interiores Primal-Dual

Para a formulação encontrada, a aplicação do método de pontos interiores primal-dual em questão (*Oliveira, Nepomuceno & Soares 2001b*) se dá pela utilização do método de Newton nas condições de otimalidade (7, 8 e 9) (restrições dos problemas primal e dual unidas com a complementaridade das variáveis). Porém desconsideraremos as restrições de não-negatividade das variáveis e incluiremos uma perturbação (μ) nas condições (9). O método atua partindo de um ponto inicial estritamente positivo e não permite que suas variáveis se tornem negativas durante as iterações. Fato que é garantido por meio das condições de complementaridade em que adicionamos a perturbação μ . Então, definimos agora os vetores $x = (f, p, s_f, s_p)$ e $t = (z_f, z_p, w_f, w_p)$ e aplicando o método de Newton às condições de otimalidade temos definido o método a seguir:

Método Primal-Dual: Dados $(x^0, t^0) > 0$ e $y^0 > 0$. Para $k = 0, 1, 2, \dots$, faça:

1. Escolha $\sigma^k \in [0, 1)$ e faça $\mu^k = \sigma^k \frac{\gamma^k}{n}$ com n sendo a dimensão do vetor x e $\gamma^k = (x^k)'t^k$.
2. Calcule a direção de Newton $(\Delta x^k, \Delta y^k, \Delta t^k)$ definida pelo sistema linear das condições de otimalidade.
3. Calcule o tamanho dos passos que daremos com as variáveis primal e dual para que permaneçam sendo pontos interiores, o tamanho dos passos é dado por $\alpha_p^k = \min(1, \tau^k \rho_p^k)$ e $\alpha_d^k = \min(1, \tau^k \rho_d^k)$ com $\tau^k \in (0, 1)$, $\rho_p^k = \frac{-1}{\min_i(\frac{\Delta x_i^k}{x_i^k})}$ e $\rho_d^k = \frac{-1}{\min_i(\frac{\Delta t_i^k}{t_i^k})}$.
4. Calcule o novo ponto fazendo $x^{k+1} = x^k + \alpha_p^k \Delta x^k$ e $(y^{k+1}, t^{k+1}) = (y^k, t^k) + \alpha_d^k (\Delta y^k, \Delta t^k)$.

O sistema linear que define a direção de Newton a ser tomada é dado por:

$$\left\{ \begin{array}{l} A\Delta f - \Delta p = -l_i - Af + p \equiv r_i \\ X\Delta f = l_v - Xf \equiv r_v \\ \Delta f + \Delta s_f = f^{max} - f - s_f \equiv r_f \\ \Delta p + \Delta s_p = p^{max} - p - s_p \equiv r_p \\ B'\Delta y + \Delta z_f - \Delta w_f - R\Delta f = c_f - B'y - z_f + w_f + Rf \equiv r_y \\ -\Delta y(p) + \Delta z_p - \Delta w_p - H\Delta p = c_p + y(p) - z_p + w_p + Hp \equiv r_g \\ Z_f\Delta f + F\Delta z_f = \mu e - FZ_f e \equiv r_{zf} \\ Z_p\Delta p + P\Delta z_p = \mu e - PZ_p e \equiv r_{zp} \\ W_f\Delta s_f + S_f\Delta w_f = \mu e - S_fW_f e \equiv r_{wf} \\ W_p\Delta s_p + S_p\Delta w_p = \mu e - S_pW_p e \equiv r_{wp} \end{array} \right. \quad (10)$$

em que os índices k foram desconsiderados para a simplificação da notação.

A partir desse algoritmo temos então o nosso método de pontos interiores primal-dual para a resolução do nosso modelo estático (1, 2 e 3). No qual utilizamos a direção de Newton calculada pelo sistema linear (10) e definimos então os maiores tamanhos de passos possíveis que ainda nos garantem estar em um ponto interior para os

problemas primal e dual. Então, a partir da direção e do tamanho de passo encontrados podemos calcular os novos pontos para a próxima iteração do método.

3.2 Resolução do sistema linear

Podemos simplificar o sistema linear (10) reduzindo a sua dimensão porém mantendo sua estrutura de matrizes esparsas fazendo as substituições apresentadas abaixo para as variáveis de folga primais e duais:

$$\begin{aligned}\Delta z_f &= F^{-1}(r_{zf} - Z_f \Delta f); \\ \Delta z_p &= P^{-1}(r_{zp} - Z_p \Delta p); \\ \Delta w_f &= S_f^{-1}(r_{wf} - W_f \Delta s_f); \\ \Delta w_p &= S_p^{-1}(r_{wp} - W_p \Delta s_p); \\ \Delta s_f &= r_{sf} - \Delta f; \\ \Delta s_p &= r_{sp} - \Delta p.\end{aligned}$$

A partir disso, temos o sistema em (10) igual a:

$$\begin{cases} A\Delta f - \Delta p = r_i \\ X\Delta f = r_v \\ B'\Delta y + D_f\Delta f = r_a \\ -\Delta y(p) - D_p\Delta p = r_b \end{cases}$$

em que:

$$\begin{aligned}D_f &= F^{-1}Z_f + S_f^{-1}W_f + R \\ D_p &= P^{-1}Z_p + S_p^{-1}W_p + H \\ r_a &= r_y - F^{-1}r_{zf} + S_f^{-1}r_{wf} - S_f^{-1}W_f r_f \\ r_b &= r_g - P^{-1}r_{zp} + S_p^{-1}r_{wp} - S_p^{-1}W_p r_p.\end{aligned}$$

Novamente, as matrizes diagonais que aparecem são todas diagonais da forma $F^{-1} = \text{diag}(f^{-1})$, o que não compromete computacionalmente o nosso método. Podemos

também eliminar as variáveis de geração e fluxo de potência fazendo as substituições $\Delta f = -D_f^{-1}(r_a - B'\Delta y)$ e $\Delta p = -D_p^{-1}(r_b + \Delta y(p))$, logo temos:

$$(BD_f^{-1}B' + D)\Delta y = r$$

em que temos $r = \begin{bmatrix} r_i \\ r_v \end{bmatrix} + BD_f^{-1}r_a - Dr_b$ e D é a matriz diagonal em que os elementos não nulos correspondem às barras de geração dados por D_p^{-1} .

A partir da estrutura matricial do sistema resultante podemos montar uma matriz não-singular $\tilde{B} = \begin{bmatrix} B & e_j \end{bmatrix}$ e então obtemos o sistema (Oliveira, Nepomuceno & Soares, 2001b):

$$(\tilde{B}\tilde{D}_f^{-1}\tilde{B}' + \tilde{D})\Delta y = r$$

com D_f^{-1} representando o elemento diagonal retirado de D para formar \tilde{D} .

A construção da matriz não-singular \tilde{B} é de relevante importância para o desempenho computacional do nosso método pois reduz o esforço do método de pontos interiores apresentado na seção 3.1. Há ainda outros detalhes de implementação do problema que não serão abordados, porém atuam garantindo o desempenho computacional do método, como o reescalamiento da matriz de reatância X , escolha de pontos iniciais f^0 e p^0 e a definição dos parâmetros do modelo como μ e σ .

4 Decomposição usando relaxação Lagrangeana

Tomando como base o modelo dinâmico do problema (5) apresentado na seção 2.2, exploraremos aqui a utilização da relaxação Lagrangeana sobre a restrição de meta de

geração de energia. Então, relaxando as restrições de acoplamento obtemos o problema:

$$\begin{aligned}
\min \quad & \alpha \sum_{i=1}^t f'_i R f_i + \beta \sum_{i=1}^t \gamma(p_i) + \lambda' \left(\sum_{i=1}^t p_i - q \right) \\
\text{sujeito a} \quad & A f_1 = p_1 - l_1 \\
& X f_1 = 0 \\
& f^{\min} \leq f_1 \leq f^{\max} \\
& p^{\min} \leq p_1 \leq p^{\max} \\
& \vdots \\
& A f_n = p_n - l_n \\
& X f_n = 0 \\
& f^{\min} \leq f_n \leq f^{\max} \\
& p^{\min} \leq p_n \leq p^{\max}
\end{aligned} \tag{11}$$

Aqui temos a possibilidade de separar esse problema em outros t sub-problemas de formulação semelhante ao modelo estático fixando o valor de λ . Pelo teorema de Kuhn-Tucker (Casules, S. D., 2015) temos a existência de uma solução para os multiplicadores garantida.

$$\begin{aligned}
L(f, p, \lambda) &= \alpha \sum_{i=1}^t (f'_i R f_i + c'_f f_i) + \beta \sum_{i=1}^t (p'_i H p_i + c'_p p_i) + \lambda' \left(\sum_{i=1}^t p_i - q \right) \\
&= \sum_{i=1}^t (\alpha f'_i R f_i + \alpha c'_f f_i + \beta p'_i H p_i + \beta c'_p p_i + \lambda' p_i) + \lambda' q
\end{aligned}$$

É possível perceber que temos então uma parte que depende de f e p que está entre parênteses, a qual chamaremos de uma função $g_i(f_i, p_i, \lambda)$ e então teremos como resultado:

$$L(f, p, \lambda) = \sum_{i=1}^t g_i(f_i, p_i, \lambda) + \lambda' q$$

A partir do teorema de Kuhn-Tucker (Casules, S. D., 2015), temos que um vetor $[f^0, p^0] = x^0$ resolve as equações dadas em (11) se e somente se existir um multiplicador

de lagrange λ^0 tal que x^0 satisfaça as seguintes condições:

$$\begin{cases} \frac{\delta L}{\delta x_i} = \frac{\delta g_i(x_i, \lambda^0)}{\delta x_i} \geq 0, & i = 1, \dots, n; \\ \lambda^0 (\sum_{i=1}^t p_i - q) = 0, & \sum_{i=1}^t p_i \leq q; \\ \frac{x_i \delta g_i(x_i, \lambda^0)}{\delta x_i} = 0, & x_i \geq 0, i = 1, \dots, n. \end{cases} \quad (12)$$

Tais condições traduzem na verdade a condição de estacionaridade do problema, ou seja, quando estamos em um ponto candidato a minimizar nosso modelo essas condições atuam garantindo que a solução encontrada não viole as restrições iniciais do modelo, como a não negatividade das variáveis ou então as próprias restrições (5) em si. Esse comportamento é garantido fazendo com que tenhamos a função Lagrangeana $L(f, p, \lambda) = 0$, representando que estamos em um ponto de máximo ou de mínimo dessa função, caso contrário teríamos que x_i deve ser igual a 0. Além disso, sendo g_i uma função convexa em x_i para um λ dado, então as condições (12) são necessárias e suficientes para que x_i minimize g_i . A segunda condição do teorema (12) assegura que estamos em um ponto onde a restrição de meta energética é respeitada ou então devemos ter o λ associado igual a zero, fato que representaria que a restrição em questão não é relevante para a solução ótima.

4.1 Problema minimax dual

Na presente seção faremos uma análise do comportamento do valor da função Lagrangeana $L(f, p, \lambda)$ para um conjunto de multiplicadores de Lagrange λ^0 .

Definindo então a função dual $h(\lambda)$ como sendo igual ao $\min_{x \in S} L(x, \lambda)$. Podemos estabelecer então o problema minimax dual dado por:

$$\max_{\lambda \in D} \min_{x \in S} L(f, p, \lambda)$$

A partir disso, considerando o problema dado em (11) sabemos que a função Lagrangeana pode ser decomposta em sub-problemas. É demonstrado também que dado λ , que resolve o dual através da coordenação dos sub-problemas também temos então a solução válida para o problema primal. Portanto, o coordenador atua maximizando h , ou

seja, tomamos o mínimo do pior caso possível com relação ao multiplicador λ associado.

4.2 Coordenador

Sabendo que nossa função $h(x, \lambda)$ é diferenciável então utilizaremos aqui um algoritmo de descida utilizando o gradiente da nossa função h , o qual é modificado para trabalhar com restrições com $\lambda \geq 0$ ou $\lambda = 0$. Então temos o algoritmo de coordenação para λ^0 dado por:

Para $k = 1, 2, \dots, n$, faça:

1. Resolva o problema Lagrangeano para λ^k , obtendo a solução $[f^k, p^k] = x(\lambda^k)$. (Feito resolvendo os sub-problemas de forma separada para que tenhamos maior desempenho computacional);
2. Avalie a função $h(\lambda^k) = L(x(\lambda^k), \lambda^k)$ e o gradiente $\Delta h(\lambda^k) = g(x(\lambda^k))$;
3. Tome um direção de busca de descida s^k , aqui podemos utilizar o gradiente, gradiente conjugado, gradiente espectral, etc.
4. Cálculo do novo multiplicador $\lambda^{k+1} = \lambda^k + \alpha^k s^k$;
5. Se $\alpha^k \approx 0$ pare;
6. Volte ao segundo passo.

O tamanho do passo α^k é escolhido fazendo uma busca unidimensional na direção s^k de forma que $h(\lambda^{k+1}) > h(\lambda^k)$. A existência do passo é garantida sabendo que nossa função dual é diferenciável e portanto possui uma direção de crescimento/decrescimento.

5 Conclusão

No presente artigo apresentamos um problema de pré-despacho de um sistema de energia elétrica, o qual foi formulado por meio de um modelo de fluxo em redes. Analisando a estrutura dinâmica do problema percebe-se que temos uma estrutura que nos permite desacoplar o problema em outros t sub-problemas por meio da aplicação da

relaxação Lagrangeana às restrições de acoplamento. Sub-problemas esse que apresentam uma estrutura semelhante ao modelo dinâmico apresentado e podem ser resolvidos por meio de métodos de pontos interiores que exploram a estrutura matricial para a redução da dimensão do sistema linear, resultante do método de Newton aplicado as condições de otimalidade do problema. Parte significativa do esforço computacional é realizado a priori notando que a matriz dos sistemas é invariante ao longo das iterações.

O fato de podermos subdividir o problema de pré-despacho para um dia em 24 sub-problemas, em que cada um deles representa o comportamento de uma hora do sistema também nos permite explorar a possibilidade da resolução dos sub-problemas em paralelo, fato que indiscutivelmente melhoraria o desempenho computacional com relação à resolução do problema por uma abordagem que não conta com a relaxação Lagrangeana.

Portanto, notamos aqui a possibilidade de uma melhora de desempenho computacional do método de pontos interiores especializado apresentado (Oliveira, Nepomuceno & Soares, 2001a) quando há em conjunto uma abordagem de relaxação das restrições de metas energéticas, sendo assim esse o caminho a ser seguido na presente iniciação científica durante os próximos semestres.

Referências

Oliveira, A. R. L., Nepomuceno, L. & Soares, S. (2001 a). Optimal active power dispatch combining network flow and interior point approaches. Aceito para publicação, IEEE Transactions on Power Systems.

Oliveira, A. R. L., Nepomuceno, L. & Soares, S. (2001 b). Short term hydroelectric scheduling combining network flow and interior point approaches. Aceito para publicação, IEEE Transactions on Power Systems.

Oliveira, A. R. L. & Soares, S. (2003). Métodos de pontos interiores para problema de fluxo de potência ótimo DC.

Chiavegato, F. G., Oliveira, A. R. L. & Soares, S. (2001). Pré-despacho de sistemas de energia elétrica via relaxação lagrangeana e métodos de pontos interiores.

Luenberger, D. G. (1984). Linear and Nonlinear Programming, Addison-Wesley, Reading.

Lasdon, L. (1970). Optimization Theory for Large Systems, Macmillan, New York.

Casules, S. D. (2015). Teoria de otimização: Teorema de Kuhn-Tucker – Extensão à problemas multi-objetivos e aplicações à economia.