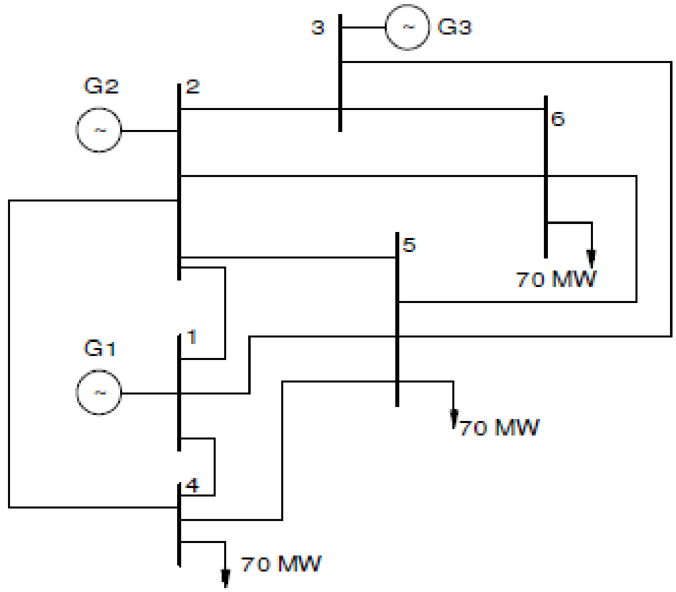
TE832 PLANEJAMENTO E DINÂMICA DE SISTEMAS ENERGÉTICOS
Prof. Dr. Clodomiro Unsihuay-Vila

PARTE I – Analise e Simulação do Despacho Econômico Com Representação da Rede de Transmissão: O Custo Marginal de Operação



Geração	P Max (MW)	Custo ($ /MWh)
G1	120	25
G2	70	15
G3	70	35

LT	Reatância	Capacidade
1-2	0,2	50
1-4	0,2	50
1-5	0,3	40
2-3	0,25	40
2-4	0,1	80
2-5	0,3	40
2-6	0,2	50
3-5	0,26	40
3-6	0,1	80
4-5	0,4	30
5-6	0,3	40

a) Caso base: Dado o sistema elétrico de potência acima, usando programação linear determine o despacho ótimo. Identifique a solução primal e dual, respectivamente.

b) Para o caso base, explique as rezoes pela qual o custo do MW adicional da barra 5 é de 38,45 $/MWh?.

c) c.1) Quanto é o Excedente de Mercado (EM)
c.2) Quanto é Excedente de Mercado devido à Transmissão (EMT)
c.3) Quanto (em $) lhe corresponderia a cada gerador, assumindo que o EM for apropriado pelos geradores em proporção ponderada do seus respectivos custos de operação?

d) Caso 1: Ao Adicionar uma nova linha de transmissão paralela e das mesmas características à linha 5-6. Elabore uma comparação crítica do despacho ótimo deste caso 1 com o caso base em termos de custo operacional total e os custos marginais locazionais do sistema.

e) Caso 2: Ao Adicionar uma nova linha de transmissão paralela e das mesmas características à linha 1-5. Elabore uma comparação crítica do despacho ótimo deste caso 1 com o caso base em termos de custo operacional total e os custos marginais locazionais do sistema.

f) Elabore o gráfico do custo operacional do sistema versus a capacidade do gerador 2. Explicar porque o custo operacional do sistema varia?

Obs.: Enviar relatório em .doc ou .docx e os programas relacionados em .m
*Trabalhos idênticos ou cópias serão fortemente penalizados!

Parte II – Planejamento da Operação Hidrotérmica Usando Programação Dinâmica Dual Determinística

Com os dados de um pequeno sistema hidrotérmico, apresentados abaixo:

Tabela 1 – Dados das Usinas Térmicas

Nome	Custo (R$/MWh)	Capacidade (MW)
Térmica 1	35,91	300
Térmica 2	58,55	514

Tabela 2 – Dados da Usina Hidrelétrica

Usina	Volume Mínimo (hm^3)	Volume Máximo (hm^3)	Produtibilidade (ρ) ($MW/m^3/s$)	Vazão Mínima (m^3/s)	Vazão Máxima (m^3/s)	Potência Instalada (MW)
Hidro 1	7000	12540	0,6093	408	2394,33	1710

Tabela 3 Afluências e Demanda por Estágio

Estágio	Afluência (m^3/s)	Demanda (MWmédio)
1	650	**1000**
2	1200	**1500**
3	580	**1200**

- O custo de déficit será de 684 R$/MWh
- FATOR de 2,6784 iguais para os três estágios.
- Volume armazenado inicial na usina hidrelétrica de 1000 hm^3

a) O planejamento da operação realizado individualmente, mês a mês, é mais econômico, mais caro ou igual ao planejamento realizado para todo o período de uma única vez? Apresente e comente os resultados obtidos.
b) Resolva o planejamento ótimo da operação usando programação linear (linprog).
c) Programe computacionalmente o PDDD (algoritmo dado em anexo) em matlab e determine o planejamento ótimo da operação, para um período de três meses. Desenhe a função custo futuro obtidas via PDDD para cada um das etapas.
d) Qual será o custo operacional total do sistema, 50% das turbinas da UHE saiam de operação em janeiro (manutenção)? Com esta parada a capacidade máxima de turbinamento em janeiro passa a ser de 50% (325 m3/s). Apresente e comente os resultados.
e) Qual é o valor crítico (mínimo) de afluência, em janeiro, para que não haja racionamento de energia no sistema? Apresente e comente os resultados.

Obs.: Enviar relatório em .doc ou .docx e os programas relacionados em .m
*Trabalhos idênticos ou cópias serão fortemente penalizados!

ANEXO: Programação Dinâmica Dual Determinística para Múltiplos Estágios

No caso de problemas com múltiplos estágios da seguinte forma:

$$
\begin{array}{llllllll}
\text{Min} & C_1x_1 + C_2x_2 + \cdots + C_Tx_T & & & & & & \\
\text{s.a.} & & & & & & & (3.15) \\
A_1x_1 & & & & & \geq & B_1 & \\
E_1x_1 & + & A_2x_2 & & & \geq & B_2 & \\
& & E_2x_2 & + & A_3x_3 & \geq & B_3 & \\
& & & & \vdots & & & \\
& & & E_{T-1}x_{T-1} & + \; A_Tx_T & \geq & B_T &
\end{array}
$$

O problema anterior pode ser representado como:

$$
\begin{array}{l}
\text{Min} \quad C_1x_1 + \alpha_1(x_1) \\
\text{s.a.} \\
A_1x_1 \geq B_1
\end{array}
$$

onde $\alpha_1(x_1)$ representa as conseqüências da decisão de 1° estágio, x_1, nas decisões dos demais estágios.

A função $\alpha_1(x_1)$ é calculada através de:

$$
\begin{array}{llllll}
\alpha_1(x_1) = \text{Min} \quad C_2x_2 + \cdots + C_Tx_T & & & & & \\
\text{s.a.} & & & & & (3.16) \\
A_2x_2 & & & \geq & B_2 - E_1x_1 & \\
E_2x_2 \; + \; A_3x_3 & & & \geq & B_3 & \\
& & \vdots & & & \\
& E_{T-1}x_{T-1} & + \; A_Tx_T & \geq & B_T &
\end{array}
$$

Repetindo este procedimento *(T-2)* vezes, obtém-se:

$$
\begin{array}{ll}
\alpha_{T-2}(x_{T-2}) = \text{Min} \quad C_{T-1}x_{T-1} + \alpha_{T-1}(x_{T-1}) & \\
\text{s.a.} & (3.17) \\
A_{T-1}x_{T-1} \geq B_{T-1} - E_{T-2}x_{T-2} &
\end{array}
$$

onde $\alpha_{T-1}(x_{T-1})$ é função do T-ésimo estágio:

$$
\begin{array}{ll}
\alpha_{T-1}(x_{T-1}) = \text{Min} \quad C_Tx_T & \\
\text{s.a.} & (3.18) \\
A_Tx_T \geq B_T - E_{T-1}x_{T-1} &
\end{array}
$$

Dessa forma, uma estratégia para a solução do problema com múltiplos estágios é:

Passo 1) Faça J = 0; limite superior $\bar{z} = +\infty$; aproximação inicial para a função de custo futuro $\hat{\alpha}_t(x_t) = 0, \quad t = 1, \cdots, T$, $\forall x_t$ (isto significa que não está disponível nenhuma informação sobre o conjunto de pontos extremos ou vértices π associados à cada estágio)

Passo 2) Resolva o problema relaxado para o 1° estágio:

$$
\begin{aligned}
& Min \quad C_1 x_1 + \hat{\alpha}_1 \\
& s.a. \\
& A_1 x_1 \geq B_1 \\
& \pi_2^j (B_2 - E_1 x_1) - \hat{\alpha}_1 \leq 0 \qquad j = 1, \ldots, J
\end{aligned}
\tag{3.19}
$$

solução ótima: $(x_1^*, \hat{\alpha}_1^*)$

Passo 3) Calcule $\underline{z}$ pela equação (3.11)

Passo 4) Repita para t = 2, ..., T (simulação "forward")

Dado x^*_{t-1}, resolva o problema aproximado do t-ésimo estágio:

$$
\begin{aligned}
& \hat{\alpha}_{t-1}(x_{t-1}) = \mathrm{Min} \quad C_t x_t + \hat{\alpha}_t \\
& \mathrm{s.a.} \\
& A_t x_t \geq B_t - E_{t-1} x_{t-1}^* \qquad \text{(representam as restrições do estágio t)} \\
& \quad \pi_{t+1}^j (B_{t+1} - E_t x_t) - \hat{\alpha}_t \leq 0 \qquad \text{(representam a aproximação para a} \\
& \qquad\qquad\quad \text{ou} \qquad\qquad\qquad\qquad\quad \text{função decusto futuro } \hat{\alpha}_t(x_t) \text{, exceto} \\
& w_{t+1}^j + \pi_{t+1}^j E_t (x_t^* - x_t) - \hat{\alpha}_t \leq 0 \quad \text{para t = T, onde } \hat{\alpha}_t \text{ é sempre igual a zero)}
\end{aligned}
\tag{3.20}
$$

solução ótima: $(x_t^*, \hat{\alpha}_t^*)$

Passo 5) O conjunto de vetores (x_1^*, x_2^*, ..., x_T^*) é uma solução viável do problema (3.15), mas não necessariamente a solução ótima. Portanto,

$$
\bar{z} = \mathrm{Min}\left\{ \bar{z}, \sum_{t=1}^{T} C_t x_t^* \right\}
$$

Passo 6) Considerando que TOL é uma tolerância pré-especificada, verifique se $\bar{z} - \underline{z} \leq \mathrm{TOL}$. Em caso afirmativo, a solução ótima é o conjunto de vetores (x_1^*, x_2^*,..., x_T^*) associado à $\bar{z}$. Caso contrário vá para o passo 7.

Passo 7) Faça J = J + 1.

Repita para t = T, T-1, ..., 2 (regressão "backward")

Resolva o problema de otimização :

$$
\begin{aligned}
&\text{Min} \quad C_t x_t + \hat{\alpha}_t \\
&\text{s.a.} \\
&A_t x_t \ge B_t - E_{t-1} x_{t-1}^* \\
&\pi_{t+1}^j (B_{t+1} - E_t x_t) - \hat{\alpha}_t \le 0 \\
&\text{ou} \\
&w_{t+1}^j + \pi_{t+1}^j E_t \left(x_t^* - x_t\right) - \hat{\alpha}_t \le 0 \qquad j = 1, \cdots, J \\
&(\text{exceto para } t = T, \text{ onde } \hat{\alpha}_t = 0)
\end{aligned}
\tag{3.21}
$$

Seja π_t^J o vetor de multiplicadores simplex associados ao conjunto de restrições do Problema (3.20) na solução ótima. π_t^J medem a variação do custo de operação do estágio t até o final do período de planejamento T devido a variações marginais nos níveis de armazenamento dos reservatórios no início do estágio t (ou final do estágio t-1), representados por x^*_{t-1}. Estes multiplicadores serão utilizados para formar uma nova restrição do tipo $\pi_t^J (B_t - E_{t-1} x_{t-1}) - \hat{\alpha}_{t-1} \le 0$ (Corte de Benders) que será adicionada à função $\hat{\alpha}_{t-1}(x_{t-1})$, obtendo-se uma nova aproximação.

Passo 8) Vá para o passo 2.

Observa-se que o passo 4 do algoritmo PDD (simulação "forward") tem dois objetivos:

1. cálculo de um limite superior para $\overline{z}$
2. seleção dos pontos (x_t^*, t = 1, ..., T), em torno dos quais são geradas novas aproximações para a função de custo futuro.