

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS

SÍNTESE DINÂMICA PARA O PLANEJAMENTO A LONGO PRAZO
DE SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA

ANÍRIO SALLES FILHO

Orientador:

Prof. Dr. Paulo Morelato França

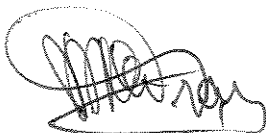
Co-Orientador:

Prof. Dr. Anesio dos Santos Jr.

Tese apresentada a Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Anírio Salles ^{TS} e aprovada pela Comissão Julgadora em

19/12/88



Paulo M. França

DEZEMBRO - 1988

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

Aos meus pais

ANIRIO SALLES GARCIA
MARIA LOYOLA GARCIA

AGRADECIMENTOS

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Muito especialmente a:

- Família SALLES GARCIA, por tudo.
- Prof.Dr. Anilton Salles Garcia e família.
- Prof.Dr. Paulo Morelato França.
- Prof.Dr. Anesio dos Santos Jr..
- Prof.Dr. Akebo Yamakami.
- Ao amigo Prof. Takaaki Ohishi.
- Ao Prof. Amir Said.
- Aos professores do DENSIS.
- Ao Departamento de TELEMÁTICA.
- Maria Inês Pavan.
- Luciane Moreira de Oliveira.
- Aos colegas da Pós-Elétrica, pelo carinho.
- Aos amigos de Vitória, Campinas e Ilha Solteira, pela torcida.
- CNPq e CAPES, pelo suporte financeiro.
- Ao DEAN e tantos outros ausentes. Valeu a força.

INDICE

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

| | |
|-----------------------------------|---|
| I.1 - Introdução | 1 |
| I.2 - Desenvolvimento do trabalho | 4 |

CAPÍTULO II - SÍNTESE ESTÁTICA - MODELO EXTRA

| | |
|--|----|
| II.1 - Introdução | 5 |
| II.2 - O fluxo de carga DC e sua propriedade de otimização | 6 |
| II.3 - O modelo EXTRA de síntese estática de redes | 12 |
| II.3.1 - Técnica de solução do modelo EXTRA | 16 |
| II.3.2 - Análise do modelo EXTRA | 18 |

CAPÍTULO III - O MODELO DE SÍNTESE DINÂMICA PROPOSTO

| | |
|--|----|
| III.1 - Introdução | 20 |
| III.2 - Formulação matemática do problema dinâmico | 21 |
| III.3 - Decomposição via Relaxação lagrangeana | 23 |
| III.4 - Algoritmo para Síntese Dinâmica | 26 |

CAPÍTULO IV - RESULTADOS COMPUTACIONAIS

| | |
|--|----|
| IV.1 - Introdução | 29 |
| IV.2 - Exemplos de aplicação | 29 |
| IV.3 - Síntese de redes do sistema brasileiro de transmissão | 36 |

CAPÍTULO V - CONCLUSÕES

| | |
|------------------------------|----|
| V.1 - Considerações práticas | 42 |
| V.2 - Conclusões | 44 |

| | |
|----------------------------|----|
| Referências Bibliográficas | 47 |
|----------------------------|----|

Anexo 1 - Arquivo de dados da rede Sul

Anexo 2 - Arquivo de dados da rede Norte/Nordeste

RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma metodologia de automação para síntese dinâmica de redes de transmissão de energia elétrica. O problema de síntese dinâmica é formulado por um modelo matemático de otimização. O emprego de uma estratégia de Relaxação Lagrangeana permite decompor o problema dinâmico numa sequência de subproblemas estáticos mais simples. O objetivo do modelo desenvolvido é estabelecer alternativas de expansão do sistema que minimizem os custos totais de investimentos e satisfaça a demanda crescente no tempo. O método é testado em redes do sistema brasileiro de transmissão e os resultados obtidos mostram a utilidade de uma ferramenta de síntese dinâmica para auxiliar a complexa tarefa de planejar a expansão do sistema de transmissão.

CAPÍTULO I

I.1 - INTRODUÇÃO

O objetivo de um sistema de transmissão de energia elétrica é transportar potência dos lugares onde esta é gerada até os centros de consumo, satisfazendo critérios, de confiabilidade operacional e de qualidade de serviços, pré-estabelecidos. Sendo assim, este sistema deve ser planejado com base em estudos que permitam atender a demanda crescente no tempo, satisfazendo restrições operacionais e econômicas. O resultado final destes estudos é um plano de expansão que contém o tipo de equipamento, a capacidade das instalações, os locais e as datas das instalações previstas.

As técnicas de análise utilizadas para o planejamento a curto prazo são basicamente as mesmas do planejamento a longo prazo (mais de 20 anos). A diferença reside no nível de detalhamento exigido por cada processo.

Em horizontes de curto prazo as técnicas de análise de redes são intensivamente utilizadas, uma vez que a variação da demanda é mais suave, não exigindo grandes alterações na configuração do sistema. Quando ocorrem grandes alterações na transmissão, estas foram definidas num horizonte de longo prazo. Em horizontes de longo prazo, a importância dos métodos de síntese aumenta, uma vez que grandes variações na demanda podem ocorrer. Neste caso, o problema básico consiste em determinar soluções de baixo custo e que atendam a demanda futura sem sobrecarga dos equipamentos de transmissão.

Os dados necessários para os modelos de síntese estática são a configuração inicial do sistema e as demandas previstas para um ano horizonte. O processo estabelece alternativas de expansão da rede para este ano horizonte, ignorando os efeitos dos períodos intermediários do planejamento. Podemos citar entre os modelos de síntese estática desenvolvidos no Brasil : Tania [5], Sintra [9,13] e Extra [10].

Os dados necessários para o planejamento dinâmico da expansão são a configuração inicial da rede de transmissão, e uma previsão de demanda para vários períodos no futuro. O objetivo é estabelecer alternativas de expansão do sistema desde o período inicial até o ano horizonte, levando-se em consideração as variações da demanda dos períodos intermediários.

Um fator importante deve ser observado ao se planejar a expansão de um sistema de transmissão. O custo final do projeto é função da ordem das decisões de implementação. Alternativas de expansão que do ponto de vista estático seriam caras, numa avaliação global podem fazer parte de uma solução de baixo custo de expansão do sistema.

Para o desenvolvimento de modelos de síntese dinâmica, a síntese estática assume papel de destaque. É uma etapa necessária em todos os estudos de planejamento da expansão da transmissão. Entretanto, resolver a síntese estática para vários períodos consecutivos não levaria à solução ótima do problema global.

Os métodos de síntese para gerar alternativas de expansão para o planejamento a longo prazo podem ser divididos basicamente em duas classes distintas :

- Métodos Heurísticos

-Fornecem alternativas de expansão para os sistemas através de um procedimento que, via de regra, fornece soluções apenas localmente ótimas.

- Métodos de Otimização

-As alternativas de síntese são geradas a partir de um modelo matemático com o uso de técnicas de otimização que, em geral, garantem soluções ótimas globais do modelo.

O caráter dinâmico do planejamento a longo prazo torna sua resolução um processo muito mais complexo do que a resolução de um problema de síntese estática. Pode-se porém usar métodos de síntese estática para auxiliar o processo de síntese dinâmica.

Neste trabalho é proposto um método de síntese dinâmica para o planejamento da expansão da transmissão. O problema é representado por um modelo de otimização que aproveitando as características de formulação pode ser decomposto em vários subproblemas mais simples. Cada subproblema é uma síntese estática, controlado por um programa mestre. Este programa mestre, através de um processo iterativo, analisa as alternativas estáticas de expansão obtidas, até encontrar alternativas que sejam satisfatórias no âmbito global do problema.

I.2 - DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

No CAPÍTULO II é feito um estudo sobre o modelo de rede elétrica utilizado na formulação do problema (fluxo de carga DC) e em seguida é apresentado o modelo de síntese estática EXTRA, utilizado como subproblema da síntese dinâmica.

No CAPÍTULO III é apresentado o modelo de síntese dinâmica proposto que, através do uso de uma estratégia de Relaxação Lagrangeana, permite decompor o problema dinâmico em uma sequência de subproblemas mais simples de síntese estática.

No CAPÍTULO IV são apresentados os resultados obtidos pela implementação computacional do modelo em uma rede hipotética utilizada para testes, e em redes do sistema brasileiro de transmissão de energia elétrica. Conclusões a respeito da eficiência do modelo são feitas e sugestões de novas pesquisas são apresentadas.

CAPÍTULO II

SÍNTESE ESTATICA - MODELO EXTRA

II.1 - INTRODUÇÃO :

Neste capítulo é apresentado o modelo de síntese estática EXTRA [10] utilizado no método de síntese dinâmica desenvolvido neste trabalho. O modelo estático EXTRA foi escolhido devido a sua performance computacional e sua capacidade de representar algumas características do problema como:

- Leis elétricas de transmissão de potência;
- Custos dos equipamentos instalados;
- Custos fixos representados através de variáveis inteiras.

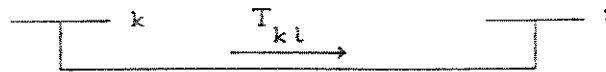
Será apresentado neste capítulo o estritamente necessário para o acompanhamento do modelo proposto. Preliminarmente será apresentado o modelo de fluxo de carga DC, que tem a capacidade de representar a rede elétrica em regime permanente. A seguir apresenta-se o modelo EXTRA (EXpansão da TRANsmissão) bem como as técnicas de enumeração implícita utilizadas para resolvê-lo.

O modelo EXTRA, conforme será visto, além de ser excelente ferramenta para análise e representação das redes de transmissão, apresenta baixo custo computacional. Estes fatores o habilitam como rotina eficiente do processo iterativo de resolução do problema dinâmico, objeto do presente trabalho.

II.2 - O FLUXO DE CARGA DC E SUA PROPRIEDADE DE OTIMIZAÇÃO

A distribuição de fluxos de potência ativa (MW) em um sistema de transmissão é calculada de maneira aproximada através do modelo do fluxo de carga DC. A precisão dos cálculos através deste modelo é suficiente para os estudos de planejamento a longo prazo como indica a literatura [2,11,12], pois os erros obtidos, de um modo geral, são da ordem de 5%. Esta característica juntamente com a propriedade de otimização do fluxo de carga DC tornaram possível o modelo de síntese estática EXTRA com um alto grau de eficiência computacional e precisão nos fluxos de potência.

O fluxo de potência ativa T_{kl} orientado da barra k para a barra l



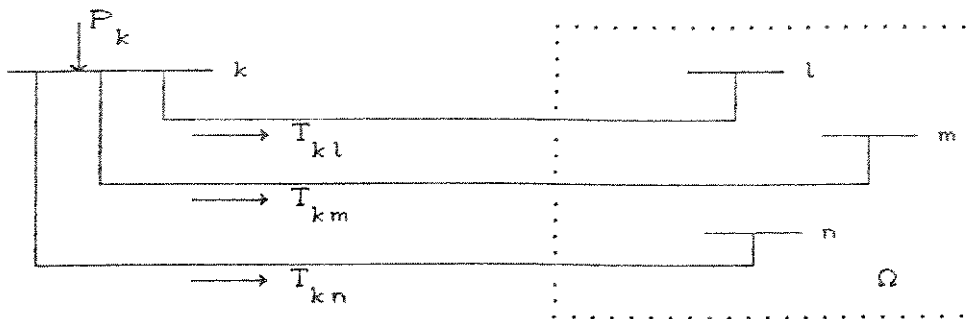
é dado por

$$T_{kl} = \frac{1}{x_{kl}} (\theta_k - \theta_l)$$

Onde:

- T_{kl} - fluxo de potência ativa de k para l ;
- θ_k, θ_l - ângulos das tensões dos nós k e l ;
- x_{kl} - reatância série da ligação elétrica entre os nós k e l

A injeção líquida de potência ativa em uma barra k genérica



é dada por

$$P_k = \sum_{l \in \Omega} \frac{1}{x_{kl}} (\theta_k - \theta_l) \quad (2.1)$$

Onde:

- P_k - injeção líquida de potência ativa na barra k ;
- Ω - conjunto das barras adjacentes à barra k .

Escrevendo-se as injeções de potência para todas as barras de um sistema como ilustra o exemplo da figura 2.1

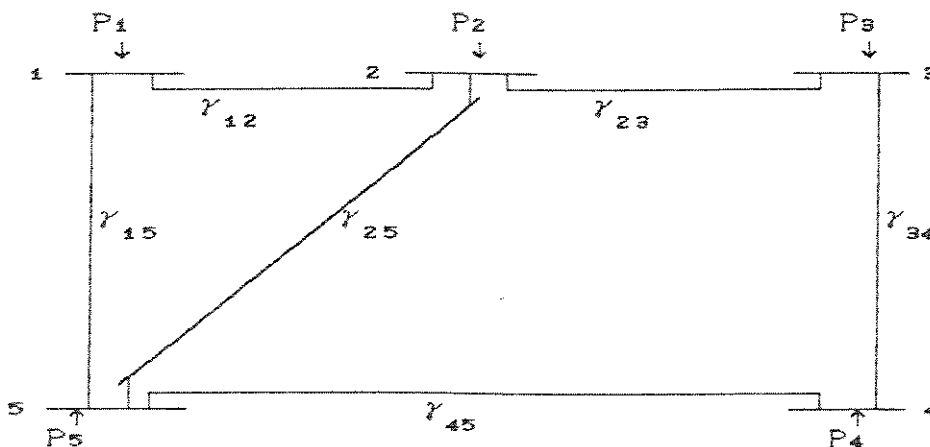


Figura 2.1 - Exemplo ilustrativo

e definindo-se

$$\gamma_{kl} = \frac{1}{x_{kl}} \quad (2.2)$$

obtem-se:

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{12} + \gamma_{15} & -\gamma_{12} & & & \\ -\gamma_{12} & \gamma_{12} + \gamma_{23} + \gamma_{25} & -\gamma_{23} & & \\ & -\gamma_{23} & \gamma_{23} + \gamma_{34} & -\gamma_{34} & \\ & & -\gamma_{34} & \gamma_{34} + \gamma_{45} & \\ & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Observe que se fosse feito o equacionamento para a barra 5, a equação (2.3) teria matriz coeficiente singular, ou seja, as equações seriam linearmente dependentes. Isto é resolvido fixando-se um dos ângulos como referência e eliminando-se a equação correspondente. Por exemplo, fazendo-se $\theta_5 = 0$ e eliminando-se a quinta equação.

A equação (2.3) é, de um modo geral, representada por:

$$\underline{P} = B \cdot \underline{\theta} \quad (2.4)$$

Onde:

- \underline{P} - vetor das injeções líquidas de potência ;
- $\underline{\theta}$ - vetor dos ângulos das tensões nodais ;
- B - matriz capacidade de transmissão, onde

$$B_{kk} = \sum_l \gamma_{kl} = - \sum_l B_{kl} \quad , l \in \Omega \quad (2.5. a)$$

$$B_{kl} = \frac{-1}{x_{kl}} = -\gamma_{kl} \quad (2.5. b)$$

Considerando-se o fluxo de carga linearizado como sendo o modelo de uma rede resistiva alimentada por fontes de corrente contínua, podemos fazer as seguintes analogias:

- \underline{P} → fonte de corrente constante
- $\underline{\theta}$ → vetor das tensões nodais
- \underline{B} → matriz admitância (condutância) nodal
- γ_j → condutância do ramo j (X_j - resistência)
- T_j → corrente elétrica do ramo j

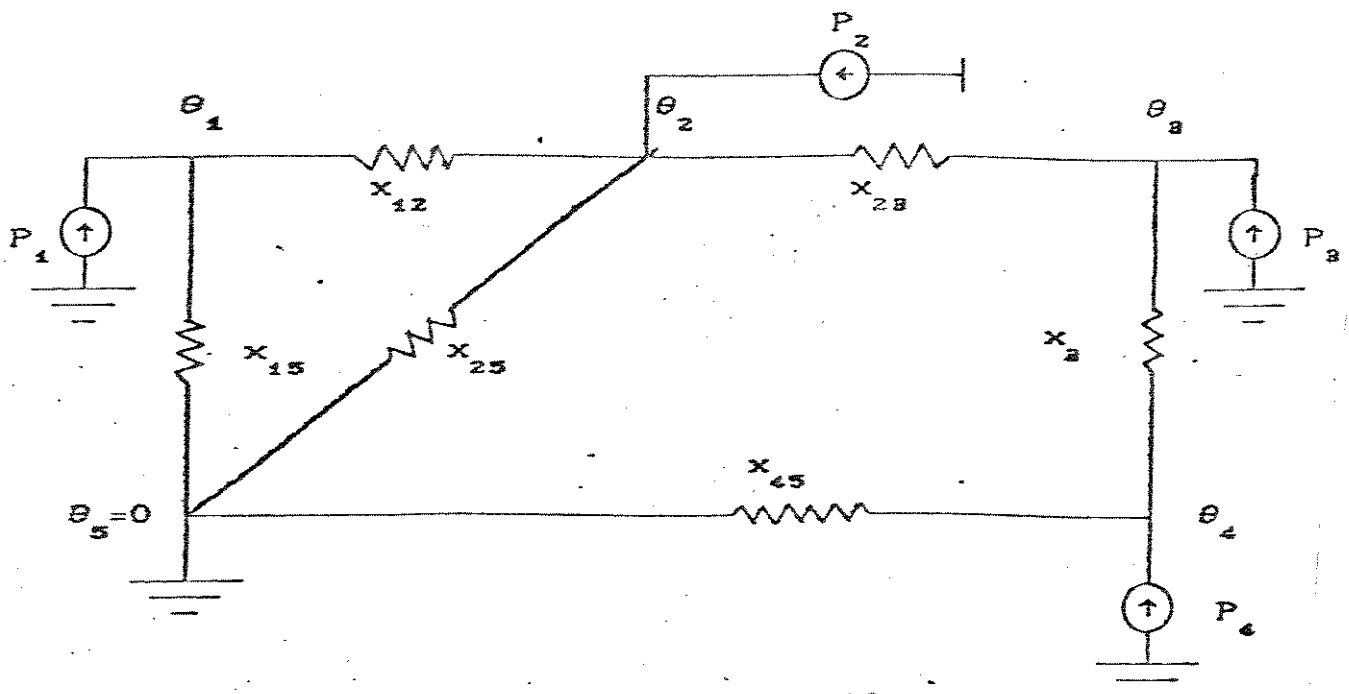


Figura 2.2 - Análogo DC do diagrama unifilar da fig. 2.1

O sistema de equações do fluxo de carga contém a propriedade de "mínimo esforço" [9], que é decorrência das leis de Kirchoff válidas para circuitos elétricos. A equação matricial (2.4) corresponde a estas duas leis escritas em conjunto. Num contexto mais geral, a partir da 1ª lei de Kirchoff, lei da conservação dos fluxos, e da propriedade de mínimo esforço, o problema pode ser formulado como um problema de otimização.

Considerando o exposto acima, o problema de mínimo esforço associado com a rede, é dado por:

$$\text{(CPME)} \quad \begin{cases} \text{Min } Z = \frac{1}{2} \underline{I}' \gamma_D^{-1} \underline{I} \\ \text{s. a } \underline{P} = A \underline{I} \end{cases} \quad (2.6)$$

A função lagrangeana associada ao problema acima é dada por

$$L(\underline{I}, \underline{\lambda}) = \frac{1}{2} \underline{I}' \gamma_D^{-1} \underline{I} + \underline{\lambda}' (\underline{P} - A \underline{I}) \quad (2.7)$$

As condições de otimalidade para o problema (2.7) são :

$$\begin{cases} \nabla_{\underline{I}} L = \gamma_D^{-1} \underline{I} - A' \underline{\lambda} = \underline{0} & \text{(a)} \\ \nabla_{\underline{\lambda}} L = \underline{P} - A \underline{I} = \underline{0} & \text{(b)} \end{cases} \quad (2.8)$$

Resolvendo-se o sistema (2.8) - obtém-se a solução ótima $(\underline{I}^* \text{ e } \underline{\lambda}^*)$ do problema, dada por:

$$\underline{I}^* = \gamma_D^{-1} A' \underline{\lambda} \quad (2.8.a)$$

$$\underline{\lambda}^* = (A \gamma_D^{-1} A')^{-1} \underline{P} = B^{-1} \underline{P} = \underline{\theta} \quad (2.8.b)$$

Observe que as equações acima são as mesmas do fluxo de carga linearizado DC [1].

Para melhor visualização das aproximações feitas ao longo deste capítulo, a figura abaixo representa as curvas $P \times \theta$ para os modelos de fluxo de carga DC e AC .

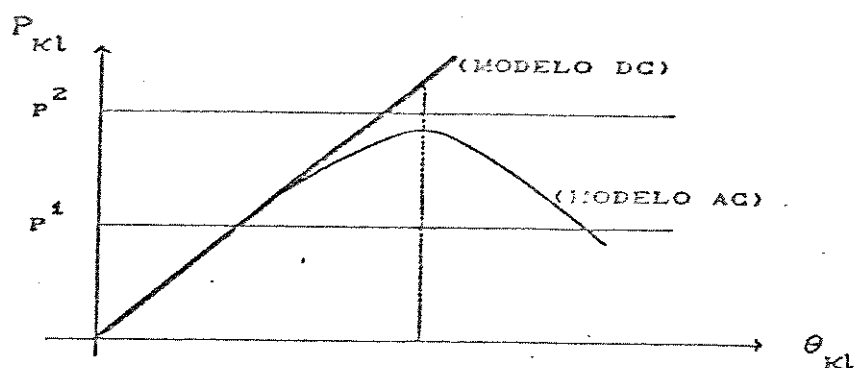


Figura 2.3 - Curvas $P \times \theta$ para os modelos DC e AC

Observe que para o nível de carga P^1 os dois modelos fornecem uma solução. Entretanto para um nível de carga P^2 mais elevado, apenas o modelo DC apesar de aproximado pode ser útil, pela idéia que o mesmo nos fornece de quanto a capacidade de transmissão da linha está sendo excedida. Através então de análises de sobrecarga é possível planejar o reforço necessário requerido pelo sistema.

Temos que, para cada injeção líquida de potência ativa P no sistema tem-se uma solução ótima do problema de mínimo esforço (PME). O PME é um problema convexo, e sua função objetivo é quadrática definida positiva. Podemos então concluir, que, minimizar o índice Z de mínimo esforço corresponde a minimizar as perdas na transmissão.

II.3 - O MODELO EXTRA DE SÍNTESE ESTÁTICA DE REDES [11]

O modelo EXTRA para auxílio ao planejamento a longo prazo da expansão da transmissão, é um problema de otimização que minimiza os custos de expansão da rede, sujeito a restrições de limites de transmissão e suprimento de carga.

Em sua formulação são considerados objetivos econômicos e de desempenho elétrico. A precisão do fluxo de potência é obtida, considerando-se implicitamente o fluxo de carga DC no modelo de otimização. É um problema não-linear de fluxo em redes, que necessita de técnicas matemáticas de programação inteira-mista.

Através de manipulações matemáticas, o problema original é transformado num problema mais simples de fluxo em redes com carga fixa, o que torna sua resolução bastante ágil.

O problema de carga fixa, por sua vez, é resolvido por uma técnica de enumeração implícita que gera uma árvore binária de decisão. Cada nó desta árvore representa uma realização do vetor de variáveis binárias (alternativas de decisões), apresentado na formulação de carga fixa. Uma árvore de enumeração por "Branch & Bound" é construída passo a passo, e para cada vértice da árvore são realizados testes de sondagem para avaliação das soluções propostas. Estes testes de sondagem utilizam-se de um limite inferior, o qual é obtido através da resolução do problema de carga fixa como um problema linear por partes, com as restrições de integralidade relaxadas. A aproximação linear por partes preserva as características de programação de fluxo em redes do problema original.

O maior avanço conseguido pelo programa EXTRA como rotina de síntese estática para auxílio ao planejamento a longo prazo, reside no fato dele incorporar em sua função objetivo

critérios elétricos e econômicos. Um índice de performance elétrica é adotado pelo modelo, estabelecendo-se uma equivalência conceitual entre este e os modelos clássicos de fluxo de carga DC, permitindo soluções de fluxo com aceitável precisão.

O modelo para síntese estática de redes aqui apresentado, é formulado como um problema matemático de otimização, cuja função objetivo a ser minimizada é uma combinação dos custos de instalação dos novos equipamentos e um índice de performance elétrica.

Na figura 2.4 temos a situação na qual as condições futuras de geração e carga são consideradas em conjunto com a configuração atual do sistema (rede).

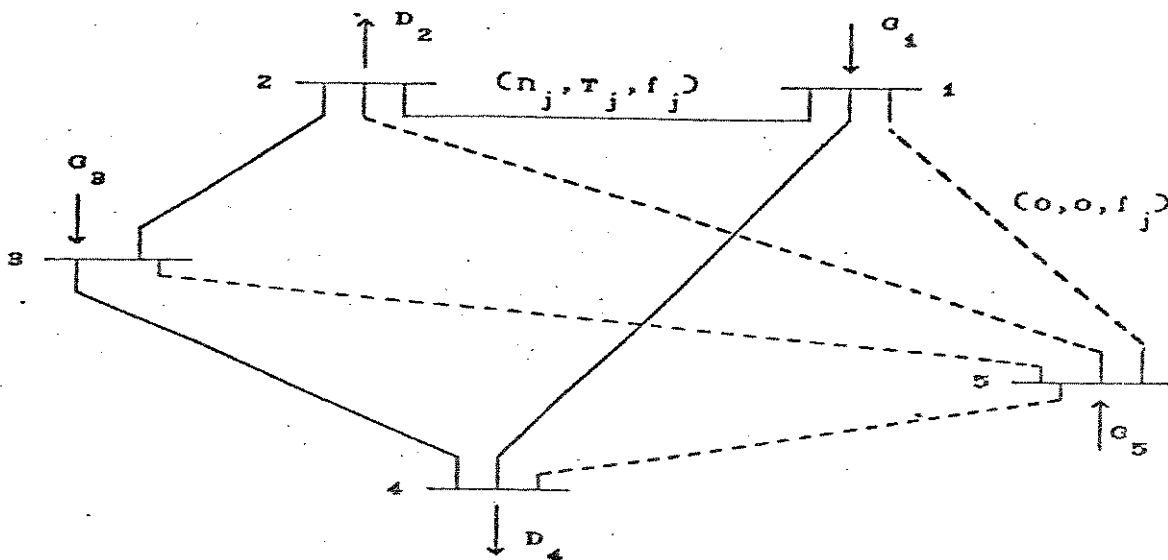


Figura 2.4 - Modelo de rede para síntese

Onde:

- G_i —> Potência gerada, entregue pela barra i
- D_i —> Demanda (carga) da barra i
- n_j —> N^o de linhas elétricas existentes no arco j
- T_j —> Fluxo de potência no arco j
- f_j —> Capacidade de cada ligação do arco j

A configuração da rede está associada com o vetor de variáveis \underline{n} . A capacidade de fluxo em cada arco é dada por

$$I_j^{\max}(\underline{n}) = n_j \bar{\gamma}_j$$

O problema da síntese estática de redes é formulado em [10,11] como :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{M i n} \\ \underline{z}, \underline{r}, \underline{n} \end{array} \right\} \left\{ \underline{z} \underline{h} + \underline{c} (\underline{n} - \underline{n}^o) + \sum_{j \in \Omega} \alpha_j \frac{1}{n_j \bar{\gamma}_j} I_j^2 \right.$$

S. a

$$\left. \begin{array}{ll} [A(\underline{n})] \underline{I} = \underline{P} & \text{(a)} \\ \underline{I} \leq \underline{I}^{\max}(\underline{n}) & \text{(b)} \\ \underline{n} \geq \underline{n}^o & \text{(c)} \\ \underline{z} \in \langle 0,1 \rangle & \text{(d)} \end{array} \right\} \quad (2.9)$$

Onde:

- \underline{z} \longrightarrow vetor de variáveis binárias de decisão
- \underline{h} \longrightarrow vetor dos custos fixos dos novos equipamentos
- \underline{c} \longrightarrow vetor dos custos unitários de instalação
- \underline{n}^o \longrightarrow configuração inicial da rede (período $t=0$)
- \underline{P} \longrightarrow vetor das injeções líquidas de potência
- \underline{I} \longrightarrow vetor dos fluxos de potência nos arcos
- Ω \longrightarrow conjunto de arcos do sistema (rede)
- A \longrightarrow matriz de incidência arco-nó
- $\bar{\gamma}_j$ \longrightarrow susceptância de cada linha elétrica do arco j
- α_j \longrightarrow fator de ponderação que transforma o índice de performance elétrica da linha em fator de custo.

As referências [10,11] fornecem maiores detalhes sobre o parâmetro α_j , explicando inclusive as possíveis maneiras de ajustá-lo. Neste trabalho é usado o mesmo ajuste feito pelo modelo Extra .

O problema (2.9) é um modelo de problema de programação não-linear inteiro misto, e pode ser resolvido por métodos matemáticos de otimização [4,8] eficientes existentes na literatura. Uma dificuldade apresentada por estes métodos para resolver problemas de grande proporção está no tempo computacional, que pode ser excessivamente longo. Entretanto esta dificuldade pode ser contornada, se algumas manipulações matemáticas forem feitas no problema (2.9), fazendo uso das particularidades de formulação do próprio problema. Como resultado tem-se um modelo de fluxo em redes de carga fixa, muito mais simples.

Considerando-se a função objetivo de (2.9) reescrita por

$$\sum_j F_j = \sum_j \left\{ Z_j h_j + C_j (n_j - n_j^0) + \alpha_j \frac{T_j^2}{n_j \gamma_j} \right\}, \quad j \in \Omega$$

e projetando-se o problema no espaço das variáveis (Z, T) , ou seja, resolvendo-o em \underline{n} [10,11] determina-se

$$H_j(Z_j, T_j) = F_j \Big|_{n_j = n_j^*}$$

que após algumas manipulações matemáticas, fornece

$$H_j(Z_j, T_j) = \begin{cases} Z_j h_j + \alpha_j \frac{T_j^2}{n_j \gamma_j} & \text{se } T_j \leq n_j^0 / \sqrt{C_j \gamma_j / \alpha_j} \\ Z_j h_j - C_j n_j^0 + 2 T_j \sqrt{C_j \alpha_j / \gamma_j} & \text{se } T_j \geq n_j^0 / \sqrt{C_j \gamma_j / \alpha_j} \end{cases}$$

O modelo de síntese estática (2.9) é finalmente aproximado pelo seguinte problema de carga fixa em redes

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{MIN}_{\underline{Z}, \underline{T}} \quad \sum_j H_j(Z_j, T_j) \\ \text{S. a.} \quad [A]\underline{T} = \underline{P} \\ \quad \quad Z_j \in \langle 0,1 \rangle \quad j \in \Omega \end{array} \right. \quad (2.10)$$

A solução do problema (2.10) nas variáveis T_j indica o número de linhas n_j que devem ser instaladas em cada ramo do sistema. A técnica de solução de (2.10) é descrita no próximo item. Outros problemas, por exemplo, como restabelecer o valor inteiro das variáveis n_j e a qualidade das aproximações também são discutidos em [10,11].

II.3.1- TÉCNICA DE SOLUÇÃO DO MODELO EXTRA

O problema (2.10) é um problema inteiro misto não-linear, com restrições que podem ser resolvidas por uma técnica de enumeração implícita. Esta técnica de otimização gera uma árvore binária de decisão, onde cada nó ou vértice da árvore representa uma realização do vetor \underline{Z} de variáveis inteiras. Para evitar a enumeração completa de todas as soluções possíveis (2^{nr} , com nr = número de ramos no sistema), são realizados testes de sondagem, que permitem a avaliação da solução proposta pelo vértice da árvore antes de enumerá-lo. Sondar um vértice é equivalente a não considerá-lo na procura para uma solução. Por conseguinte todos os vértices, na árvore, que são descendentes do vértice sob consideração, podem ser enumerados implicitamente.

Um teste clássico de sondagem utiliza-se de um limite inferior na função objetivo. Considere um vértice (ω) da árvore de decisão binária. Este vértice representa um subconjunto das soluções factíveis possíveis do problema. Assumindo que Z_a é uma destas soluções com valor ϕ_a , e que um limite inferior ϕ_l é obtido por algum método para todas soluções do subconjunto. Se $\phi_l \geq \phi_a$, então o vértice (ω) é sondado e todas as soluções associadas com ele ou não são ótimas, ou no mínimo não são melhores que a melhor solução conhecida. Se por outro lado, $\phi_l < \phi_a$, então o vértice (ω) não pode ser enumerado implicitamente e a procura deve avançar para o próximo nível da árvore. A eficiência de um método de enumeração implícita depende de dois fatores:

1- ESTRUTURA DE DADOS DO PROBLEMA

se a função objetivo é muito sensível a trocas nos valores das variáveis binárias de decisão, então o limite para teste poderá ser eficiente e o método convergirá rapidamente. Se existirem muitas soluções próximas do ótimo então o teste de sondagem não será tão eficiente.

2- QUALIDADE DO LIMITE INFERIOR

o objetivo aqui é obter um bom limite inferior, sem esforço computacional considerável. Se isto não for possível, deve-se então procurar estabelecer um compromisso entre "qualidade" do limite e eficiência computacional.

O primeiro passo para se determinar um limite inferior de boa qualidade para a função objetivo de (2.10) é linearizá-la por partes. O processo de obtenção do limite inferior é descrito em [11].

Uma vez que o limite inferior é conhecido, o problema (2.10) pode ser solucionado por um algoritmo de enumeração implícita, tal que uma árvore de enumeração por branch and bound é construída passo a passo, e para cada vértice da árvore testes de sondagem são feitos para avaliar as soluções propostas. A qualidade do limite inferior utilizado pelo algoritmo de branch and bound foi estabelecida após inúmeras experiências computacionais.

II.3.2 - ANÁLISE DO MODELO EXTRA

Foram realizados testes com redes do sistema brasileiro e comparações com os resultados obtidos com o programa SINTRA. A comparação baseou-se em tempo computacional gasto pelos dois modelos e custos de expansão obtidos para três casos analisados. Observou-se que o modelo EXTRA consegue soluções iguais ou melhores que o programa Sintra, com menores custos computacionais.

Outra conclusão importante a cerca do modelo é a metodologia proposta para escolha dos parâmetros α_j [11]. A adoção do mesmo valor para todos os arcos resultou em soluções de fluxo idênticas ao fluxo de carga DC, porém não muito econômicas.

As equações do fluxo de carga são colocadas como restrições do modelo e a adoção de um índice de performance elétrica permite estabelecer uma equivalência conceitual entre este modelo e o modelo de fluxo de carga DC. Isto possibilita obter soluções de fluxo que satisfazem as leis de Kirchoff.

O modelo pode ainda especificar os novos equipamentos a serem adquiridos para o sistema (linhas e transformadores), e o número de ligações elétricas necessárias em cada arco.

Concluindo, o modelo EXTRA de síntese estática de redes de transmissão é, neste trabalho, usado eficientemente como rotina estática para auxílio ao problema dinâmico de expansão da transmissão.

CAPÍTULO III

O MODELO DE SÍNTESE DINÂMICA PROPOSTO

III.1 - INTRODUÇÃO:

A síntese dinâmica para o planejamento a longo prazo da transmissão tem por objetivo encontrar alternativas de expansão ao longo do tempo até o ano horizonte. O modelo proposto trata o problema de forma hierárquica e faz uso de decomposição temporal, utilizando como rotina básica o modelo EXTRA de síntese estática.

Considere o problema da transmissão de energia. Uma rede pode ser definida com os nós representando os locais de geração e/ou demanda e os arcos representando as rotas pelas quais o fluxo de potência deve ser transportado. Os arcos e nós de geração têm limites de capacidade que podem ser expandidos através de investimentos, de forma a suprir a demanda crescente.

Assumindo-se que a demanda seja conhecida para os períodos de tempo t_1, t_2, \dots, t_p , o problema de determinar a expansão da capacidade de transmissão da rede é estabelecer os locais, a quantidade de equipamentos, e a época em que os mesmos devem ser instalados. Este planejamento deve ser feito de forma a minimizar o custo total de investimento, transporte de energia e operação do sistema, obedecendo a critérios mínimos de desempenho e confiabilidade.

III.2 - FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Vimos no capítulo anterior que o modelo EXTRA de síntese estática (2.9) pode ser reduzido a um problema de carga fixa cuja solução é bastante eficiente [7].

Como o objeto em estudo é o planejamento a longo prazo, podemos pensar em alguma maneira de discretizar o problema (2.9) no tempo e estabelecer alternativas ótimas de expansão das redes de transmissão. Isto é possível impondo ao problema (2.9) a restrição de, uma vez instalado um equipamento no período t , a solução para o período $t+1$ deve incluir todos os equipamentos já instalados nos períodos anteriores. Neste trabalho isto é equivalente a escrever $\underline{n}^{t-1} - \underline{n}^t \leq 0$. Uma vez que a função objetivo de (2.9) é convexa (quadrática, com restrições lineares), o ótimo global será a soma dos ótimos de cada período t do planejamento.

A partir de (2.9) podemos então formular o problema de síntese dinâmica, onde os períodos de planejamento são representados pelos índices t nas variáveis, como dado a seguir:

$$(3.1) \left\{ \begin{array}{ll} \phi = \text{MIN}_{\underline{z}, \underline{n}, \underline{T}} \sum_{t=1}^p \left\{ \underline{z}^t \underline{n}^t + \underline{c}^t (\underline{n}^t - \underline{n}^{t-1}) + \sum_j \alpha_j \frac{1}{n_j^t \gamma_j^t} (T_j^t)^2 \right\} & \\ \text{S. a.} & \\ [A^t] \underline{T}^t = \underline{P}^t & t=1, 2, \dots, p \quad (r1) \\ \underline{T}^t \leq \underline{T}^t(\underline{n})_{\text{max}} & t=1, 2, \dots, p \quad (r2) \\ \underline{z}^t \in \langle 0, 1 \rangle & t=1, 2, \dots, p \quad (r3) \\ \underline{n}^t \text{ inteiro} & t=1, 2, \dots, p \quad (r4) \\ \underline{n}^{t-1} - \underline{n}^t \leq 0 & t=1, 2, \dots, p \quad (r5) \end{array} \right.$$

Onde:

- [A] - matriz de incidência nó-arco
- \underline{I} - vetor dos fluxos de potência dos arcos
- \underline{P} - vetor de potência líquida injetada
- $\underline{I}_{(n)max}$ - vetor dos fluxos máximo de potência nos arcos
- \underline{h} - vetor dos custos fixos dos novos equipamentos
- \underline{Z} - vetor das variáveis binárias de decisão
- \underline{C} - vetor dos custos unitários dos novos equipamentos
- \underline{n}^t - configuração da rede para o período t da síntese
- $\bar{\gamma}$ - susceptância de cada linha de transmissão do arco
- α - fator de transformação do índice elétrico em custos
- Ω - conjunto de arcos do sistema
- t - índice que denota o período de discretização
- p - número de períodos discretizados

Os custos dos equipamentos para os períodos $t=1,2,\dots,p$ são supostos corrigidos para "valor presente".

Na formulação matemática apresentada, a função objetivo é uma combinação dos custos de instalação dos equipamentos, custos de compra e custo de desempenho elétrico. A conservação do fluxo é garantida pela restrição (r1), os limites de capacidade nos arcos são definidos pela restrição (r2), e a restrição (r3) serve para garantir que uma vez instalado um equipamento, a capacidade instalada não diminui com o tempo.

III.3 - DECOMPOSIÇÃO VIA RELAXAÇÃO LAGRANGEANA

O problema da síntese dinâmica como formulado em (3.1) é completamente separável em t , a menos das restrições (r5). Note que abstraído-se as restrições (r5) o problema se transforma em p problemas independentes de síntese estática, que podem ser eficientemente solucionados pelo EXTRA.

A fim de induzir separabilidade a (3.1) vamos aplicar a técnica de Relaxação Lagrangeana, associando um conjunto de vetores não negativos de multiplicadores $\underline{\lambda} = (\underline{\lambda}^1, \underline{\lambda}^2, \dots, \underline{\lambda}^p)$ a cada restrição (r5) e definindo o problema Lagrangeano abaixo [3]

$$(3.2) \left\{ \begin{array}{l} \phi_D(\underline{\lambda}) = \text{MIN} \sum_{t=1}^p \left\{ \underline{z}^t \underline{h}^t + \underline{c}^t (\underline{n}^t - \underline{n}^{t-1}) + \sum_j \alpha_j \frac{(T_j^t)^2}{n_j^t \gamma_j^t} + \underline{\lambda}^t (\underline{n}^{t-1} - \underline{n}^t) \right\} \\ \text{S. a.} \quad (r1) - (r4) \\ \underline{\lambda}^t \geq \underline{0} \quad t=1, 2, \dots, p \end{array} \right.$$

Podemos simplificar a formulação dada, agrupando os termos em t e colocando \underline{n}^t em evidência, de forma que o problema Lagrangeano (3.2) possa ser escrito por:

$$(3.3) \left\{ \begin{array}{l} \phi_D(\underline{\lambda}) = \text{MIN} \sum_{t=1}^p \left\{ \underline{z}^t \underline{h}^t + \underline{n}^t (\underline{c}^t - \underline{c}^{t+1} - \underline{\lambda}^t + \underline{\lambda}^{t+1}) + \sum_j \alpha_j^t \frac{(T_j^t)^2}{n_j^t \gamma_j^t} + \underline{n}^0 (\underline{c}^1 + \underline{\lambda}^1) \right\} \\ \text{S. a.} \quad (r1) - (r4) \\ \underline{\lambda}^t \geq \underline{0} \quad t = 1, 2, \dots, p \end{array} \right.$$

impõe-se a (3.3) que

$$\underline{c}^{p+1} = \underline{\lambda}^{p+1} = \underline{0}$$

O termo $\underline{n}^0(\underline{c}^1 + \underline{\lambda}^1)$ é constante e pode ser eliminado pois não influi na solução de (3.3).

Note que para $\underline{\lambda}$ fixo o problema (3.3) se decompõe em p problemas independentes de síntese estática.

Uma importante propriedade do problema Lagrangeano é que ele fornece um limitante inferior para o problema original (3.1), ou seja, garante que $\phi_D(\underline{\lambda}) \leq \phi$.

O problema então é procurar encontrar $\underline{\lambda}$ tal que $\phi_D(\underline{\lambda}) = \phi$. Não se garante que tal $\underline{\lambda}$ exista (situação que caracteriza o chamado "gap" de dualidade) mas inúmeras aplicações bem sucedidas do método o apontam como forma eficiente de resolução de determinados problemas.

Formalmente, busca-se a solução do chamado problema dual

$$\phi_D = \max_{\underline{\lambda} \geq \underline{0}} \phi_D(\underline{\lambda}) \quad (3.4)$$

O problema dual tem importantes propriedades que facilitam sua resolução. Prova-se que a função $\phi_D(\underline{\lambda})$ é côncava e linear por partes, além de ser contínua, o que aponta para métodos do tipo subida (hill-climbing) para solucionar (3.4).

Porém, não se garante diferenciabilidade para $\phi_D(\underline{\lambda})$ em $\bar{\underline{\lambda}}$ quando a solução de (3.3) para $\underline{\lambda} = \bar{\underline{\lambda}}$ fornece soluções múltiplas, o que geralmente ocorre na solução ótima de (3.4).

É possível, porém, aproveitar as propriedades de subdiferenciabilidade de $\phi_D(\underline{\lambda})$. Prova-se que ela é subdiferenciável em qualquer $\underline{\lambda} \geq \underline{0}$ e que a restrição $(\underline{n}^{t-1} - \underline{n}^t)$ é um subgradiente de $\phi_D(\underline{\lambda})$ em $\underline{\lambda}$, onde \underline{n}^{t-1} e \underline{n}^t são soluções de (3.3) para $\underline{\lambda} = \underline{\lambda}$.

Um dos métodos mais usados para solução do problema dual é o método do subgradiente. Ele é uma adaptação do clássico método do gradiente ótimo, onde os gradientes são substituídos por subgradientes dentro de um processo iterativo que busca a maximização de $\phi_D(\underline{\lambda})$. Escolhido um valor inicial $\underline{\lambda}_0$, constrói-se uma sequência $\{\underline{\lambda}_k\}$ através da regra

$$\underline{\lambda}_{k+1} = \underline{\lambda}_k + \pi_k \underline{S}_k \quad (3.5)$$

onde $\underline{S}_k = \underline{n}_k^{t-1} - \underline{n}_k^t$ é um subgradiente de $\phi_D(\underline{\lambda})$
 π_k escalar que define o tamanho do passo.

O resultado teórico fundamental do método dos subgradientes [6] é que

$$\phi_D(\underline{\lambda}_k) \rightarrow \phi \quad \text{se } \pi_k \rightarrow 0$$

e

$$\sum_{i=0}^k \pi_i \rightarrow \infty$$

porém, em geral se utilizam regras empíricas para atualização do passo. Neste trabalho utilizamos aquela sugerida em [6]

$$\pi_k = \frac{\beta_k (\phi^* - \phi_D(\underline{\lambda}_k))}{\|\underline{S}_k\|^2}$$

onde β_k é um escalar que satisfaz $0 \leq \beta_k \leq 2$ e ϕ^* é um limitante superior de ϕ_D . A sequência de escolhas de β_k é construída tomando $\beta_0 = 2$ e ir tomando sua metade a cada p iterações de subgradientes. Um enfoque alternativo seria ir tomando sua metade sempre que $\phi_D(\lambda)$ não aumentar por um determinado número de iterações.

III.4 - ALGORITMO PARA SÍNTESE DINÂMICA

O método apresentado na seção anterior para resolução do problema de síntese dinâmica constitui-se um procedimento iterativo em 2 níveis hierárquicos conforme ilustra a figura (3.1).

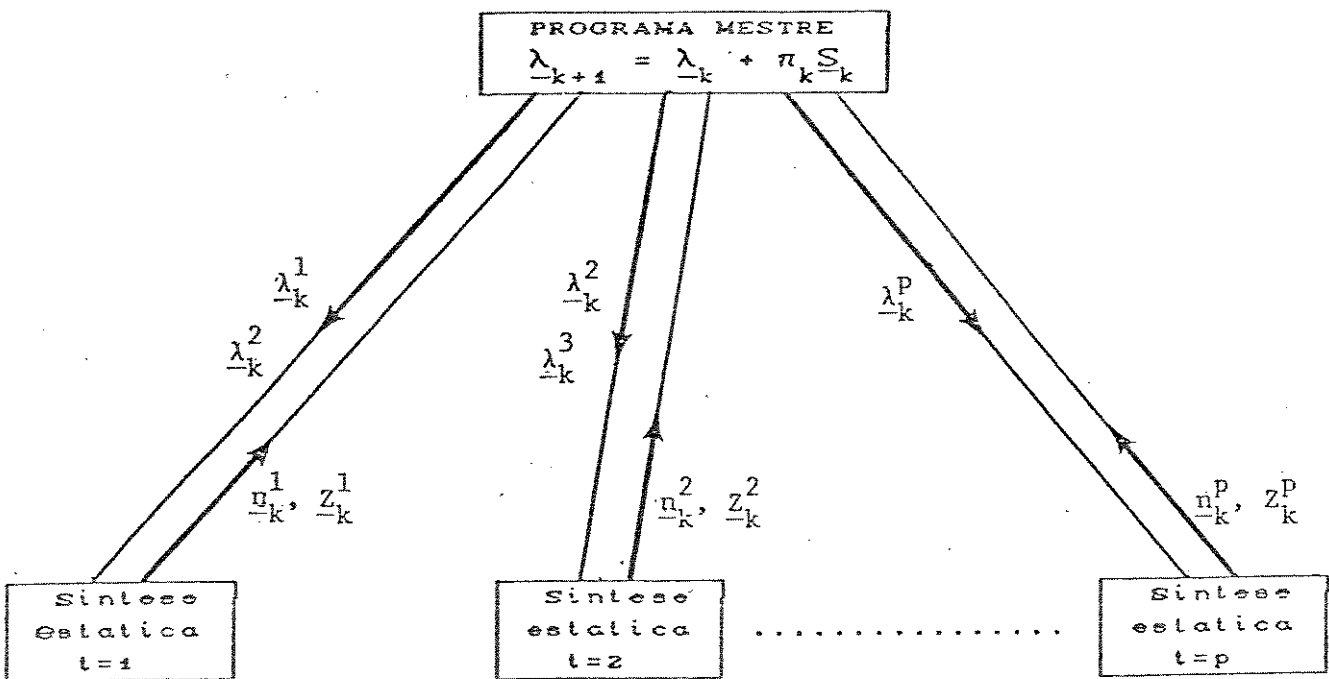


Fig. 3.1 - Metodologia de Decomposição

No nível superior situa-se um programa mestre que supre multiplicadores de Lagrange a um nível inferior, que soluciona os p problemas independentes de síntese estática, que por sua vez remetem suas soluções para o nível superior recalculam novos multiplicadores através da regra (3.5).

Este procedimento iterativo deve prosseguir até $\phi_D(\underline{\lambda}) = \phi$ ou por um número fixo de iterações, caso não ocorra convergência. Neste caso estaremos de posse de uma solução não factível e por isso não implementável. No capítulo IV é apresentada uma maneira heurística de se atingir factibilidade.

Formalmente o algoritmo para síntese dinâmica é o seguinte:

PASSO 1 : Inicialização

- $k = 0$;

-inicialize convenientemente os multiplicadores de Lagrange. Uma escolha possível é tomar $\underline{\lambda}_0 = \underline{0}$;

PASSO 2 : Síntese estática

-Resolva os p problemas de síntese estática;

-SE o nº de iterações é suficiente, vá para o passo 4;

-Remeta suas soluções ótimas \underline{n}_k^t , $t=1,2,\dots,p$ para o nível superior;

PASSO 3 : Programa mestre

-Compute $\underline{S}_k^t = \underline{n}_k^{t-1} - \underline{n}_k^t$ $t=1,2,\dots,p$;

-SE $\underline{S}_k^t \leq 0$ $t=1,2,\dots,p$ vá para o passo 4;

-Senão, compute $\underline{\lambda}_{k+1}^t = \underline{\lambda}_k^t + \pi_k \underline{S}_k^t$, $t=1,2,\dots,p$;

-SE $\lambda_{-k+1} \notin \mathbb{R}_p^+$ \Rightarrow projetar λ_{-k+1} no \mathbb{R}_p^+ ;

-Remeta os multiplicadores λ_{-k+1}^t para o nível inferior;

-Faça $k=k+1$ e volte ao passo 2

PASSO 4 : -Fim.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS COMPUTACIONAIS

IV.1 - INTRODUÇÃO:

Neste capítulo são apresentados os resultados da aplicação do programa de síntese dinâmica em uma rede hipotética e nos sistemas brasileiros SUL e NORTE/NORDESTE.

IV.2 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Inicialmente, o método de síntese dinâmica é aplicado a uma pequena rede hipotética a título de ilustração. A rede foi escolhida de forma que as gerações e demandas sofrem poucas alterações de um período para o outro. Desta forma os resultados obtidos pela síntese dinâmica devem estar muito próximos daqueles obtidos pela aplicação de um procedimento estático para cada período do planejamento.

A rede usada para testes, dada pela figura 4.1, tem as seguintes características:

- 6 barras (nós), sendo que 5 estão interligadas na configuração inicial;
- Apenas um nível de tensão;
- 15 arcos, sendo 6 da configuração inicial e 9 possíveis novas expansões.

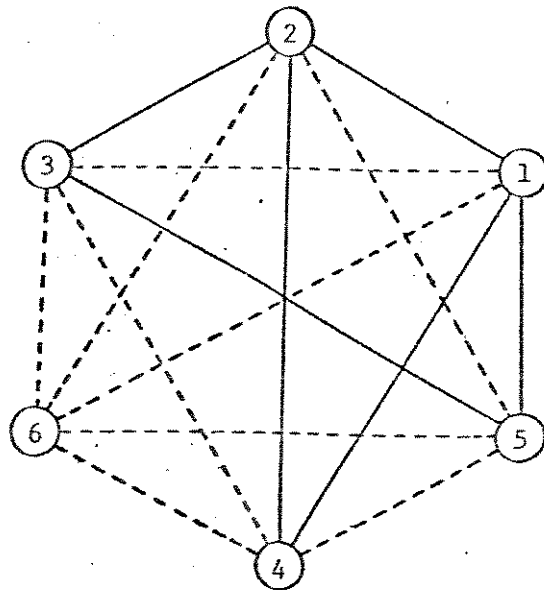


Figura 4.1 - Rede hipotética usada para testes

A cada arco da rede inicial podem estar associados uma ou mais linhas (circuitos). Assim, a capacidade dos arcos da configuração inicial da rede pode ser expandida através de investimentos para ampliação do número de linhas (links) de cada arco.

Cada vez que é adicionado um novo arco na configuração inicial da rede, um custo fixo de instalação é associado com a variável binária de decisão Z_j do arco j em questão.

As expansões de capacidade dos arcos estão associadas com as variáveis n (n° de linhas nos arcos), descritas no modelo matemático. A capacidade máxima de transmissão das ligações em cada arco é conhecida.

De uma maneira geral, alguns dados são fundamentais para a caracterização do problema. Por exemplo: quais nós representam as gerações e quais representam os centros de demanda; o sentido do fluxo nos arcos (nó origem e nó destino), os custos de instalação de cada linha de transmissão a cada período; o n° de linhas existentes inicialmente nos arcos; a reatância de cada ligação e o plano de expansão da geração prevista para cada período t ($t=1,2,\dots,p$) do planejamento.

Estes dados, mostrados nas tabelas IV.1 e IV.2, podem ser classificados em dois tipos, embora formem um único banco de dados. O primeiro tipo diz respeito aos dados de nós; identificam os nós quanto a geração/demanda, e são dados fornecidos pelo planejamento de expansão da geração. O sinal negativo indica ser uma demanda. O segundo tipo, dados de arcos, diz respeito às características físicas, operacionais e econômicas dos arcos.

| NÓ | PREVISÃO DE EXPANSÃO DA GERAÇÃO E DEMANDA | | | |
|----|---|------|------|------|
| | t=1 | t=2 | t=3 | t=4 |
| 1 | -30 | -30 | -100 | -150 |
| 2 | -240 | -280 | -320 | -345 |
| 3 | 125 | 230 | 330 | 310 |
| 4 | -160 | -215 | -260 | -305 |
| 5 | -240 | -300 | -335 | -350 |
| 6 | 545 | 625 | 725 | 860 |

Tabela IV.1 - DADOS DE NÓS

| ARCO | NÓ ORIGEM | NÓ DESTINO | CUSTO POR LINK | REATANCIA POR LINK | LINHAS INICIAIS | FLUXO MÁXIMO/LINK |
|------|-----------|------------|----------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| 1 | 1 | 2 | 40.00 | 0.40 | 1 | 100 |
| 2 | 2 | 3 | 20.00 | 0.20 | 1 | 100 |
| 3 | 1 | 4 | 60.00 | 0.60 | 1 | 80 |
| 4 | 1 | 5 | 20.00 | 0.20 | 1 | 100 |
| 5 | 2 | 4 | 40.00 | 0.40 | 1 | 100 |
| 6 | 3 | 5 | 20.00 | 0.20 | 1 | 100 |
| 7 | 1 | 6 | 68.00 | 0.68 | 0 | 70 |
| 8 | 2 | 5 | 31.00 | 0.31 | 0 | 100 |
| 9 | 2 | 6 | 30.00 | 0.30 | 0 | 100 |
| 10 | 3 | 4 | 59.00 | 0.59 | 0 | 82 |
| 11 | 1 | 3 | 38.00 | 0.38 | 0 | 100 |
| 12 | 3 | 6 | 48.00 | 0.48 | 0 | 100 |
| 13 | 4 | 5 | 63.00 | 0.63 | 0 | 75 |
| 14 | 4 | 6 | 30.00 | 0.30 | 0 | 100 |
| 15 | 5 | 6 | 61.00 | 0.61 | 0 | 78 |

Tabela IV.2 - DADOS DE ARCOS

- ALGORITMO DO MODELO DINAMICO

O algoritmo do processo automático de cálculos desenvolvido para planejamento da expansão da transmissão dado no capítulo anterior consiste basicamente dos seguintes passos:

PASSO 1 - Leitura dos dados de entrada;

PASSO 2 - Inicializar os multiplicadores de Lagrange e calcular a Matriz Valor Presente dos custos de investimentos;

PASSO 3 - Resolver os problemas de síntese estática decompostos. Armazenar as soluções estáticas obtidas;

PASSO 4 - Avaliar as soluções pelo método de subgradientes:

SE as soluções satisfizerem as restrições impostas pelo modelo, ENTÃO vá para o passo 5;

Caso contrário atualize os multiplicadores de Lagrange e volte ao passo 3;

PASSO 5 - Escrever um relatório de dados da solução encontrada;

PASSO 6 - Pare o Processo.

A avaliação de subgradientes feita no passo 4 consiste em verificar a satisfação da restrição $n_j^{t+1} - n_j^t \geq 0$. Caso a restrição não seja satisfeita, os multiplicadores (λ) de Lagrange são alterados e nova iteração terá início, com a matriz de custos dos arcos alterada pelos respectivos valores de (λ). O resultado da execução deste algoritmo é um plano de expansão para a rede testada até o ano horizonte, conforme o relatório de saída de dados da síntese dado pela tabela IV.3. Este deve especificar as alterações de fluxo nos arcos ao longo do tempo conforme as novas configurações de expansão são ativadas, a quantidade de equipamentos a serem adquiridos, especificando-se datas e locais, além de fornecer informações a respeito dos custos de investimentos necessários para se realizar as expansões.

O relatório de saída apresentado é naturalmente uma simplificação. O modelo fornece outras informações como por exemplo as novas injeções líquidas de potência requeridas a cada período da síntese, caso sejam necessárias. Entretanto para efeito de estudos de planejamento a longo prazo são considerados basicamente a instalação de linhas de Transmissão e de Transformadores de tensão. Estes, são representados no modelo por ligações entre barras de diferentes níveis de tensão.

| S Í N T E S E D I N A M I C A | | | | | | | | | |
|--|-----|---------|--------|---------|---|-----|-------|-----|-------|
| 14 ITERAÇÕES | | | | | VALOR DUAL = 104.4635 CUSTO APROX = 104.4531 | | | | |
| ADIÇÕES NOS PERÍODOS E FLUXOS NOS ARCOS | | | | | | | | | |
| ARCO | NLI | T=1 | FLUXO | T=2 | FLUXO | T=3 | FLUXO | T=4 | FLUXO |
| 1 | 1 | 0 | 53 | 0 | 20 | 0 | 40 | 0 | 20 |
| 2 | 1 | 0 | 90 | 0 | 81 | 1 | 129 | 0 | 183 |
| 3 | 1 | 0 | 28 | 0 | 32 | 0 | 32 | 0 | 32 |
| 4 | 1 | 2 | 205 | 0 | 239 | 0 | 134 | 0 | 223 |
| 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 31 | 0 | 40 |
| 6 | 1 | 0 | 35 | 0 | 61 | 1 | 201 | 0 | 127 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 1 | 97 | 2 | 199 | 0 | 182 | 0 | 182 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 2 | 132 | 0 | 163 | 0 | 197 | 1 | 233 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CUSTOS ELÉTRICOS E DE EQUIPAMENTOS | | | | | | | | | |
| | | t = 1 | t = 2 | t = 3 | t = 4 | | | | |
| CELE (t) = | | 24.605 | 14.52 | 16.9163 | 15.7569 | | | | |
| CLIN (t) = | | 13.2364 | 4.5124 | 6.837 | 8.08 | | | | |

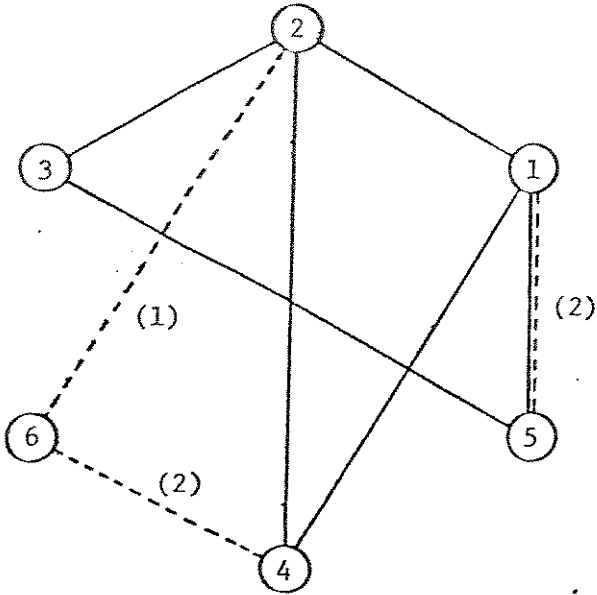
Tabela IV.3 - RELATÓRIO DE SAÍDA DA SÍNTESE

Onde:

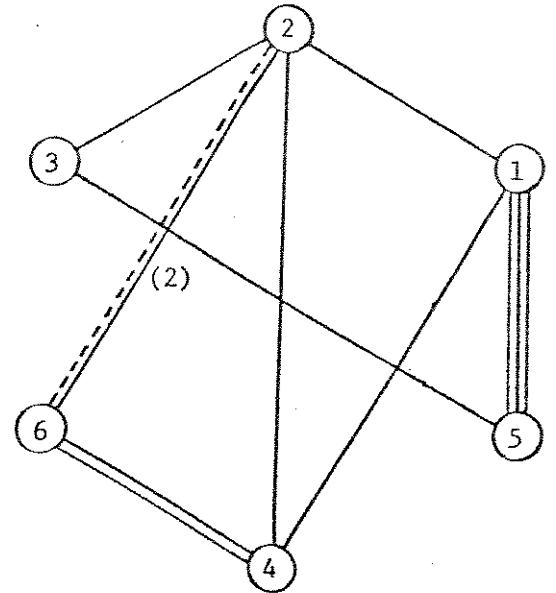
- NLI - n^o de ligações da configuração inicial
- t=i - adições previstas para o período t=i
- FLUXO - fluxo de potência total do arco p/ período t
- CELE(t) - Custo de transporte de fluxo de potência p/ cada período t.
- CLIN(t) - Custos relacionados com as decisões de expansões.

A figura 4.2 apresenta as configurações de expansão ao longo de 4 períodos até o ano horizonte da rede hipotética testada.

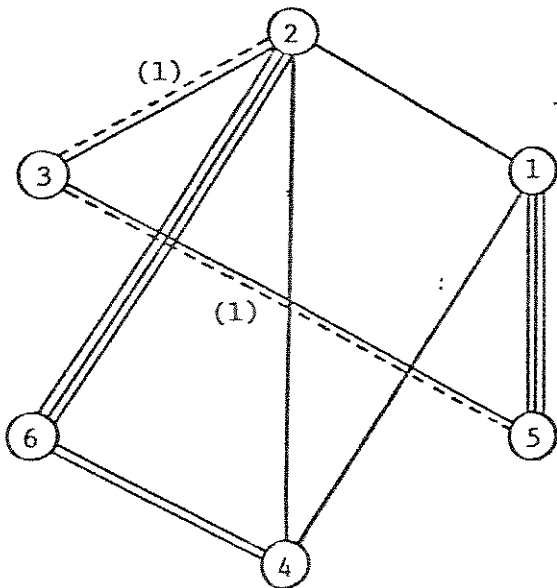
Período $t=1$



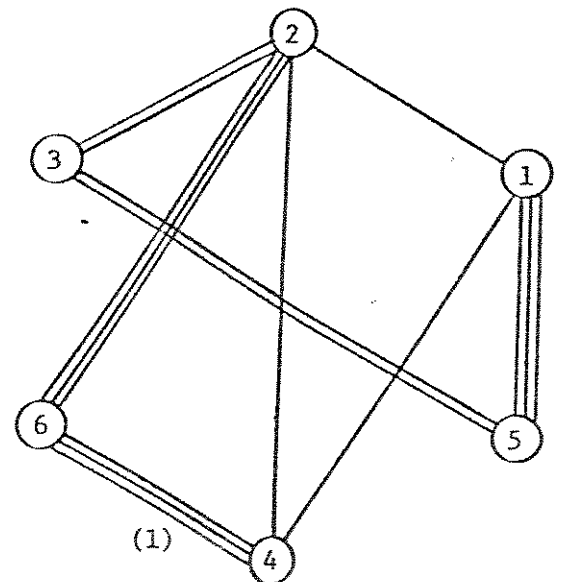
Período $t=2$



Período $t=3$



Período $t=4$



— Rede inicial
 --- Ligações possíveis
 (.) N° de ligações adicionadas

Fig. 4.2 - Configurações de expansão para rede hipotética

CUSTO TOTAL DE EXPANSÃO = 104.46350
TEMPO DE CPU = 0.52 Segundos

Para redes não balanceadas, onde a geração total é diferente da demanda total, o relatório de saída deve ser analisado em conjunto com o relatório das novas injeções líquidas de potência definidas pelo modelo.

As configurações não incluem os arcos candidatos para tornar a figura mais legível, mas pelos dados de arcos, é possível instalar ligação entre todas as barras. Como esta rede possui apenas um nível de tensão e as características dos arcos são muito semelhantes, as soluções não apresentam diferenças muito significativas quanto às decisões de implementação nos períodos, conforme era esperado.

IV.3 - SÍNTESE DE REDES DO SISTEMA BRASILEIRO DE TRANSMISSÃO

Os dados utilizados para testes das redes do sistema brasileiro encontram-se atualmente ultrapassados, mas por se tratar de dados reais dos sistemas, para efeitos de comprovação da metodologia proposta os mesmos satisfazem os objetivos pretendidos. Os relatórios de saída de dados destas redes, com as expansões previstas a cada período e os custos de expansão estão em anexo.

- A REDE SUL

Os dados da configuração inicial do sistema são relativos ao ano base de 1980, e a síntese é feita para os períodos de 1987, 1988, 1989 e 1990. A escolha destes anos para o processo de síntese dinâmica foi baseada em que exatamente nestes períodos a rede apresentou alterações mais significativas do plano de expansão da geração.

CARACTERÍSTICAS DA REDE

- 46 barras (35 destas já interligadas na configuração inicial);
- 78 arcos, dos quais 31 não pertencem a configuração inicial;
- 2 níveis de tensão: 230 e 500 KV;
- períodos de síntese: 1987, 1988, 1989 e 1990.

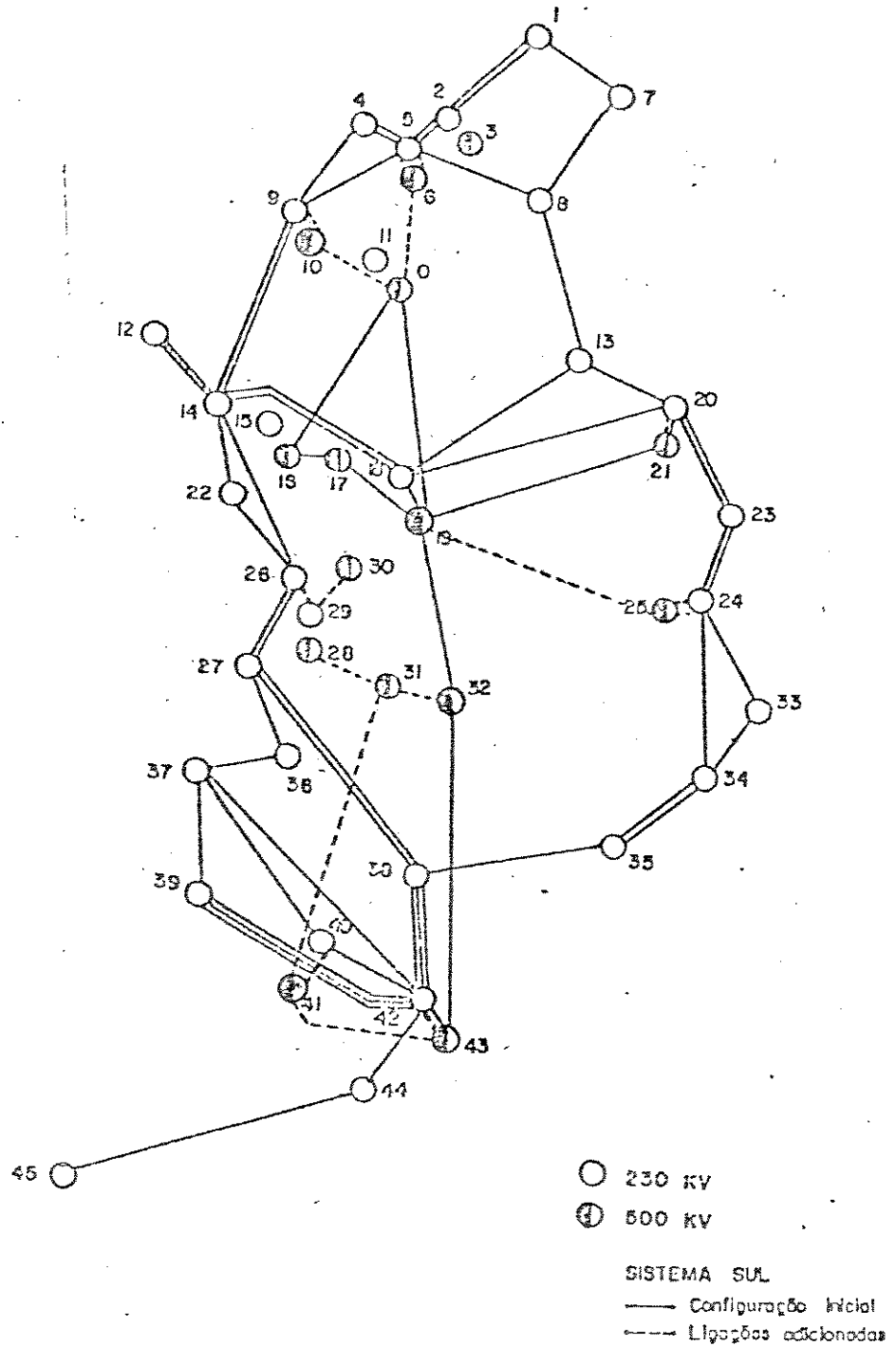


Figura 4.3 - Solução de Síntese dinâmica - SISTEMA SUL

Os resultados obtidos, dados pela figura 4.3, não apresentaram sobrecarga em nenhum arco para qualquer um dos períodos e a solução ótima de síntese foi conseguida em:

- 61 iterações de subgradientes
- 5.37 minutos de CPU.
- Custo de expansão = US\$ 431.302 x 10³

- A REDE NORTE-NORDESTE

O processo de síntese deste sistema é um pouco mais complexo que para o sistema Sul, devido ao número de expansões possíveis ser bem maior.

Os dados usados no processo de síntese desta rede são relativos ao ano base de 1980, e a síntese é feita para os anos de 1990, 1996, 2002 e 2008.

CARACTERÍSTICAS DA REDE

- 87 barras, com 51 destas já interligadas na configuração inicial;
- 182 arcos, dos quais 114 não pertencem a configuração inicial;
- 3 níveis de tensão: 230 KV, 525 KV e 1050 KV.
- períodos de síntese : 1990, 1996, 2002 e 2008

Na figura 4.4 temos a solução de síntese dinâmica da rede Norte-Nordeste. Dado a impossibilidade de ser mostrado as expansões ao longo dos períodos em um único diagrama, optamos por simplesmente indicar os arcos que sofreram expansões através do processo dinâmico de síntese. O número de ligações em cada arco também não é apresentado para tornar a figura legível. A indicação dos arcos que não pertenciam a configuração inicial e foram

escolhidos para expansão, juntamente com o relatório de saída de dados da síntese, permite-nos verificar os "caminhos" e níveis de tensão escolhidos pelo programa a cada período da síntese.

Os resultados obtidos foram:

- 53 iterações de subgradientes;
- 12.89 minutos de CPU;
- Custo de expansão = US\$ $5,9 \times 10^6$

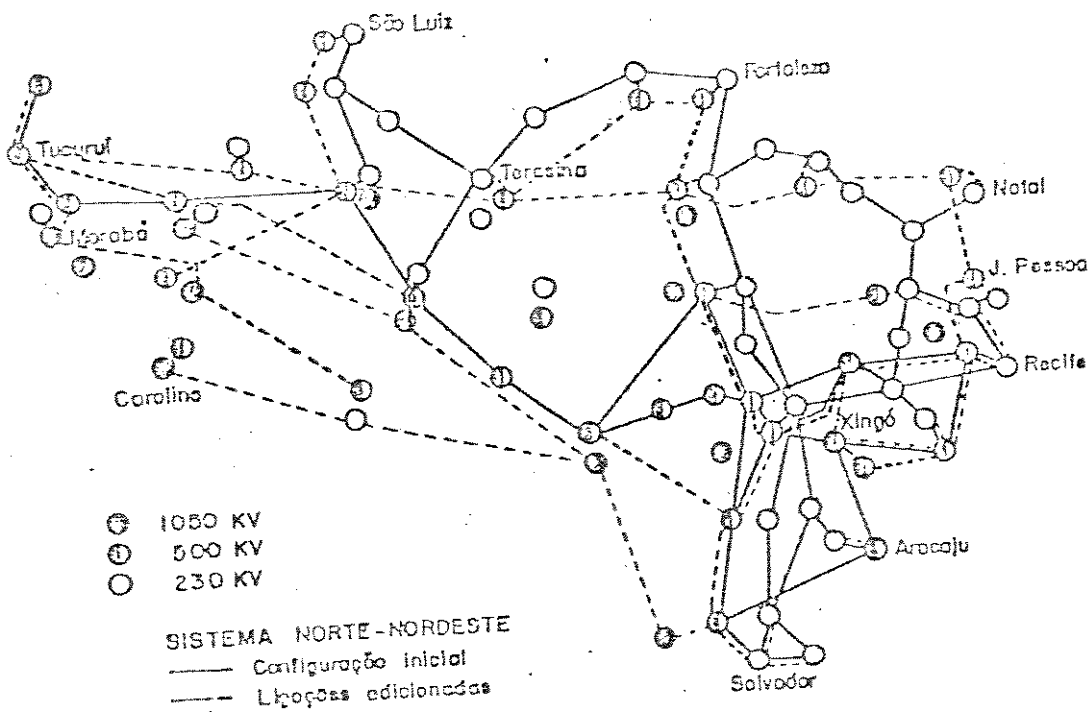


Figura 4.4 - Resultado de síntese - Norte/Nordeste

 SINTESI DYNAMICA *****

61 TERACOES VALOR DUAL = 431302.9023
 CUSTO APPROX. = 467626.2852

LIGACOES NOS PERIODOS E FLUXOS NOS ARCS

| ARCS | T=1 | FLUXO | T=2 | FLUXO | T=3 | FLUXO | T=4 | FLUXO | MAXFLUXO |
|-------------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|----------|
| 46 -> 20-21 | 1 | 450 | 0 | 1088 | 0 | 1098 | 0 | 1202 | 000 |
| 47 -> 42-43 | 1 | 1102 | 1 | 1392 | 0 | 1385 | 0 | 1534 | 000 |
| 48 -> 24-25 | 1 | 366 | 0 | 611 | 1 | 792 | 0 | 846 | 000 |
| 50 -> 28-30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 109 | 0 | 81 | 000 |
| 51 -> 40-41 | 1 | 38 | 0 | 66 | 0 | 146 | 0 | 365 | 000 |
| 53 -> 5-6 | 1 | 433 | 0 | 367 | 0 | 390 | 0 | 555 | 000 |
| 54 -> 8-10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 145 | 0 | 7 | 000 |
| 58 -> 46-40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 283 | 0 | 207 | 2000 |
| 58 -> 46-6 | 1 | 433 | 0 | 367 | 0 | 390 | 0 | 555 | 2000 |
| 63 -> 17-05 | 1 | 366 | 0 | 611 | 0 | 792 | 0 | 846 | 1400 |
| 66 -> 31-01 | 1 | 38 | 0 | 66 | 0 | 146 | 0 | 88 | 2000 |
| 67 -> 28-21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 240 | 0 | 730 | 2000 |
| 70 -> 26-09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 100 | 0 | 81 | 270 |
| 73 -> 31-41 | 1 | 38 | 0 | 66 | 0 | 146 | 0 | 852 | 1500 |
| 75 -> 41-43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 496 | 0 | 587 | 2000 |

CUSTOS OPERACIONIS E DE LINHAS

CELE(K) = 30592.6399 35806.9115 40326.6106 159237.5870

CUIN(K) = 22799.5244 21293.2932 20678.1211 127781.6580

Tabela IV.5 - Relatório de saída - Rede SUL



SINTESE DINAMICA *****

53 ITERACCES VALOR DUAL = 5907387.0000
 CUSTO APROX. = 5938792.5000

| ----- | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|---------|
| LIGACOES NOS PERIODOS E FLUXOS NOS ARCOS | | | | | | | | | | |
| ARCOS | HLI | T=1 | FLUXO | T=2 | FLUXO | T=3 | FLUXO | T=4 | FLUXO | MAXFLOW |
| ----- | | | | | | | | | | |
| 19 | 0 | 2 | 218 | 1 | 411 | 2 | 700 | 2 | 1047 | 170 |
| 20 | 2 | 0 | 224 | 0 | 174 | 0 | 344 | 1 | 509 | 170 |
| 25 | 2 | 0 | 261 | 0 | 139 | 0 | 294 | 2 | 526 | 170 |
| 38 | 3 | 0 | 0 | 29 | 29049 | 0 | 1142 | 0 | 0 | 1000 |
| 39 | 1 | 0 | 453 | 3 | 2974 | 0 | 405 | 0 | 405 | 1000 |
| 48 | 1 | 0 | 351 | 1 | 1659 | 0 | 535 | 0 | 149 | 1200 |
| 49 | 2 | 0 | 1314 | 2 | 3767 | 0 | 1860 | 0 | 1460 | 1200 |
| 50 | 2 | 0 | 1967 | 3 | 4901 | 0 | 2276 | 0 | 1818 | 1200 |
| 51 | 1 | 0 | 979 | 0 | 977 | 0 | 870 | 1 | 2178 | 1200 |
| 52 | 2 | 0 | 2059 | 0 | 2506 | 3 | 4766 | 2 | 6867 | 1200 |
| 54 | 0 | 1 | 177 | 0 | 253 | 0 | 831 | 1 | 1672 | 1000 |
| 59 | 4 | 0 | 2402 | 58 | 34009 | 0 | 6232 | 0 | 9134 | 600 |
| 61 | 4 | 0 | 1843 | 1 | 2552 | 3 | 4215 | 3 | 6244 | 600 |
| 64 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 362 | 0 | 496 | 1000 |
| 65 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 362 | 0 | 496 | 1000 |
| 67 | 0 | 1 | 583 | 30 | 25298 | 0 | 3479 | 0 | 2102 | 1000 |
| 68 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3714 | 0 | 1622 | 0 | 2114 | 1000 |
| 69 | 0 | 1 | 457 | 0 | 181 | 0 | 725 | 0 | 1032 | 1000 |
| 70 | 0 | 1 | 437 | 0 | 181 | 0 | 1006 | 1 | 1244 | 1000 |
| 72 | 0 | 1 | 65 | 2 | 2754 | 0 | 1484 | 0 | 1989 | 1000 |
| 73 | 0 | 1 | 65 | 0 | 1024 | 0 | 544 | 0 | 725 | 1000 |
| 74 | 0 | 0 | 0 | 1 | 887 | 0 | 362 | 0 | 488 | 1000 |
| 75 | 0 | 1 | 60 | 0 | 888 | 0 | 216 | 0 | 453 | 1000 |
| 76 | 0 | 0 | 0 | 1 | 686 | 0 | 1 | 0 | 40 | 1000 |
| 77 | 0 | 1 | 53 | 0 | 272 | 0 | 471 | 0 | 611 | 1000 |
| 78 | 0 | 1 | 216 | 0 | 0 | 0 | 809 | 1 | 1167 | 1000 |
| 80 | 1 | 0 | 567 | 0 | 870 | 0 | 870 | 1 | 1419 | 1200 |
| 81 | 0 | 0 | 0 | 1 | 46 | 0 | 258 | 0 | 544 | 1200 |
| 82 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 437 | 0 | 762 | 1200 |
| 83 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 220 | 1200 |
| 109 | 0 | 0 | 0 | 1 | 264 | 0 | 90 | 0 | 32 | 1000 |
| 111 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2612 | 0 | 290 | 0 | 405 | 3200 |
| 117 | 0 | 0 | 0 | 9 | 24588 | 0 | 3568 | 0 | 7137 | 3200 |
| 119 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2612 | 0 | 290 | 0 | 405 | 3200 |
| 121 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1040 | 0 | 326 | 0 | 544 | 3200 |
| 126 | 0 | 0 | 0 | 10 | 25105 | 0 | 3363 | 0 | 6693 | 3200 |
| 127 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3652 | 0 | 616 | 0 | 949 | 3200 |
| 132 | 0 | 0 | 0 | 11 | 28757 | 0 | 3979 | 0 | 7642 | 3200 |
| 143 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1554 | 0 | 769 | 0 | 876 | 1000 |
| 145 | 0 | 1 | 561 | 0 | 988 | 3 | 3515 | 0 | 4432 | 1200 |
| 146 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3714 | 0 | 1622 | 0 | 2114 | 1000 |
| 147 | 0 | 1 | 364 | 0 | 544 | 0 | 181 | 0 | 272 | 1000 |
| 149 | 0 | 0 | 0 | 1 | 91 | 0 | 302 | 0 | 453 | 1000 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 1 | 91 | 0 | 181 | 0 | 117 | 1000 |
| 151 | 0 | 1 | 437 | 1 | 1068 | 1 | 1368 | 0 | 1732 | 600 |
| 152 | 0 | 0 | 0 | 1 | 304 | 0 | 272 | 0 | 211 | 600 |
| 153 | 1 | 0 | 404 | 0 | 272 | 0 | 480 | 1 | 840 | 600 |
| 154 | 0 | 0 | 0 | 1 | 176 | 0 | 171 | 1 | 388 | 300 |
| 155 | 0 | 1 | 65 | 0 | 137 | 0 | 142 | 0 | 237 | 300 |
| 156 | 0 | 1 | 60 | 0 | 202 | 0 | 217 | 1 | 413 | 300 |
| 157 | 0 | 1 | 53 | 1 | 414 | 0 | 470 | 0 | 651 | 300 |
| 158 | 0 | 1 | 123 | 1 | 363 | 0 | 519 | 1 | 673 | 300 |
| 164 | 0 | 0 | 0 | 1 | 517 | 0 | 205 | 0 | 444 | 1200 |
| 168 | 0 | 0 | 0 | 29 | 28757 | 0 | 3979 | 0 | 7642 | 1200 |
| 171 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2612 | 0 | 290 | 0 | 405 | 1200 |
| 172 | 0 | 0 | 0 | 25 | 24588 | 0 | 3568 | 0 | 7137 | 1200 |
| 173 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1040 | 0 | 326 | 0 | 544 | 1200 |
| 175 | 1 | 0 | 567 | 1 | 924 | 0 | 1049 | 1 | 1637 | 600 |
| 176 | 1 | 0 | 371 | 0 | 411 | 1 | 675 | 0 | 1025 | 600 |
| 178 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 362 | 0 | 496 | 600 |
| 181 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 121 | 1 | 336 | 300 |

CUSTOS ELETRICOS E DE LINHAS

| | | | | |
|-----------|------------|--------------|------------|------------|
| CFLE(K) = | 78607.5859 | 2968355.7500 | 32146.8223 | 52397.5352 |
| CLIN(K) = | 44726.8633 | 2718697.2500 | 5229.9453 | 7226.9141 |

Tabela IV.6 - Relatório de saída - Rede NORTE/NORDESTE

CAPITULO V

CONCLUSÕES

V.1 - CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS

Uma das grandes facilidades apresentada pelo modelo proposto está no ajuste dos parâmetros, que deve ser feita a nível de programa mestre e a nível dos subproblemas estáticos decompostos. A experiência prática tem mostrado que no caso de ajustes dos parâmetros da síntese estática, estes são fáceis de serem promovidos, e a maneira de procedê-los é tratada com requinte de detalhes na referência [11]. A única restrição é que seja tomado como referência para os ajustes o ano horizonte do planejamento dinâmico.

Em relação ao programa mestre os ajustes necessários são ainda mais triviais. Basicamente são necessários ajustes na inicialização das variáveis duais, no tamanho do passo e no limitante superior [6] usados pelo algoritmo de subgradientes.

Os testes realizados mostraram que uma inicialização de boa qualidade para os multiplicadores de Lagrange é escolher $\underline{\lambda}^t = \underline{0}$. Esta escolha tem a peculiaridade de anular o termo $\underline{\lambda}^t (\underline{n}^{t-1} - \underline{n}^t)$, de forma que na primeira iteração do processo tenhamos exatamente a solução estática para cada um dos períodos da síntese. Estas soluções podem ser posteriormente utilizadas para comparação com os resultados obtidos na síntese dinâmica, para efeitos de análise dos resultados.

A escolha do tamanho inicial do passo a ser dado pelo método de subgradientes e da superestimativa do valor primal para a solução do problema, são fatores fundamentais para acelerar ou piorar a convergência do problema.

Para o tamanho do passo (π) foi usado o critério sugerido em [6]. Este critério consiste em inicializar o processo com $\beta = 2$, e mantê-lo por $2p$ iterações, sendo p o número de períodos da síntese. Depois, a cada p iterações $\beta = \beta/2$. Embora tivéssemos testado o programa para outros valores de β , o critério acima pareceu ser realmente o mais indicado para aceleração da velocidade de convergência.

Uma vez que o processo de relaxação Lagrangeana nos leva a trabalhar com o problema dual, o ideal seria estipular o valor primal da solução (ϕ) como limitante superior. Como este valor não é conhecido temos de fazer uma superestimativa do valor primal. Quanto mais próximo da solução estiver este valor, mais rápido será a convergência. No presente trabalho procuramos usar um limitante da ordem de 3 vezes o valor da primeira iteração, e fomos decrescendo o mesmo até chegar a índices mais satisfatórios. Outros critérios para escolha destes parâmetros podem ser testados, entretanto para os propósitos do trabalho, consideramos que os ajustes promovidos satisfazem os objetivos.

Uma última consideração a ser feita é em relação ao método de subgradientes, cuja convergência não é garantida. A literatura sobre o assunto afirma que em geral, o método converge de 80 a 100 iterações para as redes consideradas grandes. O modelo proposto contorna este problema de forma elegante, ou seja, se o método não convergir com 80 iterações, uma heurística de convergência é ativada. Esta heurística depende das peculiaridades de cada problema, e no nosso caso foi feita da seguinte forma:

HEURÍSTICA DE CONVERGÊNCIA

1- Faça: $k = 1$;

$p = 4$;

$itmáx = 20$;

2- Guarde a solução encontrada para o período $t = k$;

3- Recomece o processo usando a solução de $t = k$ como condição inicial para os $(p - k)$ períodos restantes;

4- Se não convergir até $itmáx = 20$, faça $k = k+1$ e volte a 2;

5- Pare o processo.

A heurística de convergência foi utilizada na síntese da rede Norte-Nordeste, e vários testes foram realizados para diferentes valores de $itmáx$. Concluimos após os testes, que para os casos em que for necessário "forçar" a convergência, esta heurística pode ser ativada após 50 iterações de subgradientes com $itmáx$ (número máximo de iterações da heurística) igual a 20.

V.2 - CONCLUSÕES

Nenhuma solução de planejamento a longo prazo é definitiva, uma vez que os estudos para este tipo de planejamento são baseados em previsões das condições futuras de operação do sistema em estudo. Na verdade, as soluções de planejamento a longo prazo são usadas para orientar o processo de tomada de decisões a curto e médio prazo.

Neste sentido podemos afirmar através dos resultados computacionais, que os objetivos principais da nova metodologia foram atingidos. O modelo dinâmico desenvolvido a partir das facilidades de formulação do programa EXTRA de síntese estática, permitiu a abordagem do problema de planejamento a longo prazo pela aplicação da teoria de otimização matemática. Desta forma, foi possível desenvolver um método dinâmico de planejamento que apresenta solução consistente com os objetivos de minimização dos custos de expansão da rede, respeitando as limitações dos equipamentos e leis físicas de distribuição dos fluxos de potência na rede, e número inteiro de equipamentos instalados (linhas de transmissão e transformadores).

O método desenvolvido para solução do problema de expansão da transmissão a longo prazo é relativamente simples. Esta simplicidade é obtida pela decomposição do problema que permite-nos trabalhar com o problema dual, e pelas manipulações de projeção usadas na solução dos subproblemas. Uma das principais características do modelo está na utilização eficiente do programa EXTRA, que mostrou-se suficientemente rápido para ser usado várias vezes como rotina estática dentro do processo iterativo de síntese dinâmica proposto.

Dentre as recomendações sugeridas pelo relatório do EPRI [6] consideradas como requisitos práticos para o desenvolvimento de bons modelos de planejamento, o trabalho apresentado considerou as mais importantes, como por exemplo:

- Desenvolvimento de planos alternativos de expansão;
- Uso de técnicas matemáticas de otimização para a determinação de soluções ótimas globais;
- Uso de recursos computacionais adequados e facilidade de manipulação dos dados, entre outras.

O desenvolvimento de um modelo de otimização para síntese dinâmica representa um enorme avanço das metodologias de automação do planejamento de sistemas, e novas pesquisas devem ser desenvolvidas na área, com o intuito de aprimorar a metodologia proposta, surgindo modelos mais robustos que incluam por exemplo estudos sobre análises de contingências.

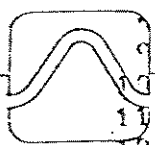
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] ALMEIDA, K.C. - "Estudos em fluxo de Potência Ativa Usando o Princípio de Mínimo Esforço". Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica, UNICAMP, 1987.
- [2] EPRI, " Long-Range Transmission Expansion Models ", EPRI Technical Planning Study TPS 79-728, EL-1569, Final Report, 1980.
- [3] FISHER, M. - "The Lagrangian Relaxation Method for Solving Integer Programming Problems", Management Science, vol.27, N^o1, pp. 1-18, 1981.
- [4] GEOFFRION, A.M. - "Generalized Benders Decomposition", Journal of Optimization Theory and Applications, vol. 10, N^o 4, 237-260, 1972.
- [5] GONZAGA, C.C. & PERCIANO, R.C.M. - " Otimização e Expansão de Transmissão de Energia". Relatório Final COPPETEC, COPPE Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1979.
- [6] HELD, M., WOLFE, P. & CROWDER, H.D. - "Validation of Subgradient Optimization", Mathematical Programming, vol.6, pp.62-88, 1974.

- [7] JENSEN, P. A. & BARNES, J. W. - "Network Flow Programming", John Wiley & Sons, N.Y. 1980.
- [8] LASDON, L. - "Optimization Theory for Large Systems", the Macmillan Co., N.Y., 1970.
- [9] MONTICELLI, A., SANTOS JR., A., PEREIRA, M. V., CUNHA, S. H., PARKER, B. J. & PRAÇA, J. G. - "Interactive Transmisson Network Planning Using a Least Effort Criterion". IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, N^o10, pp. 3919-3925, 1982.
- [10] SAID, A., FRANÇA, P. M. & SANTOS JR. A. - "An Efficient Optimization Method for Transmisson Expantion Planning". Preprints of the IFAC Symposium on Planning and Operation of Electric Energy Systems, pp. 167-172, Rio de Janeiro, julho, 1985.
- [11] SAID, A. - "Um Método de Síntese Estática de Redes de Transmissão para Auxílio ao Planejamento a Longo Prazo". Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica, UNICAMP, 1988.
- [12] SANTOS JR., A., FRANÇA, P. M. & SAID, A. - "An Optimization Model for Long-Range Transmisson Expansion Planning". IEEE/PES 1988 Winter Meeting, paper 88 wm 207-3, New York, Feb., 1988 (a ser publicado no IEEE Transactions on Power Systems).
- [13] SANTOS JR. A - "Síntese Conceitual Estática de Redes de Energia Elétrica". Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Campinas, UNICAMP, 1981.

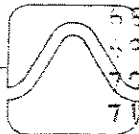
| | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|
| 2 | -343 | -421 | -405 | -443 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | -232 | -251 | -275 | -351 |
| 5 | -188 | -184 | -215 | -235 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | -51 | -55 | -54 | -72 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | -13 | -200 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | -388 | -171 | -46 | -512 |
| 13 | -113 | -155 | -154 | -185 |
| 14 | 965 | 822 | 871 | 838 |
| 15 | 100 | 270 | 120 | 290 |
| 16 | 1226 | 1226 | 1226 | 1266 |
| 17 | 400 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 18 | -78 | -120 | -120 | -140 |
| 19 | 814 | 802 | 722 | 773 |
| 20 | -818 | -905 | -869 | -1091 |
| 21 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | -52 | -50 | -70 | -82 |
| 23 | -343 | -375 | -315 | -458 |
| 24 | -355 | -322 | -434 | -478 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | -175 | -153 | -211 | -232 |
| 27 | 105 | 77 | 55 | 54 |
| 28 | 0 | 0 | 240 | 730 |
| 29 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 0 | 0 | 100 | 150 |
| 31 | 0 | 0 | 0 | 310 |
| 32 | 0 | 100 | 400 | 500 |
| 33 | -172 | -180 | -206 | -229 |
| 34 | 265 | 252 | 227 | 221 |
| 35 | -163 | -140 | -147 | -255 |
| 36 | -56 | -75 | -23 | -90 |
| 37 | 234 | 227 | 220 | 212 |
| 38 | -172 | -155 | -211 | -215 |
| 39 | 226 | 250 | 211 | 221 |
| 40 | -209 | -225 | -243 | -262 |
| 41 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 42 | -1259 | -1350 | -1435 | -1608 |
| 43 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 44 | -53 | -50 | -71 | -79 |
| 45 | -18 | -32 | -42 | -57 |
| 46 | 437 | 500 | 822 | 500 |

| | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----------|--------|----|-----|
| 1. | 1. | 1. | 1731.00, | 5.15, | 1. | 271 |
| 2. | 1. | 2. | 7475.00, | 19.55, | 2. | 275 |
| 3. | 4. | 3. | 6537.00, | 4.23, | 1. | 275 |
| 4. | 5. | 8. | 8358.00, | 11.73, | 1. | 271 |
| 5. | 5. | 8. | 8107.00, | 11.31, | 1. | 270 |
| 6. | 7. | 8. | 7451.00, | 10.23, | 1. | 270 |
| 7. | 4. | 5. | 4107.00, | 5.22, | 2. | 270 |
| 8. | 2. | 5. | 3148.00, | 3.21, | 2. | 275 |
| 9. | 5. | 13. | 9311.00, | 13.47, | 1. | 247 |
| 10. | 9. | 13. | 11217.00, | 17.55, | 2. | 225 |
| 11. | 12. | 14. | 5735.00, | 7.40, | 2. | 272 |
| 12. | 14. | 18. | 10461.00, | 15.14, | 2. | 240 |



A

| | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----------|--------|----|------|
| 12, | 13, | 20, | 7757.00, | 10.72, | 1, | 270 |
| 15, | 18, | 20, | 13401.00, | 19.95, | 1, | 200 |
| 15, | 19, | 21, | 30711.00, | 2.74, | 1, | 1500 |
| 17, | 16, | 17, | 12144.00, | 0.78, | 1, | 2000 |
| 18, | 17, | 19, | 10607.00, | 0.62, | 1, | 2000 |
| 19, | 18, | 25, | 11040.00, | 15.14, | 1, | 220 |
| 20, | 14, | 22, | 5255.00, | 3.40, | 1, | 270 |
| 21, | 22, | 26, | 6052.00, | 7.90, | 1, | 270 |
| 22, | 20, | 23, | 5916.00, | 4.52, | 2, | 270 |
| 23, | 23, | 24, | 5935.00, | 7.71, | 2, | 270 |
| 24, | 26, | 27, | 6310.00, | 8.32, | 2, | 270 |
| 25, | 24, | 30, | 11040.00, | 15.17, | 1, | 220 |
| 25, | 24, | 33, | 10079.00, | 1.47, | 1, | 240 |
| 27, | 33, | 34, | 8061.00, | 12.64, | 1, | 270 |
| 27, | 27, | 34, | 5428.00, | 0.15, | 1, | 270 |
| 29, | 27, | 39, | 13956.00, | 21.79, | 2, | 200 |
| 30, | 36, | 37, | 7593.00, | 15.56, | 1, | 270 |
| 31, | 35, | 35, | 4230.00, | 1.21, | 2, | 270 |
| 32, | 35, | 39, | 14384.00, | 18.80, | 1, | 200 |
| 32, | 37, | 39, | 2957.00, | 2.53, | 1, | 270 |
| 34, | 37, | 40, | 5077.00, | 12.31, | 1, | 270 |
| 35, | 37, | 42, | 14128.00, | 21.04, | 1, | 200 |
| 36, | 39, | 42, | 13672.00, | 20.29, | 3, | 200 |
| 37, | 40, | 42, | 6932.00, | 8.31, | 1, | 270 |
| 38, | 39, | 42, | 6787.00, | 2.07, | 3, | 270 |
| 39, | 32, | 43, | 35255.00, | 3.10, | 1, | 1400 |
| 40, | 42, | 44, | 9829.00, | 12.05, | 1, | 270 |
| 41, | 44, | 45, | 12666.00, | 15.63, | 1, | 200 |
| 42, | 45, | 32, | 25404.00, | 1.96, | 1, | 1800 |
| 42, | 46, | 19, | 24585.00, | 2.22, | 1, | 1800 |
| 43, | 46, | 16, | 26521.00, | 2.04, | 1, | 1800 |
| 45, | 16, | 19, | 4247.00, | 1.25, | 1, | 600 |
| 46, | 20, | 21, | 4212.00, | 1.25, | 1, | 600 |
| 47, | 42, | 43, | 3247.00, | 1.25, | 1, | 600 |
| 48, | 46, | 11, | 4251.00, | 1.25, | 0, | 600 |
| 49, | 24, | 25, | 4252.00, | 1.25, | 0, | 600 |
| 50, | 29, | 30, | 4252.00, | 1.25, | 0, | 600 |
| 51, | 40, | 41, | 4255.00, | 1.25, | 0, | 600 |
| 52, | 2, | 3, | 4255.00, | 1.25, | 0, | 600 |
| 53, | 5, | 6, | 4258.00, | 1.25, | 0, | 600 |
| 54, | 9, | 10, | 4258.00, | 1.25, | 0, | 600 |
| 55, | 40, | 10, | 12259.00, | 0.81, | 0, | 2000 |
| 56, | 14, | 11, | 9932.00, | 14.14, | 0, | 240 |
| 57, | 15, | 11, | 6265.00, | 0.15, | 0, | 270 |
| 58, | 46, | 6, | 18151.00, | 1.28, | 0, | 2000 |
| 59, | 46, | 3, | 26610.00, | 2.04, | 0, | 1800 |
| 60, | 16, | 28, | 28695.00, | 2.22, | 0, | 1800 |
| 61, | 16, | 32, | 38711.00, | 3.12, | 0, | 1400 |
| 62, | 17, | 32, | 20878.00, | 2.33, | 0, | 1700 |
| 63, | 19, | 25, | 40289.00, | 3.25, | 0, | 1400 |
| 64, | 21, | 25, | 23385.00, | 1.75, | 0, | 2000 |
| 65, | 25, | 32, | 39657.00, | 3.20, | 0, | 1400 |
| 66, | 31, | 32, | 9078.00, | 0.47, | 0, | 2000 |
| 67, | 29, | 31, | 5461.00, | 0.70, | 0, | 2000 |
| 68, | 24, | 30, | 10383.00, | 3.58, | 0, | 2000 |
| 69, | 27, | 29, | 7247.00, | 0.98, | 0, | 270 |
| 70, | 25, | 29, | 4565.00, | 5.41, | 0, | 270 |
| 71, | 28, | 41, | 41925.00, | 8.40, | 0, | 1300 |
| 72, | 28, | 43, | 49494.00, | 4.07, | 0, | 1200 |
| 73, | 31, | 31, | 35164.00, | 2.70, | 0, | 1500 |
| 74, | 32, | 41, | 34662.00, | 3.10, | 0, | 1400 |
| 75, | 41, | 43, | 10525.00, | 1.40, | 0, | 2000 |
| 76, | 40, | 45, | 11431.00, | 22.03, | 0, | 180 |
| 77, | 14, | 15, | 3509.00, | 3.71, | 0, | 270 |
| 78, | 15, | 15, | 8245.00, | 1.25, | 0, | 600 |



| | | | | |
|----|-------|--------|-------|-------|
| 1 | -1117 | -1388 | -1857 | -2687 |
| 2 | 2153 | 2937 | 4364 | 4780 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | -186 | -256 | 517 | 5942 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | -31 | -31 | -31 | -31 |
| 8 | 462 | 336 | 403 | 82 |
| 9 | 0 | 312 | 465 | 465 |
| 10 | 0 | 379 | 538 | 538 |
| 11 | 2181 | 2274 | 2200 | 2260 |
| 12 | 2183 | 2284 | 2257 | 4312 |
| 13 | 1307 | 2728 | 4510 | 5900 |
| 14 | 0 | 0 | 437 | 542 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | -48 | -64 | -86 | -125 |
| 20 | -96 | -105 | -125 | -181 |
| 21 | -352 | -519 | -722 | -1044 |
| 22 | -169 | -247 | -291 | -446 |
| 23 | -33 | -44 | -58 | -84 |
| 24 | -65 | -106 | -159 | -230 |
| 25 | -794 | -1272 | -1818 | -2173 |
| 26 | -22 | -32 | -47 | -68 |
| 27 | -174 | -258 | -378 | -546 |
| 28 | -87 | -129 | -189 | -273 |
| 29 | -22 | -32 | -47 | -68 |
| 30 | -87 | -129 | -189 | -273 |
| 31 | -80 | -89 | -110 | -225 |
| 32 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 34 | -11 | -19 | -28 | -107 |
| 35 | 1643 | 1687 | 1635 | 1531 |
| 36 | -99 | -153 | -225 | -325 |
| 37 | 146 | 134 | 169 | 114 |
| 38 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 39 | -94 | -133 | -186 | -269 |
| 40 | -617 | -874 | -1201 | -1738 |
| 41 | -268 | -383 | -520 | -752 |
| 42 | -153 | -232 | -341 | -494 |
| 43 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 44 | -1734 | -2666 | -4022 | -5819 |
| 45 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 46 | -80 | -134 | -205 | -297 |
| 47 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 48 | -225 | -279 | -347 | -432 |
| 49 | -381 | -534 | -777 | -1124 |
| 50 | -2378 | -33424 | -5189 | -7578 |
| 51 | -147 | -209 | -290 | -420 |
| 52 | -306 | -476 | -707 | -1024 |
| 53 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 54 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 55 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 56 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 57 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 58 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 59 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 61 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 62 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 63 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 64 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 65 | 0 | 0 | 0 | 0 |



UNICAMP

| | | | | | |
|----|------|------|------|------|---|
| 66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 67 | 0 | 1040 | 1242 | 1242 | 0 |
| 68 | 0 | 0 | 888 | 888 | 0 |
| 69 | 0 | 0 | 902 | 902 | 0 |
| 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 71 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 72 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 73 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 74 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 77 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 79 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 81 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 82 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 83 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 84 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 85 | -219 | -331 | -487 | -705 | 0 |
| 86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 87 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | |
|----|----|----|----------|-----------|---|------|
| 1 | 26 | 27 | 12760.00 | 22.120000 | 3 | 170 |
| 2 | 27 | 28 | 5335.000 | 8.260000 | 3 | 170 |
| 3 | 28 | 35 | 9900.000 | 16.710000 | 3 | 170 |
| 4 | 26 | 27 | 25500.00 | 14.040000 | 2 | 300 |
| 5 | 35 | 46 | 12705.00 | 21.720000 | 4 | 170 |
| 6 | 20 | 21 | 6960.000 | 7.150000 | 1 | 300 |
| 7 | 20 | 21 | 6435.000 | 10.320000 | 3 | 170 |
| 8 | 19 | 20 | 5885.000 | 9.340000 | 1 | 170 |
| 9 | 19 | 22 | 11165.00 | 18.770000 | 1 | 170 |
| 10 | 22 | 37 | 11935.00 | 20.150000 | 2 | 170 |
| 11 | 22 | 23 | 9130.000 | 15.140000 | 1 | 170 |
| 12 | 23 | 24 | 9900.000 | 16.510000 | 1 | 170 |
| 13 | 24 | 25 | 12705.00 | 21.530000 | 1 | 170 |
| 14 | 25 | 26 | 10120.00 | 16.910000 | 3 | 170 |
| 15 | 25 | 26 | 29636.00 | 10.730000 | 2 | 300 |
| 16 | 35 | 47 | 8085.000 | 13.270000 | 2 | 170 |
| 17 | 47 | 48 | 11660.00 | 19.660000 | 2 | 170 |
| 18 | 48 | 49 | 4895.000 | 7.570000 | 1 | 170 |
| 19 | 49 | 50 | 5335.000 | 8.350000 | 0 | 170 |
| 20 | 48 | 50 | 2090.000 | 2.560000 | 2 | 170 |
| 21 | 48 | 51 | 12760.00 | 21.630000 | 2 | 170 |
| 22 | 51 | 52 | 3795.000 | 5.600000 | 2 | 170 |
| 23 | 35 | 51 | 9625.000 | 16.020000 | 3 | 170 |
| 24 | 44 | 46 | 10010.00 | 16.710000 | 3 | 170 |
| 25 | 42 | 44 | 4565.000 | 6.980000 | 2 | 170 |
| 26 | 42 | 85 | 3465.000 | 5.010000 | 2 | 170 |
| 27 | 36 | 46 | 4235.000 | 6.390000 | 4 | 170 |
| 28 | 36 | 39 | 7315.000 | 11.890000 | 3 | 170 |
| 29 | 34 | 39 | 7150.000 | 11.600000 | 3 | 170 |
| 30 | 34 | 39 | 6335.000 | 29.680000 | 2 | 80 |
| 31 | 34 | 41 | 6215.000 | 9.930000 | 3 | 170 |
| 32 | 39 | 42 | 6105.000 | 9.730000 | 1 | 170 |
| 33 | 31 | 34 | 8525.000 | 14.060000 | 1 | 170 |
| 34 | 30 | 31 | 4235.000 | 6.390000 | 1 | 170 |
| 35 | 29 | 30 | 4510.000 | 6.880000 | 1 | 170 |
| 36 | 26 | 29 | 6710.000 | 10.810000 | 1 | 170 |
| 37 | 32 | 33 | 11660.00 | 19.660000 | 0 | 170 |
| 38 | 1 | 2 | 44056.00 | 3.740000 | 3 | 1000 |
| 39 | 87 | 2 | 31192.00 | 2.590000 | 1 | 1000 |
| 40 | 87 | 4 | 26502.00 | 2.180000 | 1 | 1000 |
| 41 | 4 | 5 | 52230.00 | 4.350000 | 1 | 1000 |
| 42 | 5 | 6 | 29852.00 | 2.410000 | 1 | 1000 |
| 43 | 6 | 7 | 35212.00 | 2.880000 | 1 | 1000 |
| 44 | 7 | 8 | 29048.00 | 2.340000 | 1 | 1000 |
| 45 | 8 | 9 | 23420.00 | 1.860000 | 1 | 1000 |



| | | | | | | |
|-----|----|----|----------|----------|---|------|
| 46 | 9 | 10 | 7340.000 | 0.460000 | 1 | 1000 |
| 47 | 10 | 11 | 17390.00 | 1.330000 | 1 | 1000 |
| 48 | 11 | 12 | 6670.000 | 0.410000 | 1 | 1200 |
| 49 | 12 | 17 | 30388.00 | 2.460000 | 2 | 1200 |
| 50 | 17 | 18 | 21678.00 | 1.700000 | 2 | 1200 |
| 51 | 12 | 15 | 31594.00 | 2.560000 | 1 | 1200 |
| 52 | 15 | 16 | 24760.00 | 1.970000 | 2 | 1200 |
| 53 | 20 | 38 | 12840.00 | 13.82000 | 4 | 300 |
| 54 | 11 | 53 | 31326.00 | 2.540000 | 0 | 1000 |
| 55 | 11 | 17 | 35078.00 | 2.860000 | 1 | 1200 |
| 56 | 11 | 15 | 36284.00 | 2.970000 | 1 | 1200 |
| 57 | 5 | 38 | 8926.000 | 1.170000 | 2 | 600 |
| 58 | 6 | 37 | 7510.000 | 2.330000 | 1 | 300 |
| 59 | 18 | 50 | 8926.000 | 1.170000 | 4 | 600 |
| 60 | 12 | 35 | 8926.000 | 1.170000 | 2 | 600 |
| 61 | 16 | 44 | 8926.000 | 1.170000 | 4 | 600 |
| 62 | 4 | 32 | 7510.000 | 2.330000 | 0 | 300 |
| 63 | 15 | 46 | 8926.000 | 1.170000 | 1 | 600 |
| 64 | 5 | 56 | 29182.00 | 2.350000 | 0 | 1000 |
| 65 | 56 | 57 | 16050.00 | 1.220000 | 0 | 1000 |
| 66 | 4 | 60 | 26770.00 | 2.150000 | 0 | 1000 |
| 67 | 2 | 4 | 48880.00 | 4.060000 | 0 | 1000 |
| 68 | 5 | 60 | 32130.00 | 2.610000 | 0 | 1000 |
| 69 | 53 | 54 | 32120.00 | 2.700000 | 0 | 1000 |
| 70 | 54 | 55 | 25028.00 | 2.060000 | 0 | 1000 |
| 71 | 87 | 68 | 23240.00 | 1.860000 | 0 | 1000 |
| 72 | 5 | 58 | 27440.00 | 2.200000 | 0 | 1000 |
| 73 | 43 | 58 | 38160.00 | 3.130000 | 0 | 1000 |
| 74 | 43 | 55 | 31326.00 | 2.540000 | 0 | 1000 |
| 75 | 54 | 63 | 25430.00 | 2.030000 | 0 | 1000 |
| 76 | 63 | 64 | 35480.00 | 2.900000 | 0 | 1000 |
| 77 | 61 | 64 | 23420.00 | 1.860000 | 0 | 1000 |
| 78 | 16 | 61 | 16720.00 | 1.280000 | 0 | 1000 |
| 79 | 12 | 13 | 7340.000 | 0.460000 | 1 | 1200 |
| 80 | 13 | 45 | 35480.00 | 2.900000 | 1 | 1200 |
| 81 | 16 | 45 | 27440.00 | 2.200000 | 0 | 1200 |
| 82 | 14 | 45 | 28780.00 | 2.320000 | 0 | 1200 |
| 83 | 13 | 14 | 10690.00 | 0.750000 | 0 | 1200 |
| 84 | 13 | 59 | 28780.00 | 2.320000 | 1 | 1200 |
| 85 | 14 | 59 | 20070.00 | 1.570000 | 0 | 1200 |
| 86 | 13 | 17 | 28780.00 | 2.320000 | 0 | 1200 |
| 87 | 14 | 17 | 28780.00 | 2.320000 | 0 | 1200 |
| 88 | 17 | 59 | 21678.00 | 1.700000 | 0 | 1200 |
| 89 | 18 | 59 | 40170.00 | 3.310000 | 1 | 1200 |
| 90 | 65 | 66 | 18260.00 | 31.46000 | 0 | 170 |
| 91 | 20 | 66 | 12210.00 | 20.64000 | 0 | 170 |
| 92 | 15 | 45 | 13906.00 | 1.030000 | 0 | 1200 |
| 93 | 4 | 69 | 20740.00 | 1.620000 | 0 | 1000 |
| 94 | 68 | 69 | 18060.00 | 1.390000 | 0 | 1000 |
| 95 | 67 | 69 | 26100.00 | 2.090000 | 0 | 1000 |
| 96 | 67 | 68 | 35480.00 | 2.900000 | 0 | 1000 |
| 97 | 5 | 68 | 48880.00 | 4.060000 | 0 | 1000 |
| | 6 | 68 | 56920.00 | 4.760000 | 0 | 1000 |
| | 62 | 68 | 66300.00 | 5.570000 | 0 | 1000 |
| | 62 | 67 | 55580.00 | 4.640000 | 0 | 1000 |
| 100 | 5 | 70 | 55580.00 | 4.640000 | 0 | 1000 |
| 101 | 5 | 70 | 55580.00 | 4.640000 | 0 | 1000 |
| 102 | 6 | 70 | 44860.00 | 3.710000 | 0 | 1000 |
| 103 | 7 | 62 | 31460.00 | 2.550000 | 0 | 1000 |
| 104 | 8 | 62 | 51560.00 | 4.290000 | 0 | 1000 |
| 105 | 53 | 70 | 44860.00 | 3.710000 | 0 | 1000 |
| 106 | 7 | 53 | 54240.00 | 4.520000 | 0 | 1000 |
| 107 | 8 | 53 | 44190.00 | 3.650000 | 1 | 1200 |
| 108 | 8 | 12 | 47540.00 | 3.940000 | 0 | 1000 |
| 109 | 8 | 17 | 53570.00 | 4.470000 | 0 | 1000 |
| 110 | 3 | 81 | 60153.00 | 0.490000 | 0 | 3200 |
| 111 | 3 | 83 | 53253.00 | 0.430000 | 0 | 3200 |
| 112 | 3 | 71 | 92953.00 | 0.700000 | 0 | 3200 |



UNICAMP

| | | | | | | |
|-----|----|----|----------|-----------|---|------|
| 114 | 71 | 83 | 80253.00 | 0.6700000 | 0 | 3200 |
| 115 | 80 | 81 | 117753.0 | 1.0100000 | 0 | 3200 |
| 116 | 80 | 83 | 110253.0 | 0.9400000 | 0 | 3200 |
| 117 | 75 | 81 | 131253.0 | 1.1300000 | 0 | 3200 |
| 118 | 75 | 83 | 128253.0 | 1.1100000 | 0 | 3200 |
| 119 | 72 | 83 | 149253.0 | 1.3000000 | 0 | 3200 |
| 120 | 71 | 75 | 125253.0 | 1.0800000 | 0 | 3200 |
| 121 | 71 | 72 | 125253.0 | 1.0800000 | 0 | 3200 |
| 122 | 78 | 80 | 62253.00 | 0.5100000 | 0 | 3200 |
| 123 | 80 | 82 | 125253.0 | 1.0800000 | 0 | 3200 |
| 124 | 75 | 82 | 101253.0 | 0.8600000 | 0 | 3200 |
| 125 | 75 | 76 | 185253.0 | 1.6200000 | 0 | 3200 |
| 126 | 73 | 75 | 149253.0 | 1.3000000 | 0 | 3200 |
| 127 | 72 | 73 | 116253.0 | 1.0000000 | 0 | 3200 |
| 128 | 78 | 79 | 137253.0 | 1.1900000 | 0 | 3200 |
| 129 | 82 | 79 | 98253.00 | 0.8400000 | 0 | 3200 |
| 130 | 76 | 82 | 101253.0 | 0.8600000 | 0 | 3200 |
| 131 | 82 | 84 | 155253.0 | 1.3500000 | 0 | 3200 |
| 132 | 73 | 74 | 149253.0 | 1.3000000 | 0 | 3200 |
| 133 | 73 | 84 | 107253.0 | 0.9200000 | 0 | 3200 |
| 134 | 74 | 84 | 125253.0 | 1.0800000 | 0 | 3200 |
| 135 | 76 | 84 | 70953.00 | 0.5900000 | 0 | 3200 |
| 136 | 77 | 79 | 173253.0 | 1.5100000 | 0 | 3200 |
| 137 | 76 | 77 | 149253.0 | 1.3000000 | 0 | 3200 |
| 138 | 77 | 84 | 132753.0 | 1.1500000 | 0 | 3200 |
| 139 | 15 | 53 | 50890.00 | 4.2300000 | 0 | 1000 |
| 140 | 4 | 68 | 10020.00 | 0.7000000 | 0 | 1000 |
| 141 | 87 | 69 | 18060.00 | 1.3900000 | 0 | 1000 |
| 142 | 54 | 70 | 43520.00 | 3.6000000 | 0 | 1000 |
| 143 | 54 | 58 | 60940.00 | 5.1000000 | 0 | 1000 |
| 144 | 87 | 60 | 45530.00 | 3.7700000 | 0 | 1000 |
| 145 | 13 | 15 | 26770.00 | 2.1500000 | 0 | 1200 |
| 146 | 2 | 60 | 52230.00 | 4.3500000 | 0 | 1000 |
| 147 | 4 | 6 | 58260.00 | 4.8700000 | 0 | 1000 |
| 148 | 6 | 67 | 55580.00 | 4.6400000 | 0 | 1000 |
| 149 | 53 | 86 | 46870.00 | 3.8900000 | 0 | 1000 |
| 150 | 61 | 86 | 18060.00 | 1.3900000 | 0 | 1000 |
| 151 | 25 | 55 | 8926.000 | 1.1700000 | 0 | 600 |
| 152 | 26 | 54 | 8926.000 | 1.1700000 | 0 | 600 |
| 153 | 27 | 53 | 8926.000 | 1.1700000 | 1 | 600 |
| 154 | 22 | 58 | 7510.000 | 2.3300000 | 0 | 300 |
| 155 | 24 | 43 | 7510.000 | 2.3300000 | 0 | 300 |
| 156 | 30 | 63 | 7510.000 | 2.3300000 | 0 | 300 |
| 157 | 41 | 64 | 7510.000 | 2.3300000 | 0 | 300 |
| 158 | 61 | 85 | 7510.000 | 2.3300000 | 0 | 300 |
| 159 | 5 | 80 | 21232.00 | 0.5800000 | 0 | 1200 |
| 160 | 62 | 72 | 21232.00 | 0.5800000 | 0 | 1200 |
| 161 | 58 | 78 | 21232.00 | 0.5800000 | 0 | 1200 |
| 162 | 70 | 82 | 21232.00 | 0.5800000 | 0 | 1200 |
| 163 | 8 | 73 | 21232.00 | 0.5800000 | 0 | 1200 |
| 164 | 6 | 75 | 21232.00 | 0.5800000 | 0 | 1200 |
| 165 | 54 | 79 | 21232.00 | 0.5800000 | 0 | 1200 |
| 166 | 53 | 76 | 21232.00 | 0.5800000 | 0 | 1200 |
| 167 | 12 | 84 | 21232.00 | 0.5800000 | 0 | 1200 |
| 168 | 18 | 74 | 21232.00 | 0.5800000 | 0 | 1200 |
| 169 | 16 | 77 | 21232.00 | 0.5800000 | 0 | 1200 |
| 170 | 68 | 83 | 21232.00 | 0.5800000 | 0 | 1200 |
| 171 | 87 | 3 | 21232.00 | 0.5800000 | 0 | 1200 |
| 172 | 4 | 81 | 21232.00 | 0.5800000 | 0 | 1200 |
| 173 | 67 | 71 | 21232.00 | 0.5800000 | 0 | 1200 |
| 174 | 60 | 66 | 7510.000 | 2.3300000 | 0 | 300 |
| 175 | 40 | 45 | 8926.000 | 1.1700000 | 1 | 600 |
| 176 | 52 | 59 | 8926.000 | 1.1700000 | 1 | 600 |
| 177 | 20 | 56 | 8926.000 | 1.1700000 | 0 | 600 |
| 178 | 21 | 57 | 8926.000 | 1.1700000 | 0 | 600 |
| 179 | 87 | 65 | 7510.000 | 2.3300000 | 0 | 300 |
| 180 | 33 | 67 | 7510.000 | 2.3300000 | 0 | 300 |
| 181 | 39 | 86 | 7510.000 | 2.3300000 | 0 | 300 |
| 182 | 40 | 44 | 5500.000 | 8.7500000 | 3 | 170 |

