TESE
354

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

REDESPACHO ECONÔMICO SOB CONTINGÊNCIA

Tese de Mestrado

Autor: MAURO CESAR DA ROCHA

Orientador: HECTOR ARANGO

Escola Federal de Engenharia
Biblioteca MAUÁ
Itajubá

Setembro - 1982

Ministério da Educação e Cultura
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
Reconhecida Lei 3232 - 05/01/1917

A N E X O I

PRONUNCIAMENTO DA COMISSÃO EXAMINADORA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, nomeada por Portaria nº 434 de 09/12/82, considerando o resultado do Julgamento da Prova de Defesa Pública da Dissertação de Mestrado intitulada: "REDESPACHO ECONÔMICO SOB CONTINGÊNCIA"

apresenta pronunciamento no sentido de que a Comissão de Pós-Graduação da Escola Federal de Engenharia de Itajubá solicite ao DRA (Departamento de Registros Acadêmicos) a expedição do título de Mestre em Engenharia Elétrica na Área de Concentração de Sistemas de Potência satisfeitas as demais exigências regimentais à MAURO CESAR DA ROCHA.

Itajubá, 11 de dezembro de 1982

1º Examinador
Dr. Agostinho Pereira Ferreira
ELETROBRÁS

2º Examinador
Prof. Júlio César Tibúrcio - EFEI

3º Examinador
Prof. Hector Arango
Orientador

4º Examinador

Ministério da Educação e Cultura
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
Reconhecida Lei 3232 - 05/01/1917

A N E X O II

FOLHA DE JULGAMENTO DA COMISSÃO EXAMINADORA

Título da Dissertação: "REDESPACHO ECONÔMICO SOB CONTINGÊNCIA"

Autor: MAURO CESAR DA ROCHA

JULGAMENTO

EXAMINADORES	CONCEITO	RUBRICA
1º	A+	
2º	A+	
3º	A+	
4º		

Resultado médio: Conceito A+, ou seja Aprovado com distinção

Observações:

Itajubá, 11 de dezembro de 1982.

1º Examinador
Dr. Agostinho Pereira Ferreira
ELETROBRÁS

2º Examinador
Prof. Júlio César Tibúrcio - EFEI

3º Examinador
Prof. Hector Arango-Orientador

4º Examinador

DEDICATÓRIA

- Aos meus pais que, com dedicação e sabedoria, proporcionaram as condições favoráveis a minha evolução pessoal e profissional.

- A minha esposa Heloisa e aos meus filhos Flávio, Fernando e Fátima Luciana que, compreendendo as minhas "ausências", deram o apoio necessário para que este trabalho pudesse ser elaborado.

AGRADECIMENTOS

- À Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETROBRÁS, pela oportunidade que me proporcionou de participar do Curso.

- À Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI, pela seriedade e competência com que o Curso foi ministrado.

- Ao Engº Antonio Ferreira de Bragança Filho, pelo incentivo e apoio constantes.

- Ao meu orientador, Prof. Hector Arango, pela contribuição decisiva na solução dos problemas surgidos no desenvolvimento do trabalho.

- Ao Prof. Antonio E. Hermeto, pelo apoio e consideração que me foram dedicados.

- A minha Secretária Maria Helena Lixa de Mendonça que, com sua inestimável ajuda, facilitou a elaboração deste relatório.

- Às Secretárias Cerise Dias Dornelles, Reginete Anselmo Matheus e Almênia Ferreira Lopes, que datilografaram grande parte do trabalho.

- Ao Desenhista Adilson Pereira da Silva, que cuidou dos gráficos, desenhos e da montagem do relatório.

- Ao Departamento de Planejamento e Engenharia da Distribuição (DEDI), da ELETROBRÁS, que possibilitou a realização deste trabalho.

A P R E S E N T A Ç Ã O

Um sistema de potência pode sofrer modificações não previstas na sua configuração, em função de contingências que nele ocorrem.

Após isolada a área afetada pela perturbação, através dos sistemas de proteção existentes, é suposto que as regiões não afetadas continuem a receber seu suprimento de energia normalmente.

A modificação no estado do sistema torna necessária a revisão do despacho dos geradores de tal forma que o sistema volte a operar no ponto de mínimo custo. A rapidez do método de re-despacho é importante para evitar desperdícios desnecessários.

Neste trabalho, foi desenvolvido um conjunto de programas utilizando FORTRAN IV, que possibilita o cálculo simples e rápido do ré-despacho econômico dos geradores "on line", após ocorrida uma contingência.

Foi desenvolvido também, e é apresentado neste trabalho, o "software" referente ao Despacho Econômico Completo, que será empregado para o caso-base, tornando possível acoplar o programa de re-despacho e verificar a validade de seus resultados.

Procurou-se desenvolver o trabalho de forma didática, seqüencialmente, processando cada nova etapa descrita acoplada às anteriores.

No Capítulo 1, é apresentada a descrição e a metodologia para a construção da matriz Z-barra.

No Capítulo 2, é apresentada a metodologia para modificação de Z-barra, após ocorrer uma contingência, abrangendo todos os tipos de contingência normalmente considerados em operação de sistemas.

No Capítulo 3, é descrito o fluxo de carga utilizando a matriz Z-barra, com a apresentação do equacionamento e da implementação em computador do fluxo de carga completo, para o caso-base, e do fluxo de carga aproximado, para o sistema em contingência.

No Capítulo 4 é equacionado o cálculo da perda incremental de transmissão e os algoritmos para sua implementação em computador, para o sistema-base e em contingência.

No Capítulo 5 é descrita a metodologia para o cálculo do Despacho Econômico de "n" geradores termelétricos considerando as perdas na transmissão. São também mostrados os fluxogramas dos programas principais para o Despacho Econômico e para o Re-Despacho Econômico sob Contingência.

No Capítulo final é apresentado o resumo dos resultados obtidos para um sistema-exemplo e indicadas as possibilidades de extensão dos programas apresentados, a ser feita em trabalhos futuros.

Nos apêndices são encontrados, além das explicações complementares, os fluxogramas detalhados de cada sub-rotina utilizada, os resultados completos para cada caso processado e a estrutura da entrada de dados para o processamento do Despacho Econômico e do Re-Despacho sob Contingência.

ÍNDICE

RE-DESPACHO ECONÔMICO SOB CONTINGÊNCIA

	PÁGINA
CAPÍTULO 1 - A MATRIZ Z-BARRA	1
1.1- Descrição	2
1.2- Construção da Matriz	4
1.2.1- Preparação dos Dados	4
1.2.2- Rotinas da Montagem de Z-Barra	4
1.2.3- Algoritmo para Ordenação de Dados e Implementação do Programa para Montagem de Z-Barra	9
CAPÍTULO 2 - MODIFICAÇÃO DA MATRIZ Z-BARRA, APÓS OCORRER UMA CONTINGÊNCIA	15
2.1- Introdução	16
2.2- Remoção de Linhas	16
2.2.1- Casos Especiais	18
2.2.1.1- Remoção de Linhas que Desconectam Parte do Sistema de Transmissão da Barra de Referência	18
2.2.1.2- Abertura de Disjuntores de Acoplamento de barras	20
2.3- Adição de uma Nova Linha	26
2.4- Implementação do Programa (teste) para Modificar a Matriz Z-Barra, após uma Contingência	28
2.5- Fluxograma do Programa Principal para Modificar Z-Barra, após ocorrer uma Contingência	29
CAPÍTULO 3 - O FLUXO DE CARGA UTILIZANDO A MATRIZ Z-BARRA	30
3.1- Introdução	31
3.2- O Fluxo de Carga Completo (FLUXC)	31
3.2.1- Equacionamento do Método	31
3.2.2- Implementação do Programa do Fluxo de Carga Completo	39
3.3- O Fluxo de Carga Aproximado (FLUCA)	39
3.3.1- Introdução	39
3.3.2- Equacionamento do Método	40
3.3.3- Implementação do Programa do Fluxo de Carga Aproximado	52

PÁGINA

3.4- Fluxograma do Programa Principal para Calcular o o Fluxo de Carga Completo 53
3.5- Fluxograma do Programa Principal para Calcular o Fluxo de Carga Aproximado 54

CAPÍTULO 4 - CÁLCULO DA PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSÃO 55

4.1- Dedução da Fórmula Geral das Perdas Totais de Transmissão 56
4.2- Cálculo do Vetor de Perdas Incrementais de Transmissão (PI) 60
4.3- Implementação do Programa para o Cálculo do Vetor das Perdas Incrementais de Transmissão para o Sistema no Estado Base e em Contingência 61
4.3.1- Sistema no Estado Base 61
4.3.2- Sistema em Contingência 62
4.3.3- Fluxograma do Programa Principal para Calcular o Vetor das Perdas Incrementais a ser Utilizado no Despacho Econômico para o Caso-Base 63
4.3.4- Fluxograma do Programa Principal para Calcular o Vetor das Perdas Incrementais a ser Utilizado no Re-Despacho sob Contingência 65

CAPÍTULO 5 - DESPACHO ECONÔMICO DE "N" GERADORES TERMELÉTRICOS, CONSIDERANDO AS PERDAS NA TRANSMISSÃO 66

5.1- Introdução 67
5.2- Metodologia do Cálculo 68
5.3- Efeito das Restrições de Carga do Gerador no Despacho Econômico 72
5.4- O Algoritmo de Solução para Cálculo das PG(I) e λ 74
5.5- Implementação do Programa Principal para Calcular o Despacho Econômico 77
5.5.1- Para o Caso-Base (Despacho Econômico Completo) 77
Fluxograma do Programa Principal para o Cálculo do Despacho Econômico Completo para o Caso Base 78
5.5.2- Para o Sistema em Contingência 81
Fluxograma do Programa Principal para o Cálculo do Re-Despacho Econômico sob Contingência 82

PÁGINA

CAPÍTULO 6 - RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA UM SISTEMA-EXEMPLO E COMENTÁRIOS FINAIS 83

APÊNDICE I - REDUÇÃO DE KRON DE UMA MATRIZ 88

APÊNDICE II - SUB-ROTINAS PARA MONTAGEM DA MATRIZ Z-BARRA 91

APÊNDICE III - SUB-ROTINAS PARA MODIFICAÇÃO DE Z-BARRA, APÓS OCORRER UMA CONTINGÊNCIA 123

APÊNDICE IV - SUB-ROTINAS PARA CALCULAR OS FLUXOS DE CARGA: COMPLETO (CASO-BASE) E APROXIMADO (SISTEMA EM CONTINGÊNCIA) 144

APÊNDICE V - SUB-ROTINAS PARA CÁLCULO DA PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSÃO (PI) 163

APÊNDICE VI - MODIFICAÇÃO DO PERFIL DAS TENSÕES DE BARRAS, DO VALOR DAS PERDAS ATIVAS TOTAIS E DOS COEFICIENTES ALFA E BETA, A PARTIR DA VARIAÇÃO DAS POTÊNCIAS ATIVAS GERADAS NAS BARRAS TIPO P-V 169

APÊNDICE VII - SUB-ROTINAS PARA A DEFINIÇÃO DO DESPACHO ECONÔMICO REFERENTE AO CASO-BASE E RE-DESPACHO ECONÔMICO PARA O SISTEMA SOB CONTINGÊNCIA 176

APÊNDICE VIII- RESULTADOS OBTIDOS (SISTEMA-EXEMPLO) 190

APÊNDICE IX - ESTRUTURA DA ENTRADA DOS DADOS 296

APÊNDICE X - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 302

CAPÍTULO 1

A MATRIZ Z-BARRA

1- A MATRIZ Z-BARRA (ZB)

1.1- Descrição

A matriz de impedâncias nodais Z-barra é constituída pelas impedâncias no ponto e impedâncias de transferência.

As impedâncias no ponto correspondem aos elementos da diagonal principal da matriz e representam a impedância equivalente entre cada barra do sistema e a barra de referência escolhida arbitrariamente.

As impedâncias de transferência correspondem aos elementos fora da diagonal principal da matriz e representam a impedância comum entre duas barras do sistema e a barra de referência.

Estas impedâncias podem ser determinadas a partir da equação matricial que relaciona a matriz Z-barra às correntes injetadas nas barras e às tensões nas barras (medidas com relação à tensão de referência).

$$\underline{E} - \underline{EREF} = \underline{ZB} * \underline{C} \qquad (1)$$

que, escrita em forma explícita, é:

$$E_1 = ZB_{11}\, C_1 + ZB_{12}\, C_2 + \ldots + ZB_{1K}\, C_K + \ldots + ZB_{1N}\, C_N + EREF$$

$$E_2 = ZB_{21}\, C_1 + ZB_{22}\, C_2 + \ldots + ZB_{2K}\, C_K + \ldots + ZB_{2N}\, C_N + EREF$$

$$\vdots$$

$$E_K = ZB_{K1}\, C_1 + ZB_{K2}\, C_2 + \ldots + ZB_{KK}\, C_K + \ldots + ZB_{KN}\, C_N + EREF$$

$$\vdots$$

$$E_n = ZB_{N1}\, C_1 + ZB_{N2}\, C_2 + \ldots + ZB_{NK}\, C_K + \ldots + ZB_{NN}\, C_N + EREF$$

Fazendo $C_K = 1{,}0$ pu e todas as demais correntes nulas, tem-se:

$E_1 = ZB_{1K} + EREF \rightarrow E_1 - EREF = ZB_{1K}$

$E_2 = ZB_{2K} + EREF \rightarrow E_2 - EREF = ZB_{2K}$

.
.
.

$E_K = ZB_{KK} + EREF \rightarrow E_K - EREF = ZB_{KK}$

.
.
.

$E_N = ZB_{NK} + EREF \rightarrow E_N - EREF = ZB_{NK}$, onde:

ZB_{iK} = impedância de transferência entre as barras "i" e "K" (tensão na barra "i" medida em relação à tensão na barra de referência).

ZB_{KK} = impedância no ponto da barra "K" (tensão na barra "K" medida com relação à tensão na barra de referência):

Já que o modelo é linear, pode-se usar o princípio da superposição e generalizar as definições dessas impedâncias.

Se o vetor C da equação matricial (1) sofrer um acréscimo $\underline{\Delta C}$, o vetor $\underline{E}$ sofrerá um acréscimo $\underline{\Delta E}$ e tem-se:

$$\underline{E} + \underline{\Delta E} = \underline{ZB} * (\underline{C} + \underline{\Delta C}) + \underline{EREF}$$

Logo:

$$\underline{\Delta E} = \underline{ZB} * \underline{\Delta C}$$

Se o vetor $\underline{\Delta C}$ for tal que $\Delta C_K = 1{,}0$ pu e todos os demais componentes nulos (C_i = constante para $i \neq K$), conclui-se que:

$$\Delta E_i = ZB_{iK}$$

$$\Delta E_K = ZB_{KK}$$

podendo-se então definir:

1) A impedância de transferência ZB_{iK} é o acréscimo ΔE_i na tensão da barra "i" quando há um acréscimo de 1,0 pu na corrente injetada na barra "K", qualquer que seja o valor das correntes injetadas nas demais barras.

2) A impedância no ponto ZB_{KK} é o acréscimo ΔE_K na tensão da barra "K" quando há um acréscimo de 1,0 pu na corrente injetada nesta mesma barra, qualquer que seja o valor das correntes injetadas nas demais barras.

1.2- Construção da Matriz

A construção da matriz Z-barra é iniciada com uma única linha de transmissão, sendo as linhas adicionadas uma a uma. A cada linha adicionada, a matriz já montada sofre uma adequada modificação. Z-barra, após cada modificação, representa a parte do sistema que inclui as linhas incorporadas de maneira que sempre haja uma trajetória até a referência para a corrente injetada em qualquer barra da parte montada do sistema (de acordo com a definição de impedância no ponto da matriz Z-barra).

1.2.1- Preparação dos Dados

De posse do desenho do sistema, a barra de referência deve ser escolhida. Para estudos de curto-circuito, a barra de referência é escolhida como sendo o ponto comum atrás de todas as reatâncias dos geradores. No cálculo de fluxo de carga usando a matriz Z-barra, deve ser selecionada a barra "swing" ou a barra de terra comum como a referência.

Os dados são preparados caracterizando cada elemento do sistema de transmissão por duas barras terminais e sua impedância em valores pu em uma base comum.

Para os propósitos deste trabalho, a matriz Z-barra é montada na forma complexa $Z = R + jX$ com os dados das impedâncias das linhas incluindo as respectivas resistências e reatâncias.

1.2.2- Rotinas de Montagem de Z-barra

Os dados, apresentados em uma ordem aleatória, são seqüenciados por um algoritmo para uma ordem conveniente de incorporação das linhas de tal forma que seja possível incorporar à parte da matriz previa

mente construída cada nova linha selecionada da lista de dados original (ver item 1.2.3).

Pelos motivos já citados no item 1.2, a primeira linha a ser incorporada à matriz deve ser necessariamente uma linha que liga a referência a alguma barra do sistema. Cada linha selecionada na lista de dados pode ser um dos três tipos:

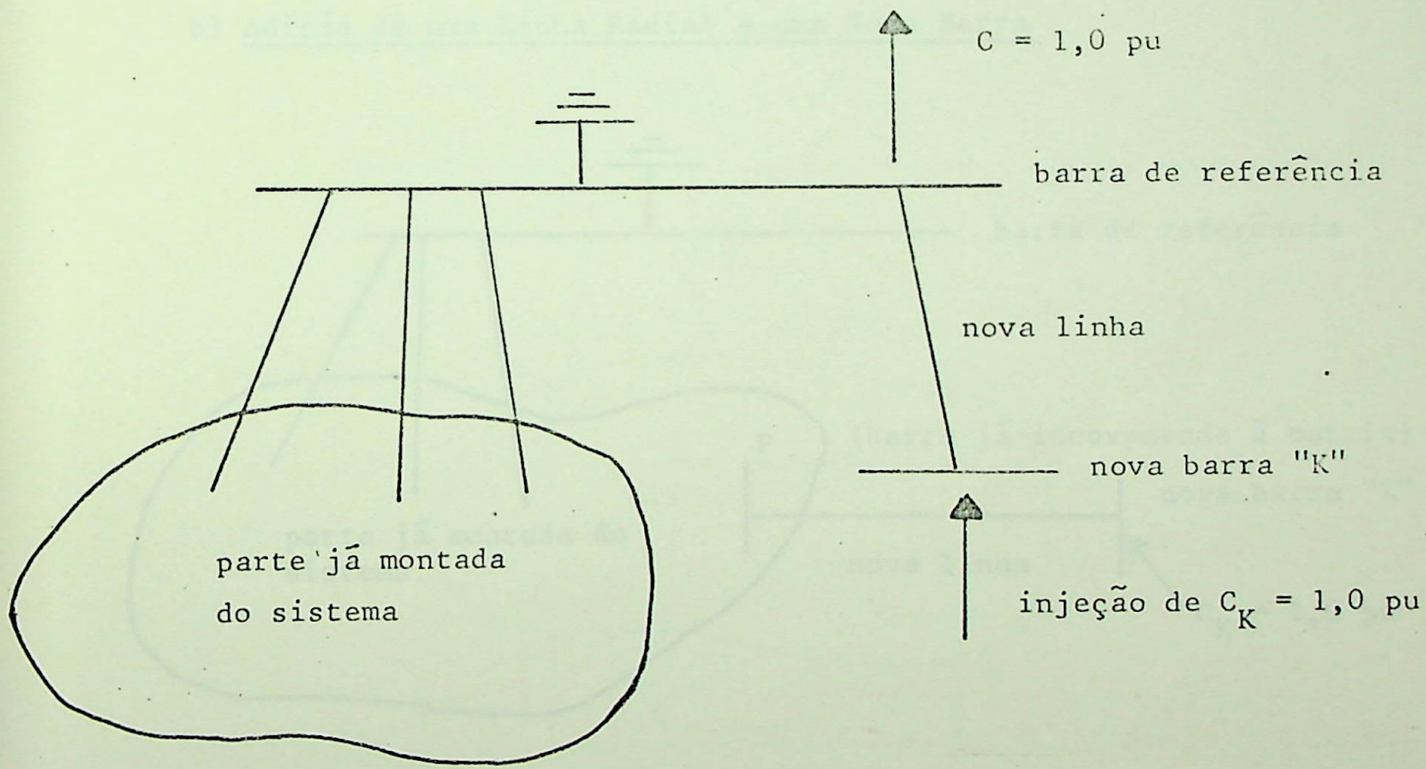
1- uma linha de referência para uma nova barra

2- uma linha radial de uma barra existente para uma nova barra

3- uma linha entre duas barras já incluídas no sistema (linha fecha-malha).

As diferentes rotinas para modificar a parte montada da matriz Z-barra quando da adição de um dos três tipos de linha são apresentados a seguir.

a) Adição de uma linha de referência para uma nova barra.



A injeção de corrente C_K na barra "K" não produzirá tensões nas outras barras do sistema. A injeção de corrente em qualquer outra barra do sistema não produzirá nenhuma tensão na nova barra "K".

Em conseqüência, todos os $Z_{iK} = Z_{Ki} = 0$ para $i \neq K$, isto é, todos os elementos (fora da diagonal) da nova fila "K" e da nova coluna "K" serão nulos.

A impedância no ponto, elemento da diagonal principal do novo eixo da matriz, é igual à impedância da nova linha que está sendo adicionada, pois:

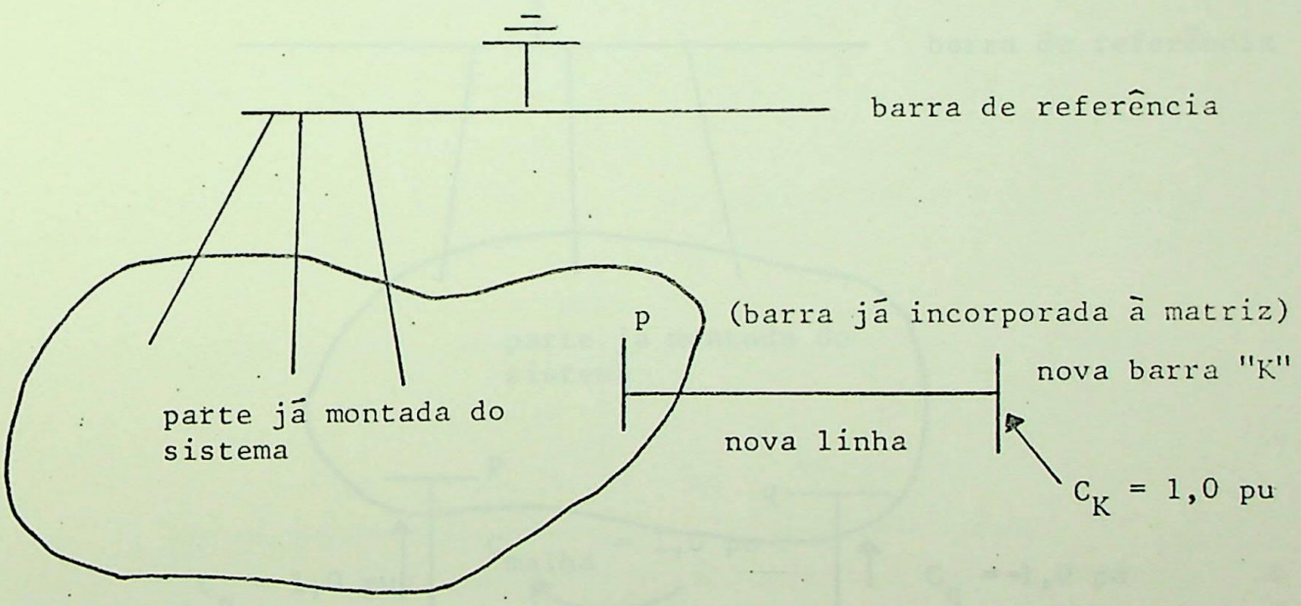
$$E_K = Z_{\substack{\text{linha} \\ \text{(referência -K)}}} \cdot C_K \therefore E_K = z_{\substack{\text{linha} \\ \text{(referência -K)}}}$$

Logo:

$$ZB_{KK} = z_{\substack{\text{linha} \\ \text{(referência -K)}}}$$

Assim, a matriz Z-barra terá um novo eixo, referente à nova barra "K", em que os elementos fora da diagonal da nova fila e nova coluna serão nulos e o elemento da diagonal principal é obtido conforme apresentado na equação anterior.

b) Adição de uma Linha Radial a uma Nova Barra



A injeção de uma corrente $C_K = 1{,}0$ pu na nova barra "K" produz tensões em todas as outras barras do sistema idênticas às que seriam produzidas se a injeção ocorresse na barra "p".

Logo:

$$ZB_{Ki} = ZB_{pi} \qquad \text{para } i \neq K$$

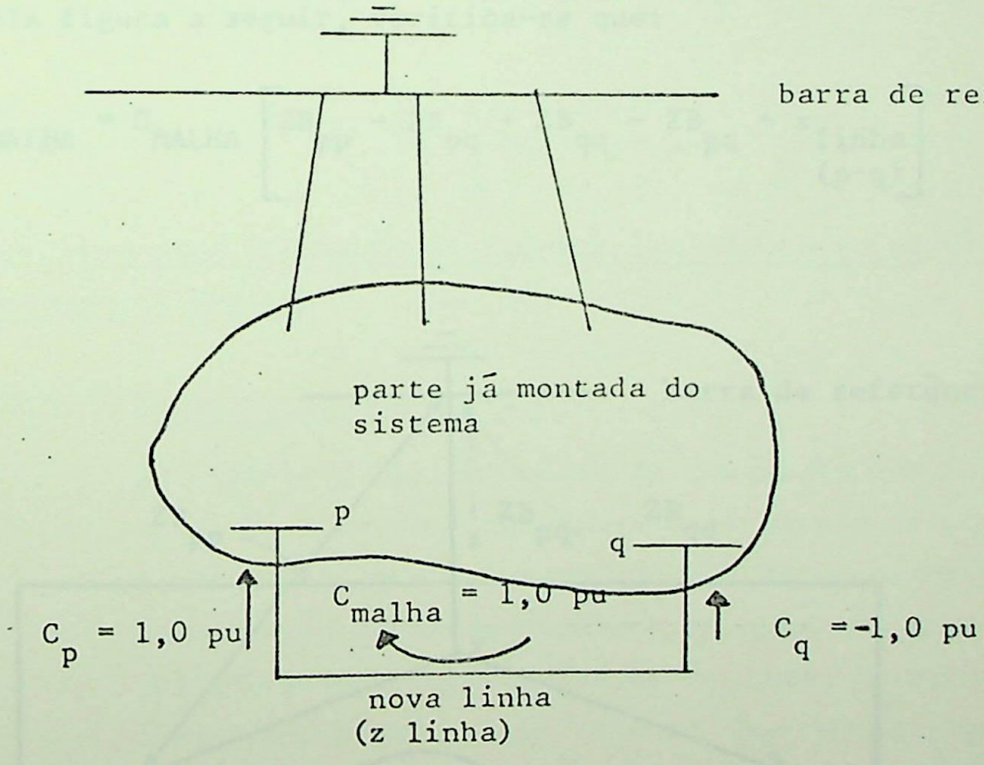
$$ZB_{iK} = ZB_{ip}$$

A impedância no ponto da barra "K" é igual à impedância no ponto da barra "p" acrescida da impedância da linha que está sendo adicionada

$$ZB_{KK} = ZB_{pp} + z_{\substack{\text{linha} \\ (K-p)}}$$

Assim, a matriz Z-barra terá um novo eixo, referente à nova barra "K", em que os elementos fora da diagonal da nova fila e nova coluna serão respectivamente iguais aos da fila e coluna correspondentes à barra "p" e o elemento da diagonal principal é obtido conforme apresentado na equação anterior.

c) Adição de uma Linha Fecha-Malha



Caracteriza-se a linha fecha-malha pelo fato de que as barras "p" e "q", referentes à nova linha, estarem incluídas na matriz da parte já montada do sistema. Por conseguinte, a adição de uma linha desse tipo não introduz nova barra no sistema, não devendo, portanto, ser produzido um novo eixo na matriz.

Uma corrente de malha igual à unidade pode ser considerada como um conjunto de correntes $C_p = 1,0$ pu e $C_q = -1,0$ pu agindo simultaneamente, com as correntes nas outras barras iguais a zero.

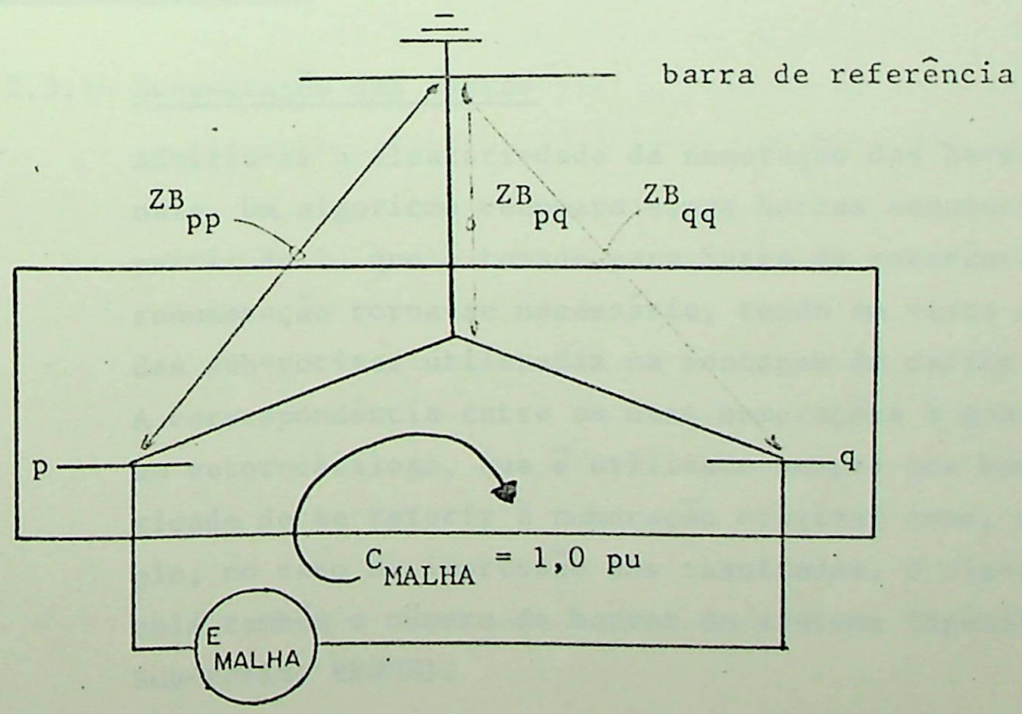
Pela equação (1), tem-se:

$$\begin{bmatrix} ZB_{11} & ZB_{12} & \cdots & ZB_{1p} & \cdots & ZB_{1q} & \cdots & ZB_{1N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & ZB_{2p} & \cdots & ZB_{2q} & \cdots & ZB_{2N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & ZB_{Np} & \cdots & ZB_{Nq} & \cdots & ZB_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ C_p = 1,0 \\ \vdots \\ C_q = -1,0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ZB_{1p} - ZB_{1q} \\ ZB_{2p} - ZB_{2q} \\ \vdots \\ ZB_{Np} - ZB_{Nq} \end{bmatrix}$$

A tensão que deve ser introduzida na malha (criada pela adição da nova linha) deve ser tal que possibilite a circulação de uma unidade de corrente pela malha.

Pela figura a seguir, verifica-se que:

$$E_{MALHA} = C_{MALHA} \left[ZB_{pp} - ZB_{pq} + ZB_{qq} - ZB_{pq} + z_{\substack{\text{linha} \\ (p-q)}} \right]$$



A impedância no ponto da MALHA, $ZB_{MALHA-MALHA}$ é calculada fazendo-se $C_{MALHA} = 1,0$ pu na equação anterior, obtendo-se:

$$ZB_{MALHA-MALHA} = ZB_{pp} + ZB_{qq} - 2ZB_{pq} + z_{\substack{linha \\ (p-q)}}$$

Um eixo da MALHA é adicionado à matriz Z-barra no qual:

$$ZB_{i-MALHA} = ZB_{ip} - Z_{iq}$$

$$ZB_{MALHA-i} = ZB_{pi} - Z_{qi}$$

$$ZB_{MALHA-MALHA} = ZB_{pp} + ZB_{qq} - 2ZB_{pq} + z_{\substack{linha \\ (p-q)}}$$

Esse eixo da MALHA é eliminado da matriz utilizando-se a redução de KRON apresentada resumidamente no Apêndice I.

Como mostrado no referido apêndice, os elementos da matriz Z-barra modificada resultariam:

$$ZBN_{ij} = ZB_{ij} - ZB_{i-MALHA} \cdot \frac{1}{ZB_{MALHA-MALHA}} \cdot ZB_{MALHA-j}$$

1.2.3- Algoritmo para Ordenação de Dados e Implementação do Programa para Montagem de Z-barra

1.2.3.1- Renumeração das Barras

Admitiu-se a aleatoriedade da numeração das barras terminais. Um algoritmo renumera essas barras sequencialmente a partir de 1, que é tomado para barra de referência. Esta renumeração torna-se necessária, tendo em vista a lógica das sub-rotinas utilizadas na montagem da matriz Z-barra. A correspondência entre as duas numerações é guardada em um vetor-catálogo, que é utilizado sempre que houver necessidade de se referir à numeração original como, por exemplo, no caso da impressão dos resultados. O algoritmo calcula também o número de barras do sistema (Apêndice II - Sub-rotina RENUM).

1.2.3.2- Topologia da Rede

Através de um algoritmo, a topologia da rede é armazenada de tal forma que possibilita a utilização de técnicas de busca rápida dos elementos do sistema (Apêndice II - Sub-rotina COSTU).

1.2.3.3- Montagem de Z-barra, com Emprego do Algoritmo de Ordenação de Barras

a) Utilizando-se dos vetores formados pela sub-rotina COSTU, o algoritmo localiza diretamente na lista de dados a primeira linha contendo a referência, que é incorporada em primeiro lugar na lista NODE, que tem por objetivo armazenar a ordem de incorporação em Z-barra de cada barra do sistema. A outra barra, ligada à referência nesta linha, é incorporada em segundo lugar em NODE e é denominada "nó em processamento" (NP).

b) Através de técnicas de busca rápida em listas, são encontradas todas as linhas ligadas a NP na lista de dados, sendo verificada, a cada linha localizada, se a respectiva barra companheira de NP pertence a NODE. Se pertencer, é verificada a sua antiguidade com relação a NP em NODE. Caso seja mais antiga, a linha é incorporada a Z-barra através da utilização adequada das sub-rotinas RAD (adição de linhas radiais, inclusive ligadas à referência) ou FEM (adição de linhas fecha-malha) que empregam as equações apresentadas no item 1.2.2. Caso contrário, pula-se à linha seguinte que contenha NP.

   Se a barra companheira não estiver em NODE, deve ser incorporada à mesma e passa-se à linha seguinte que contenha NP.
   Este processo é repetido até que todas as linhas ligadas a NP na lista de dados tivetem sido percorridas, quando então as respectivas barras companheiras já estarão em NODE.

c) A barra incorporada em NODE imediatamente após NP torna-se o novo NP e repete-se o procedimento a partir de "b", até que todas as linhas tenham sido incorporadas a

a Z-barra, quando então o processo termina.

Como o sistema de transmissão pode ser constituído por várias áreas desconectadas (apenas a referência sendo comum a elas), permanecerão linhas na lista de dados cujas barras (exceto a de referência) ainda não foram incorporadas a NODE; o algoritmo descrito anteriormente só processará uma das áreas. Para se buscar outra área, localiza-se a linha conectada à referência entre aquelas guias cujas barras ainda não pertencem a NODE. Esta barra é incorporada adequadamente em NODE e torna-se o novo NP, possibilitando o reinício do processamento a partir de "b" (Apêndice II - Sub-rotina FAZ).

1.2.3.4- Cálculo dos Elementos de Z-barra Considerando a Existência de Disjuntores de Acoplamento de Barras "Fechados"

Após a inclusão de todas as linhas do sistema na montagem de Z-barra, passa-se à verificação da existência ou não de disjuntores de acoplamento de barras "fechados" e a sua influência no cálculo dos elementos da matriz correspondente à configuração-base.

O fluxograma do programa principal para montagem de Z-barra, apresentado no item 1.2.3.5, inclui tal consideração, sendo que a respectiva metodologia de cálculo está descrita em detalhes no Capítulo 2 do presente trabalho.

O algoritmo, incluído no programa principal, relativo a essa operação é descrito a seguir.

a) Todos os disjuntores de acoplamento existentes no sistema devem estar numerados "a priori".

b) São lidas as numerações dos disjuntores "fechados" (NDSJ), se houver, e das respectivas barras interligadas pelos mesmos (LINEC (J), J = 1,2).

c) Através de IF (NDSJ. EQ. 0) é verificada a existência ou não de disjuntores de acoplamento fechados.

c.1) Se NDSJ ≠ 0, é chamada a sub-rotina FØRMT, que modifica a matriz Z-barra com a consideração de impedância nula entre as barras interligadas e gera a coluna N1 da matriz T das barras fictícias. A dimensão de T é dada por (KK, N1), onde KK é o núme-

ro de barras fictícias geradas.

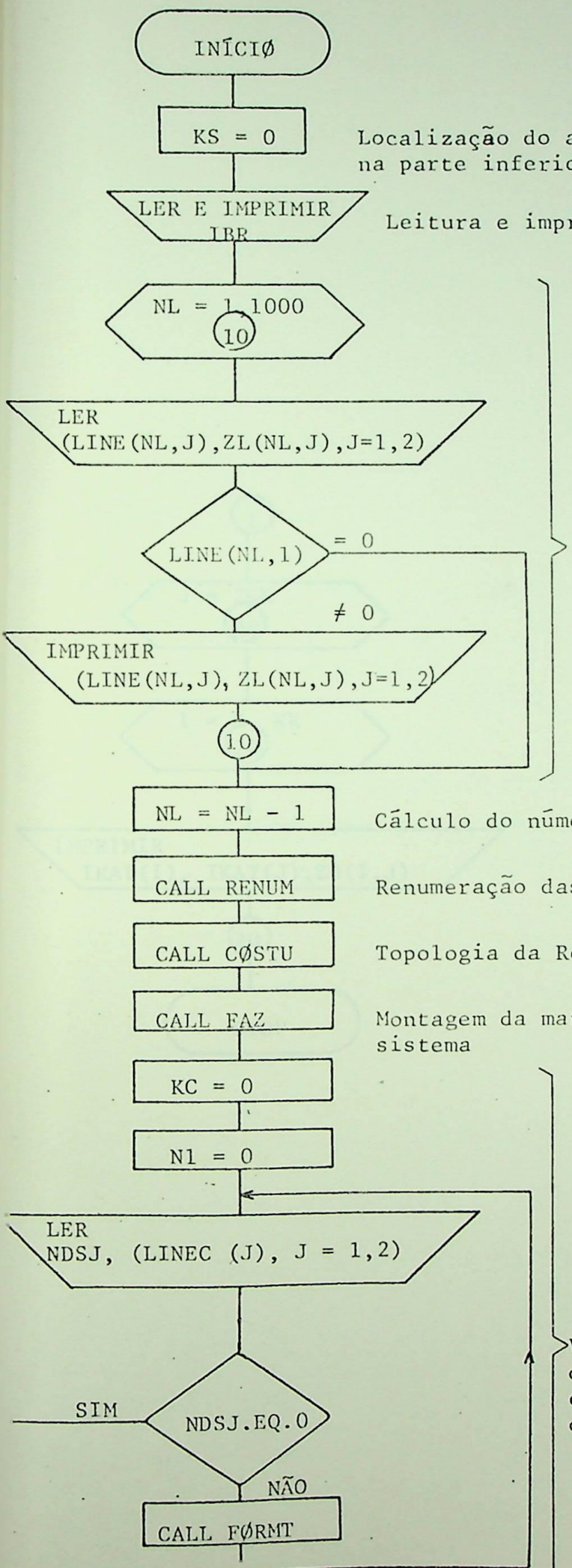
N1 é inicializada com o valor igual a zero dentro do programa principal e incrementada de uma unidade, sempre que FØRMT for utilizada.

A descrição da sub-rotina FØRMT é apresentada em detalhes no Apêndice III.

Após a utilização de FØRMT, é lida a numeração do próximo disjuntor de acoplamento fechado e das respectivas barras interligadas. Caso NDSJ seja ainda diferente de zero, procede-se de forma análoga à apresentada anteriormente.

c.2) Caso NDSJ = 0, não existem mais disjuntores de acoplamento fechados a considerar, estando então calculados os valores das impedâncias nodais da matriz T para a configuração-base.

1.2.3.5- FLUXOGRAMA DO PROGRAMA PRINCIPAL PARA MONTAGEM DE Z-BARRA



Localização do armazenamento dos elementos de Z-barra na parte inferior da matriz

Leitura e impressão da barra de referência

Leitura e impressão das barras terminais das linhas do sistema e respectivas impedâncias (resistências e reatâncias)

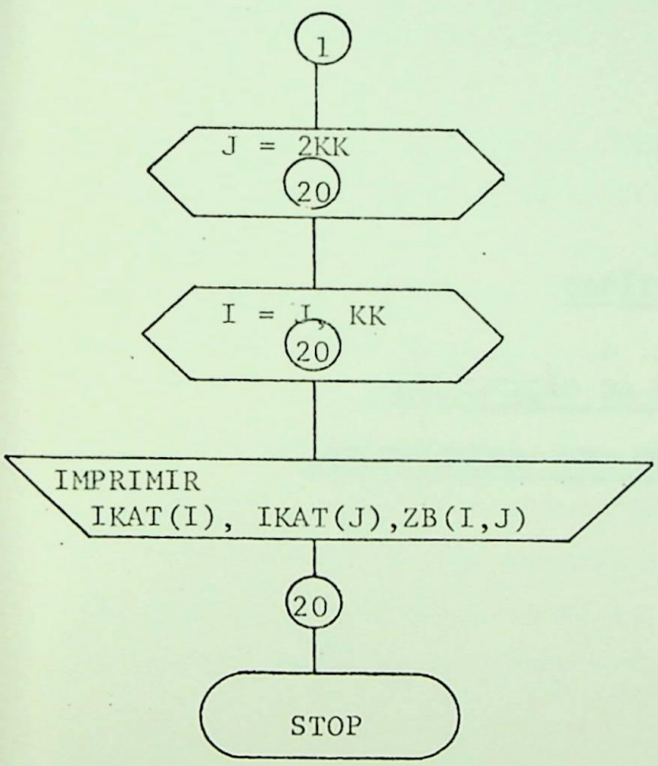
Cálculo do número de linhas do sistema

Renumeração das barras

Topologia da Rede

Montagem da matriz Z-barra, considerando as linhas do sistema

Verificação da existência de disjuntores de acoplamento de barras "fechados" e cálculo dos elementos de Z-barra incluindo essa consideração, se houver



Impressão dos elementos da matriz Z-barra

CAPÍTULO 2

MODIFICAÇÃO DA MATRIZ Z-BARRA, APÓS OCORRER UMA CONTINGÊNCIA SIMPLES

- MODIFICAÇÃO DA MATRIZ Z-BARRA QUANDO ACONTECE MUDANÇA NA CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO (CONTINGÊNCIA SIMPLES)

.1- Introdução

Quando ocorre mudança na configuração do sistema, devido a uma contingência, as informações inseridas na matriz Z-barra original devem ser convenientemente atualizadas para representar o novo estado resultante.

No entanto, não é desejável que, a cada contingência, os elementos da matriz original sejam modificados pois, à medida que modificações sucessivas no sistema ocorressem (remoções e respectivas re-adições de linha, por exemplo), os erros se acumulariam no cálculo dos valores de Z-barra, devido a problemas de arredondamento.

O método adotado no presente trabalho, especificamente no que se refere à abertura de linhas (1), consiste em armazenar as informações necessárias à atualização da matriz em posições auxiliares denominadas "eixo provisório", de tal forma que, quando houver a restauração do sistema à situação inicial, os valores dos elementos da matriz original resultem inalterados.

Foi considerada também como contingência a energização de uma nova linha, tendo em vista que o seu fechamento pode causar a redistribuição do fluxo de potência nas linhas existentes. Para este caso, assumindo não haver restauração para o estado inicial, os valores dos elementos de Z-barra são modificados nas suas posições originais.

2.2- Remoção de Linhas

A remoção de uma linha é simulada pela adição em paralelo de uma linha fictícia, cuja impedância é o negativo da impedância da linha a ser removida (ver figura I). Esta linha fictícia será sempre do tipo FECHA-MALHA, pois as suas barras terminais já pertencem ao sistema montado. A sub-rotina ... FEMC, para incorporar linhas tipo FECHA-MALHA devido a contingência, é chamada a intervir (ver Apêndice III).

Tendo em vista que os valores dos elementos da matriz Z-barra original não

(1) Embora com a denominação genérica de "linha", inclui também transformadores e disjuntores de acoplamento de barras.

serão modificados para este tipo de contingência (conforme item 2.1), a redução de KRON, incluída em FEMC, não poderá ser efetuada. Torna-se necessário, então, que FEMC possua uma chave que distinga entre remoção e adição de linha tipo FECHA-MALHA.

Adotou-se a coluna da matriz referente à barra de referência (coluna 1) para armazenar as informações necessárias ao cálculo dos valores atualizados dos elementos de Z-barra (ver figura II).

Figura I

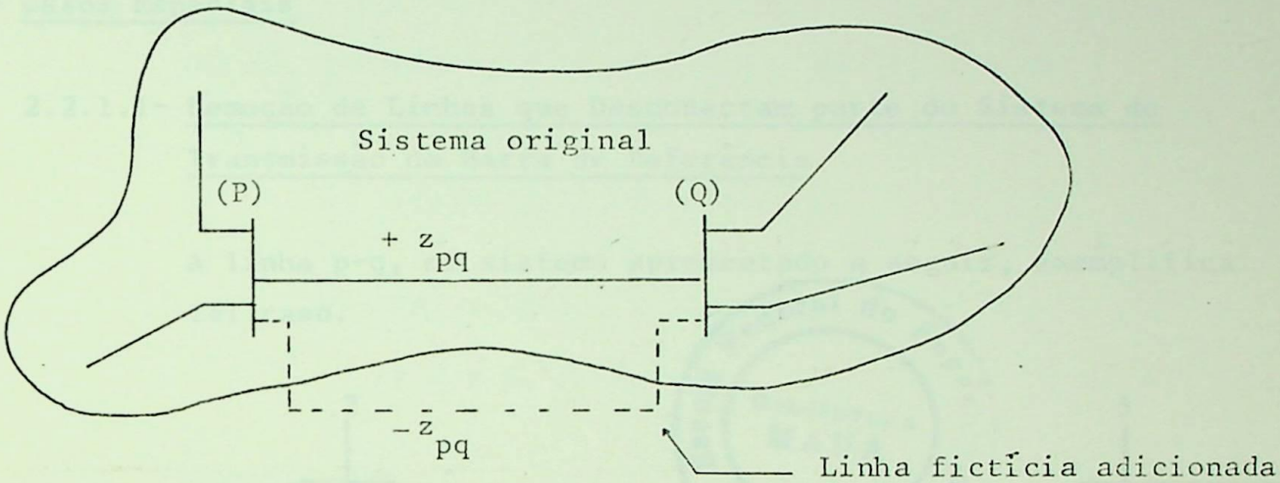
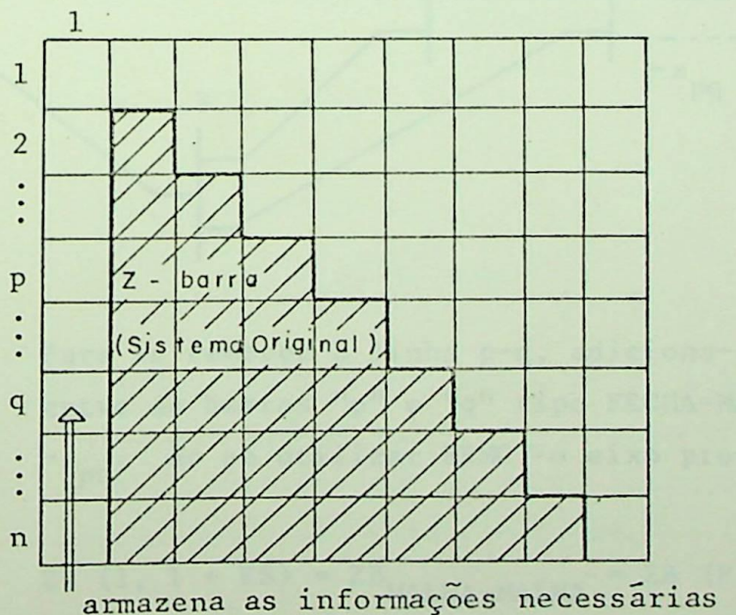


Figura II



Para calcular o elemento referente às barras "I" e "J" da nova configuração, por exemplo, far-se-ia, aplicando a redução de KRON:

$$ZBN = ZB\ (I,\ J + KS) - ZB\ (J,\ 1 + KS) * ZB\ (I,\ 1 + KS)/ZB\ (1,1 + KS) \quad (1)$$

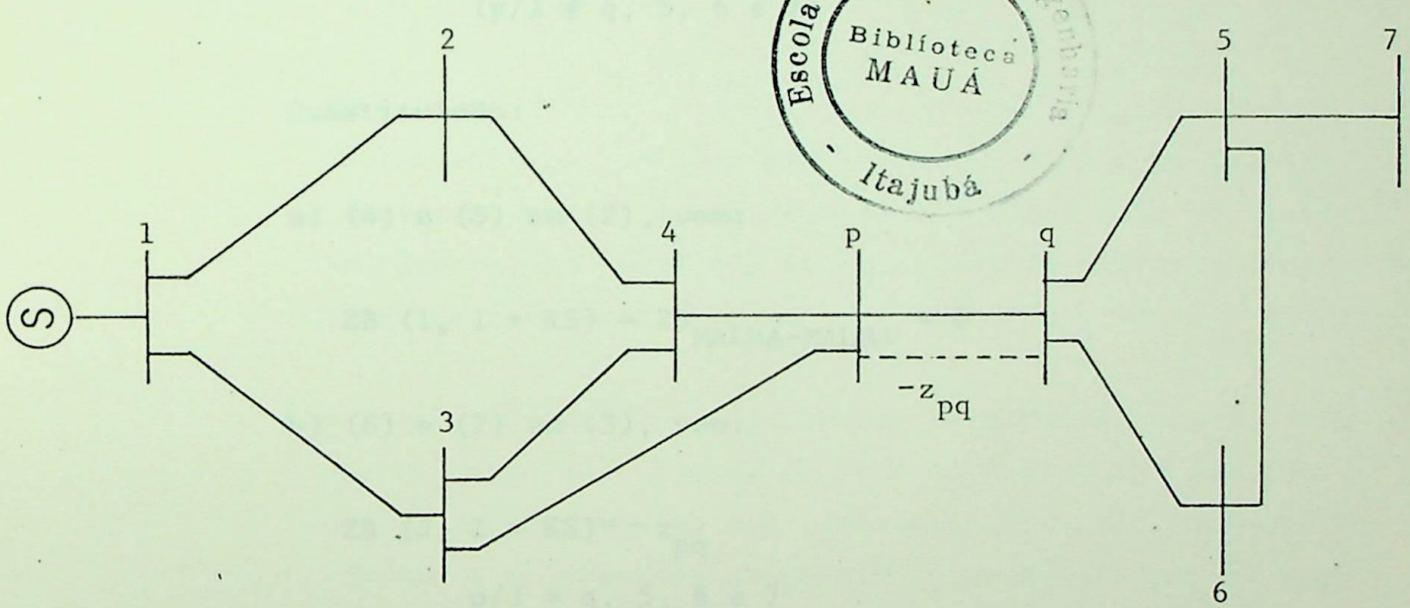
Os elementos da matriz Z-barra, correspondentes à configuração após a restauração do sistema, permanecem com seus valores intactos nas respectivas posições originais (na parte triangular inferior da matriz, sem considerar a coluna 1).

2.2.1- Casos Especiais

2.2.1.1- Remoção de Linhas que Desconectam parte do Sistema de Transmissão da Barra de Referência

A linha p-q, no sistema apresentado a seguir, exemplifica tal caso.

Escola Federal de Engenharia - Itajubá
Biblioteca MAUÁ



Para se remover a linha p-q, adiciona-se a linha fictícia entre as barras "p" e "q" tipo FECHA-MALHA com impedância $-z_{pq}$. Ao se utilizar FEMC, o eixo provisório resultaria:

$$ZB\ (1,\ 1 + KS) = ZB_{MALHA-MALHA} = ZB\ (P,\ P + KS) +$$

$$+ ZB\ (Q,\ Q + KS) - 2 * ZB\ (P,\ Q + KS) + (-z_{pq}) \quad (2)$$

$$ZB\ (J,\ 1 + KS) = ZB\ (J,\ P + KS) - ZB\ (J,\ Q + KS) \qquad (3)$$

$$p/\ J = 2\ a\ 7$$

Mas, para este tipo de linha:

$$ZB\ (Q,\ Q + KS) = ZB\ (P,\ P + KS) + z_{pq} \qquad (4)$$

$$ZB\ (P,\ Q + KS) = ZB\ (P,\ P + KS) \qquad (5)$$

$$ZB\ (J,\ P + KS) = ZB\ (P,\ P + KS) \qquad (6)$$

$$ZB\ (J,\ Q + KS) = ZB\ (Q,\ Q + KS) = ZB\ (P,\ P + KS) + z_{pq} \qquad (7)$$

$$(p/J = q,\ 5,\ 6\ e\ 7)$$

$$ZB\ (J,\ P + KS) = ZB\ (J,\ Q + KS) \qquad (8)$$

$$(p/J \neq q,\ 5,\ 6\ e\ 7)$$

Substituindo:

a) (4) e (5) em (2), vem:

$$ZB\ (1,\ 1 + KS) = ZB_{MALHA-MALHA} = 0$$

b) (6) e (7) em (3), vem:

$$ZB\ (J,\ 1 + KS) = -z_{pq}$$

$$p/J = q,\ 5,\ 6\ e\ 7$$

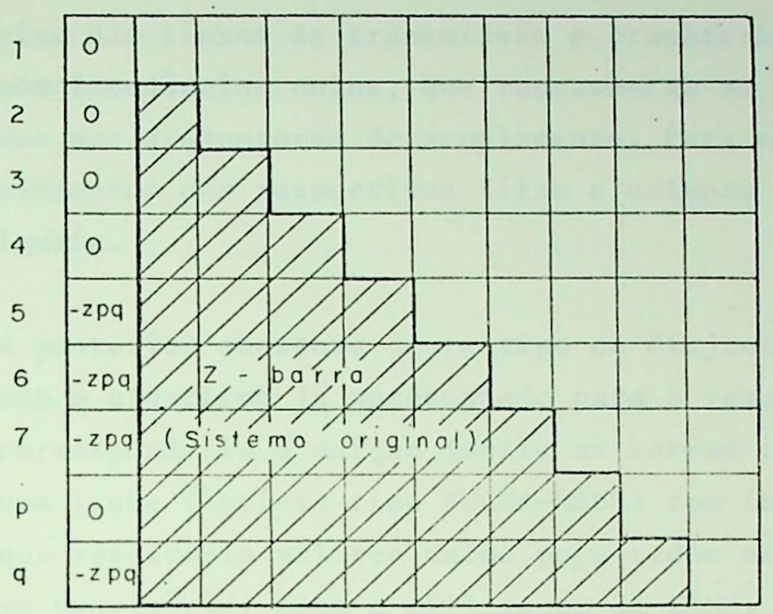
(Em termos de processamento, pelas lógicas das sub-rotinas utilizadas, esse valor $-z_{pq}$ só ocorrerá se NP = P e NC = Q consideradas na mesma forma que a da figura da página anterior. Caso contrário, $ZB\ (J,\ 1 + KS) = +z_{pq}$).

c) (8) em (3), vem:

$$ZB\ (J,\ 1 + KS) = 0$$

$$p/J \neq q,\ 5,\ 6\ e\ 7$$

O eixo que armazena as informações necessárias ao cálculo dos novos elementos resulta:



As respectivas posições das barras 2, 3, 4 e p, que continuam conectadas à referência, têm valor nulo no eixo provisório, ao passo que as relativas às barras desconectadas da referência têm valor igual a $-z_{pq}$ ou $+z_{pq}$ $(\neq 0)$.

Conclui-se, então, que as barras representativas da nova configuração (decorrente da remoção deste tipo de linha) seriam apenas aquelas que tivessem valor nulo no eixo provisório e as impedâncias nodais referentes a estas barras respectivamente as mesmas da matriz Z-barra original.

Caso se utilizasse a redução de KRON (equação 1) para o cálculo dos novos valores, resultariam impedâncias infinitas entre as barras desconectadas e a referência e valores indeterminados para as impedâncias nodais entre as barras ainda conectadas e a referência.

2.2.1.2- Abertura de disjuntores de acoplamento de barras

Um sistema elétrico pode ter um certo número de disjuntores

de acoplamento de barras que podem ser abertos ou fechados, de acordo com as condições operacionais requeridas.

A montagem da matriz Z-barra deve levar em conta o estado do sistema, considerando em seu cálculo, além das impedâncias das linhas de transmissão e transformadores, linhas com impedâncias nulas, que representam as barras interligadas por disjuntores de acoplamento. Para essas barras, os elementos das respectivas filas e colunas de Z-barra são iguais.

A posterior abertura deste tipo de disjuntor, de acordo com o algoritmo já apresentado para a remoção de linhas, corresponderia à adição (entre as barras interligadas) de uma linha fictícia tipo FECHA-MALHA com impedância -0.0, o que resultaria valores nulos para todos os elementos do eixo provisório, após a utilização de FEMC.

Exemplo: Barras "p" e "q" interligadas por disjuntor de acoplamento.

$$ZB(1, 1 + KS) = ZB_{MALHA-MALHA} = ZB(P, P + KS) +$$

$$+ ZB(Q, Q + KS) - 2 * ZB(P, Q + KS) + (-0.0)$$

$$ZB(J, 1 + KS) = ZB(J, P + KS) - ZB(J, Q + KS)$$

Sendo:

$$ZB(P, P + KS) = ZB(Q, Q + KS) = ZB(P, Q + KS)$$

$$ZB(J, P + KS) = ZB(J, Q + KS)$$

Resulta:

$$ZB(1, 1 + KS) = ZB_{MALHA-MALHA} = 0$$

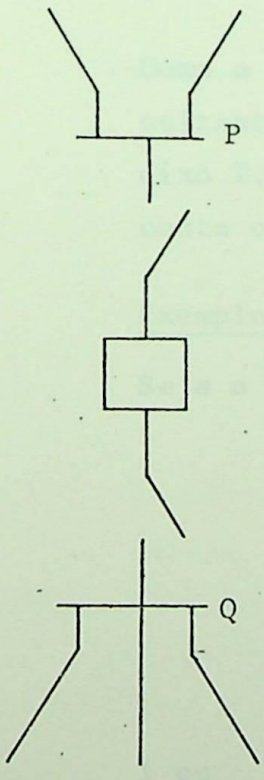
$$ZB(J, 1 + KS) = 0$$

Desse modo, não seria permitido calcular os elementos re-

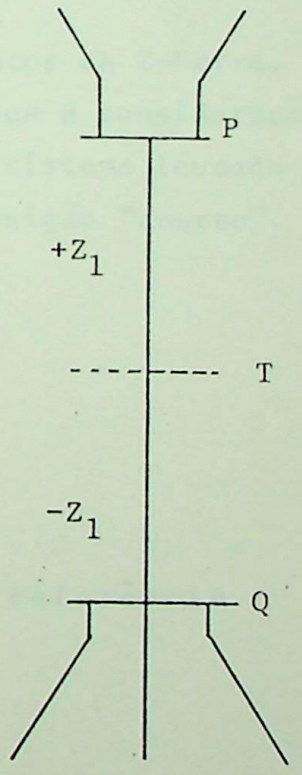
presentativos da configuração considerando o disjuntor de acoplamento aberto.

O método utilizado (H. E. Brown - Grandes Sistemas Elétricos - Métodos Matriciais), que permite a abertura do disjuntor de acoplamento, seria a introdução de uma barra fictícia T entre as barras a serem interligadas com a adição de uma linha com impedância +zl entre uma das barras terminais e T e de uma linha entre T e a outra barra com impedância -zl, como mostrado a seguir.

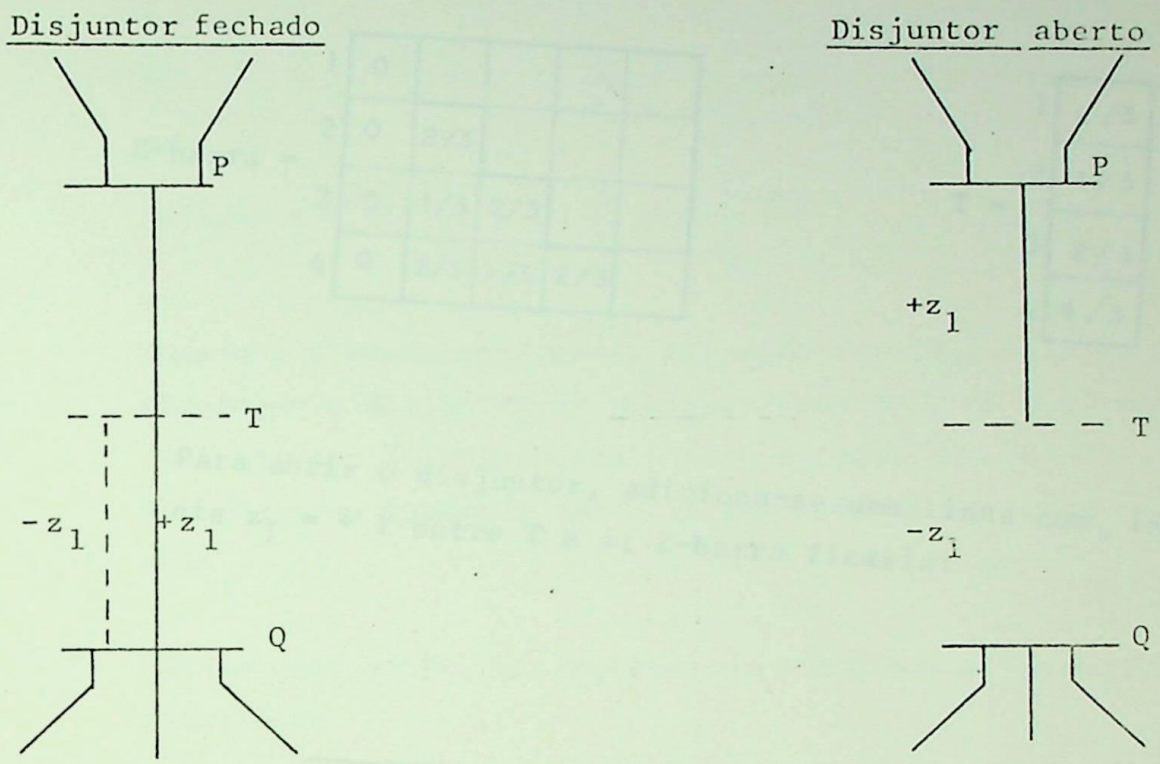
Disjuntor aberto



Disjuntor fechado



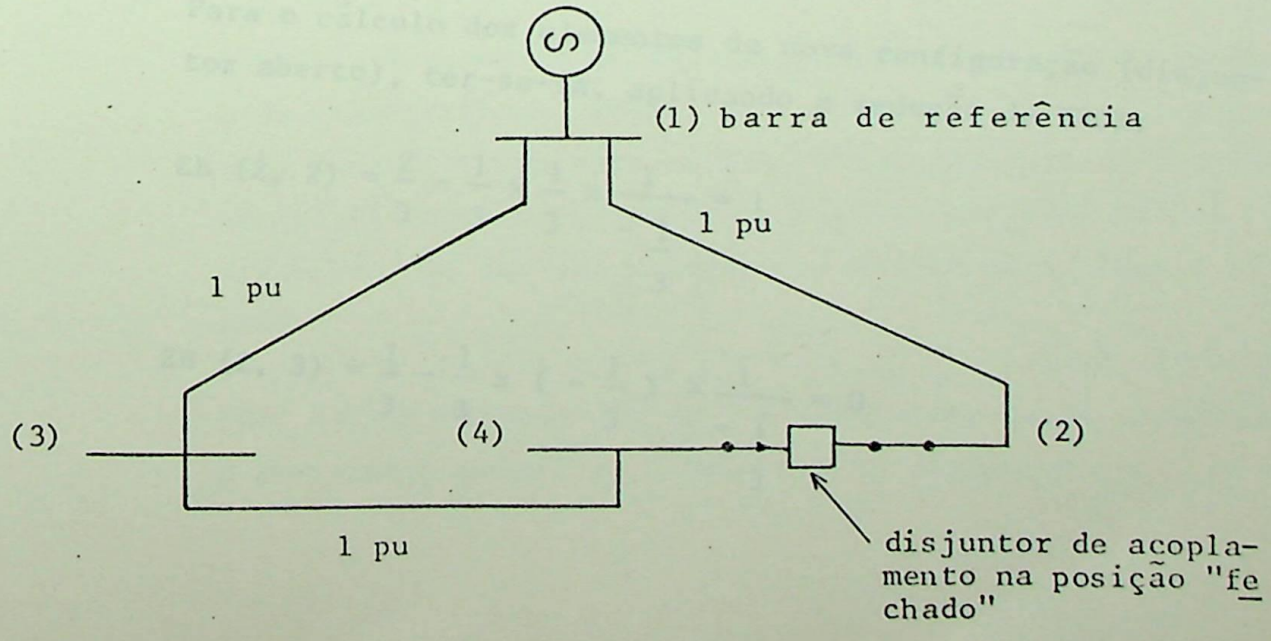
A impedância entre as duas barras é nula, mas agora o disjuntor pode ser aberto com a adição de uma linha FECHA-MALHA entre T e Q com impedância + z1, o que removerá a ligação do disjuntor acoplado à barra Q.



Como a linha P - T é radial, os elementos de Z-barra, resultantes das operações anteriores e sem a consideração do eixo T, representam a configuração do sistema levando em conta o disjuntor de acoplamento na posição "aberto".

Exemplo:

Seja o sistema:



A seguir é apresentada Z-barra considerando o disjuntor fechado, com a barra fictícia T ligada às barras 2 e 4, através das impedâncias +1 e -1 pu, respectivamente. As impedâncias nodais, relativas à barra T, são armazenadas em vetor separado.

Z-barra =

1	0			
2	0	2/3		
3	0	1/3	2/3	
4	0	2/3	1/3	2/3

T =

1	2/3 ← ZB(T.T
2	1/3
3	2/3
4	4/3

Para abrir o disjuntor, adiciona-se uma linha com impedância $z_1 = +1$ entre T e 4; Z-barra ficaria:

Z-barra =

1	-1/3			
2	1/3	2/3		
3	-1/3	1/3	2/3	
4	-2/3	2/3	1/3	2/3

T =

2/3	← ZB(T.T)
1/3	
2/3	
4/3	

Para o cálculo dos elementos da nova configuração (disjuntor aberto), ter-se-ia, aplicando a redução de KRON:

$$ZB\ (2,\ 2) = \frac{2}{3} - \frac{1}{3} \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{-\frac{1}{3}} = 1$$

$$ZB\ (2,\ 3) = \frac{1}{3} - \frac{1}{3} \times \left(-\frac{1}{3}\right) \times \frac{1}{-\frac{1}{3}} = 0$$

$$ZB(2,4) = \frac{2}{3} - \frac{1}{3} \times (-\frac{2}{3}) \times \frac{1}{-\frac{1}{3}} = 0$$

$$ZB(3,3) = \frac{2}{3} - (-\frac{1}{3}) \times (-\frac{1}{3}) \times \frac{1}{-\frac{1}{3}} = 1$$

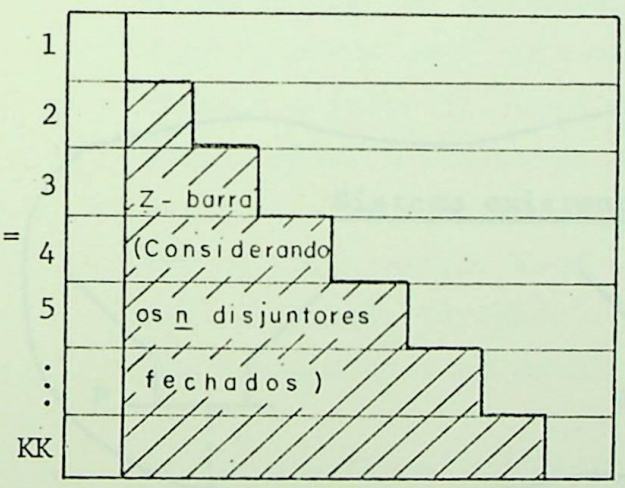
$$ZB(3,4) = \frac{1}{3} - (-\frac{1}{3}) \times (-\frac{2}{3}) \times \frac{1}{-\frac{1}{3}} = 1$$

$$ZB(4,4) = \frac{2}{3} - (-\frac{2}{3}) \times (-\frac{2}{3}) \times \frac{1}{-\frac{1}{3}} = 2$$

Quando o sistema retornar à situação inicial, isto é, considerando o disjuntor na posição "fechado", os elementos de Z-barra e T, referentes a este estado, permanecem com seus valores intactos nas suas respectivas posições originais

Para o caso de "n" disjuntores de acoplamento "fechados" , ter-se-ia:

Z-barra =



T =

	1	2	...	n
1		ZB (T, T)		
2				
3				
4				
5				
:				
KK				

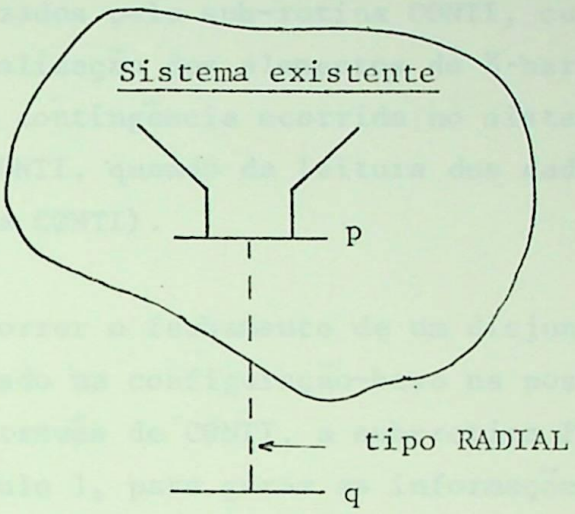
A matriz T armazena os valores das impedâncias, no ponto e de transferência, relativas às barras fictícias geradas pelo fechamento de cada um dos "n" disjuntores de acoplamento. As impedâncias de transferência entre as barras fictícias não são calculadas, por não terem interesse prático.

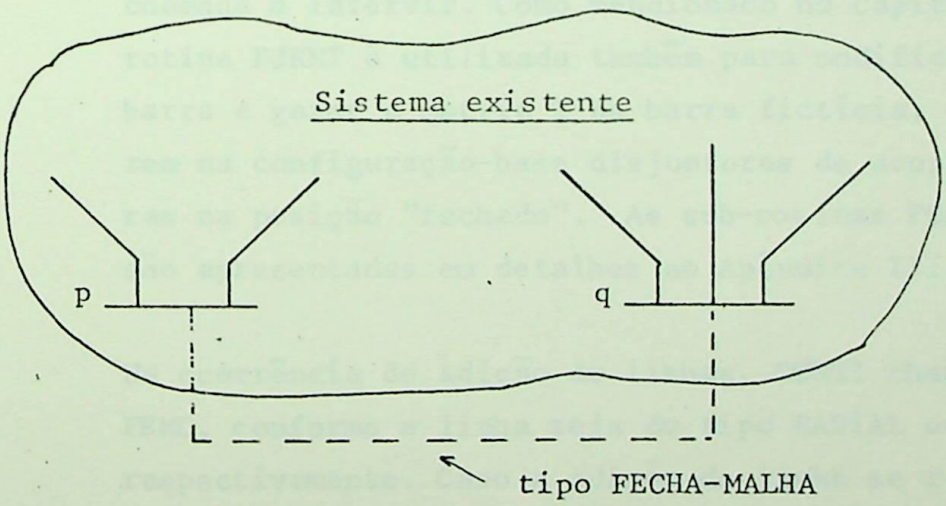
Para abrir qualquer dos "n" disjuntores, basta localizar a respectiva coluna em T relativa ao disjuntor que será

aberto e proceder de forma análoga a apresentada anteriormente.

2.3 - Adição de uma nova linha

Uma nova linha adicionada ao sistema pode ser do tipo RADIAL ou FECHA-MALHA se, respectivamente, uma das barras ou ambas pertencerem ao sistema existente.





A atualização de Z-barra, considerando a nova linha, é feita através da utilização adequada das sub-rotinas RADC ou FEMC, apresentadas no Apêndice III.

2.4 - Implementação do Programa para modificar a matriz Z-barra, após uma contingência simples

A matriz Z-barra, referente à configuração-base, montada

através do algoritmo de construção apresentado no capítulo 1, está armazenada em memória auxiliar, bem como os dados das linhas, o número de barras (KK) e de linhas do sistema (NL) e todos os vetores originados quando da montagem de Z-barra (IKAT, KØM, etc.) inclusive a matriz T das barras fictícias, se houver.

Quando acontece uma contingência simples, esses dados são utilizados pela sub-rotina CONTI, cujo objetivo é orientar a atualização dos elementos de Z-barra de acordo com o tipo de contingência ocorrida no sistema, que é identificada por CONTI, quando da leitura dos dados (Apêndice III, sub-rotina CØNTI).

Ao ocorrer o fechamento de um disjuntor de acoplamento, considerado na configuração-base na posição "aberto", é chamada, através de CØNTI, a sub-rotina FØRMT, apresentada no capítulo 1, para gerar as informações que permitirão a atualização de Z-barra. O mesmo acontece quando há a abertura desse tipo de disjuntor, considerado originalmente "fechado", sendo que, para esse caso, a sub-rotina ABRID é chamada a intervir. Como mencionado no Capítulo 1, a sub-rotina FØRMT é utilizada também para modificar a matriz Z-barra e gerar a matriz T da barra fictícia, quando existirem na configuração-base disjuntores de acoplamento de barras na posição "fechado". As sub-rotinas FORMT e ABRID são apresentadas em detalhes no Apêndice III.

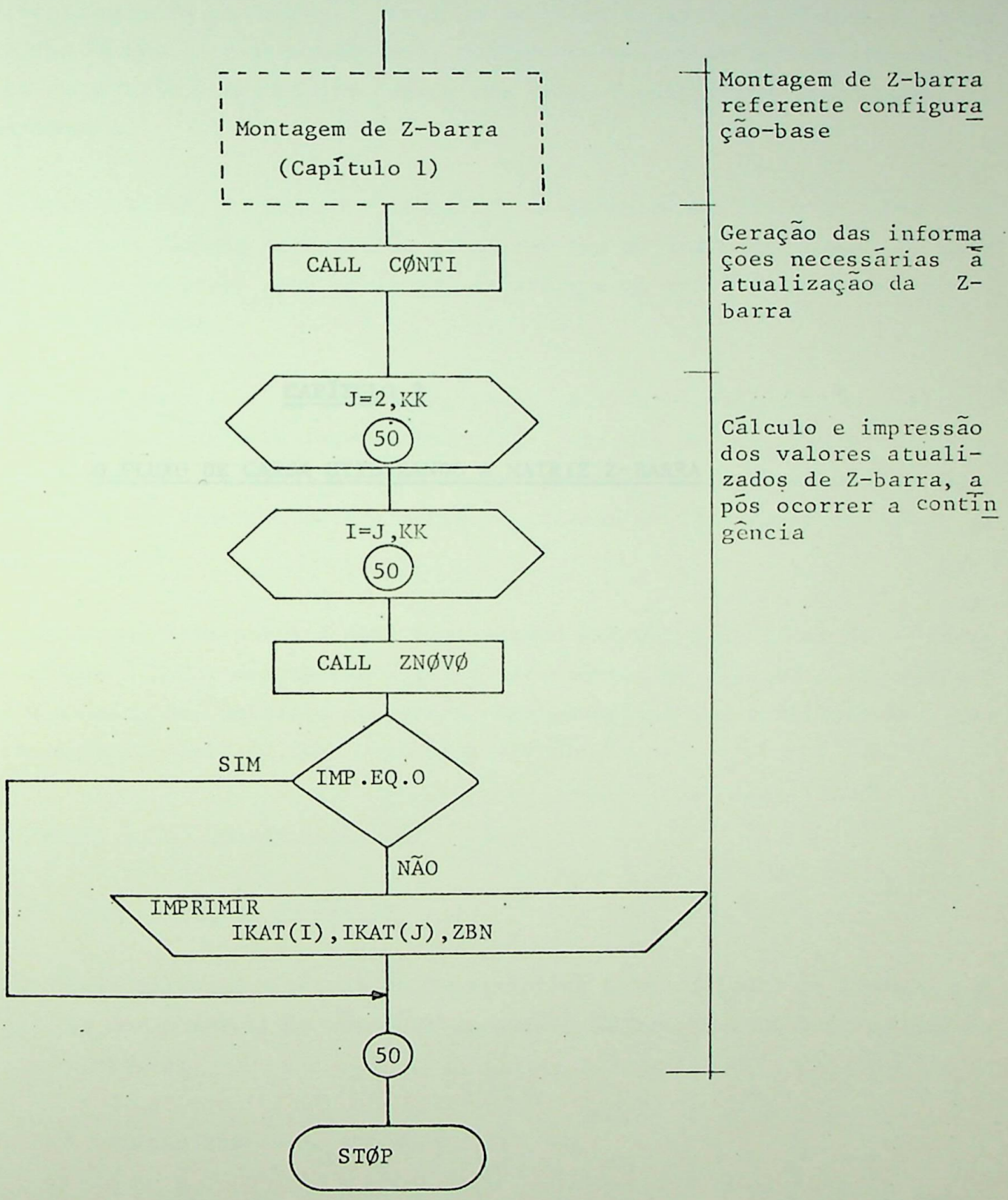
Na ocorrência de adição de linhas, CØNTI chamará RADC ou FEMC, conforme a linha seja do tipo RADIAL ou FECHA-MALHA, respectivamente. Caso a adição da linha se referir à restauração do sistema, CØNTI não executará nenhuma instrução adicional após tomar conhecimento de tal informação (leitura dos dados de entrada de CØNTI, KR≠0).

Se a contingência se referir à remoção de linha, é chamada a sub-rotina FEMC, conforme citado no item 2.2.

Após CØNTI ter sido processada, os valores atualizados das

impedâncias nodais relativas à configuração modificada são calculados pela sub-rotina ZNØVØ (Apêndice III).

2.5 - FLUXOGRAMA DO PROGRAMA PRINCIPAL(TESTE) PARA MODIFICAR Z-BARRA, APÓS OCORRER UMA CONTINGÊNCIA SIMPLES



CAPÍTULO 3

O FLUXO DE CARGA UTILIZANDO A MATRIZ Z-BARRA

3- O FLUXO DE CARGA UTILIZANDO A MATRIZ Z-BARRA

3.1- Introdução

O objetivo dos estudos de fluxo de carga é determinar o estado de operação de um sistema de transmissão (tensões em todas as barras e fluxos de potência nas linhas e transformadores), conhecendo-se a topologia do sistema, as suas características construtivas e uma dada configuração de cargas nos barramentos.

Foi desenvolvido, no presente trabalho, um programa de fluxo de carga completo para o cálculo de todas as grandezas que definem esse estado de operação. Este programa será utilizado sempre que os estudos corresponderem à configuração base.

Quando o sistema estiver em contingência, utilizam-se técnicas apresentadas em trabalhos anteriores (ver referências), através de um fluxo de carga simplificado que, embora com resultados aproximados, requer tempo de processamento bem inferior ao que seria verificado utilizando-se o fluxo de carga completo.

As grandezas, referentes a esse novo estado gerados pelo fluxo de carga aproximado (FLUCA) são apenas aqueles necessários ao cálculo do re-despacho econômico das unidades geradoras, após ocorrida uma contingência no sistema de transmissão (ver Capítulos 4 e 5).

3.2- O Fluxo de Carga Completo (FLUXC)

3.2.1- Equacionamento do Método

Foi utilizado o método de Gauss-Seidel para o cálculo do fluxo de carga com a matriz de impedâncias nodais (Z-barra) como instrumento de iteração:

A equação básica do método é:

$$\underline{E} - \underline{EREF} = \underline{ZB} * \underline{C} \qquad (1)$$

Escola Federal de Itajubá
Biblioteca MAUÁ

onde:

ZB - matriz das impedâncias de barra (Z-barra), sendo que nenhuma admitância "shunt" foi considerada na sua montagem. A barra de referência de Z-barra é tomada como "swing" do fluxo de carga.

C - vetor das correntes injetadas nas barras, excluíndo o elemento correspondente à referência. A sua dimensão é de (KK-1), sendo KK o número total de barras do sistema.

EREF - vetor de dimensão (KK-1) com todos os elementos iguais à tensão de referência.

E - vetor das tensões de barra, excluíndo a barra de referência: (KK-1)

A potência complexa SIGL(I) injetada na barra "I", incluindo a potência que flue por todas as admitâncias "shunt" conectadas à barra "I", é

$$SIGL(I) = PØT(I)^{G} - PØT(I)^{C} - PØT(I)^{S}$$

onde:

$PØT(I)^{G}$ = potência complexa gerada na barra "I"

$PØT(I)^{C}$ = potência complexa de carga conectada na barra "I"

$PØT(I)^{S}$ = potência reativa que flue por todas as admitâncias "shunt" conectadas na barra "I"

$$PØT(I)^{S} = E(I) * CØNJG(E(I)) * CØNJG(Y(I))$$

Y(I) = somatória de todas as admitâncias "shunt" ligadas na barra "I"

A corrente C(I) líquida injetada na barra "I" seria:

$$C(I) = \frac{CØNJG(PØT(I)^{G}) - CØNJG(PØT(I)^{C})}{CØNJG(E(I))} - \frac{CØNJG(E(I)) * E(I) * Y(I)}{CØNJG(E(I))}$$

logo:

$$C(I) = \frac{CØNJG(PØT(I)^{G}) - CØNJG(PØT(I)^{C})}{CØNJG(E(I))} - E(I) * Y(I) \qquad (2)$$

O processo de solução, usando Gauss - Seidel, é o seguinte:

a) Calcula-se as tensões em cada barra do sistema, uma de cada vez, utilizando (1).

b) Calcula-se as correntes, através de (2).

c) Quando uma nova tensão de barra é obtida, a respectiva corrente injetada é recalculada e é considerada com esse novo valor no cálculo das tensões das barras restantes.

Dessa forma, tendo em vista (1), pode se escrever:

$$E(I)^{k+1} = E(I)^{k} + \sum_{J=2}^{I-1} ZB(I,J) * C(J)^{k+1} + \sum_{J=I}^{KK} ZB(I,J) * C(J)^{k}$$

onde:

$E(I)^{k+1}$ = tensão na barra "I" na iteração k+1

EREF - tensão na barra de referência (barra nº 1)

ZB(I,J) = elemento (I,J) da matriz Z-barra

$C(J)^{k}$ = corrente líquida injetada na barra "J" na iteração K (para $I \leqslant J$)

$C(J)^{k+1}$ = corrente líquida injetada na barra "J" na iteração k+1 (para $I > J$)

Para barras do tipo P-Q (barras de carga) tem-se:

$$P\emptyset T(I)^{G} = 0$$

$$\left.\begin{array}{l} \text{REAL } (P\emptyset T(I)^{C}) \\ \text{AIMAG}(P\emptyset T(I)^{C}) \end{array}\right\} \text{ valores especificados}$$

logo:

$$C(I) = \frac{C\emptyset NJG\ (P\emptyset T(I)^{C})}{C\emptyset NJG\ (E(I))} - E(I) * Y(I)$$

Para barras tipo P-V (barras de geração controlável), tem-se:

$$\left.\begin{array}{l} PG(I) = \text{REAL } (P\emptyset T(I)^{G}) \\ \qquad\quad \text{CABS } (E(I)) \end{array}\right\} \text{ valores especificados}$$

logo:

$$C(I) = \frac{C\emptyset NJG\ (P\emptyset T(I)^{G})}{C\emptyset NJG(E(I)} - E(I) * Y(I)$$

sendo:

$$\text{AIMAG } (P\emptyset T\ (I)^{G}) = \text{QICAL}(I)$$

$$\text{QICAL}(I) = -\ \text{AIMAG}\left[\text{C}\emptyset\text{NJG } (E(I)) * C(I)\right]$$

De (1), vem:

$$E(I) = EREF + \sum_{\substack{J=2 \\ J\neq I}}^{KK} \left[ZB(I,J) * C(J)\right] + ZB(I,I) * C(I)$$

logo:

$$C(I) = \frac{1}{ZB(I,I)} \left[E(I) - EREF - \sum_{\substack{J=2 \\ J\neq I}}^{KK} ZB(I,I) * C(J)\right]$$

Portanto:

$$QICAL(I) = - AIMAG\left[\frac{CØNJG\ (E(I))}{ZB\ (I,I)} * \left[E(I) - EREF \sum_{\substack{J=2 \\ J\neq I}}^{KK} ZB(I,I) * C(J)\right]\right]$$

O processo iterativo tem o seguinte algoritmo de solução:

a) Para iniciar o processo, estima-se os valores iniciais para o vetor E das tensões de barra.

Para os nós tipo P-Q: $E(I)^{o} = 1{,}0 \lfloor 0^{o}$ pu e para os do tipo P-V: $E(I)^{o} = \langle CABS(E(I)) \rangle^{esp.} \lfloor 0^{o}$ pu e faz-se jQICAL(I) = j0 pu

b) Verifica-se se a barra a ser processada é do tipo P-V. Se for, passa-se ao item seguinte. Se não for, passa-se ao item "h".

c) Calcula-se a tensão na barra "I" através de (3).

d) Racionaliza-se a tensão na barra "I" através de:

$$E(I)^{rac.,\ k+1} = \langle CABS(E(I)) \rangle^{esp} \lfloor \theta_i^{k+1}$$

e) Calcula-se a potência reativa líquida injetada na barra "I":

$$QICAL(I)^{k+1} = - AIMAG\left[\frac{CØNJG(E(I))}{ZB(I,I)}^{rac,k+1} * \left[E(I) - EREF^{rac,k+1} - \sum_{\substack{J=2 \\ J\neq 1}}^{kk} ZB\ (I,J) * C(J)^{\ k \text{ ou } k+1}\right]\right]$$

f) Calcula-se a corrente líquida injetada na barra "I" (tipo P-V)

$$PØT(I)^{G} = CMPLX\left[PG(I),\ QICAL\ (I)\right]$$

$$C\ (I)^{k+1} = \frac{CØNJG\ (PØT(I)^{G})}{CØNJG\ (E(I)^{rac,\ k+1})}$$

g) Vá ao item (b)

h) Calcula-se a corrente líquida injetada na barra "I" (tipo P-Q)

$$C(I)^{k+1} = \frac{CØNJG\ (PØT(I)^{C})}{CØNJG\ (E(I)^{k+1})} - E(I)^{k+1} * Y(I)$$

i) Vá ao item (b)

Repete-se os itens (b) a (i) até que todas as barras (exceto a referência) tenham sido processadas quando então estará completada uma iteração do processo.

À medida que se calcula as tensões em cada barra, é verificada se a variação entre os valores recém-encontrados na iteração atual e os valores obtidos na iteração anterior está dentro de uma certa tolerância especificada, isto é

$$(4)\quad \left| E(I)^{k+1} - E(I)^{k} \right| \leqslant TØL \qquad i = 2,3,.....,kk$$

k = número de iteração

TØL = tolerância especificada,

tanto para a componente real como para a componente imaginária da tensão.

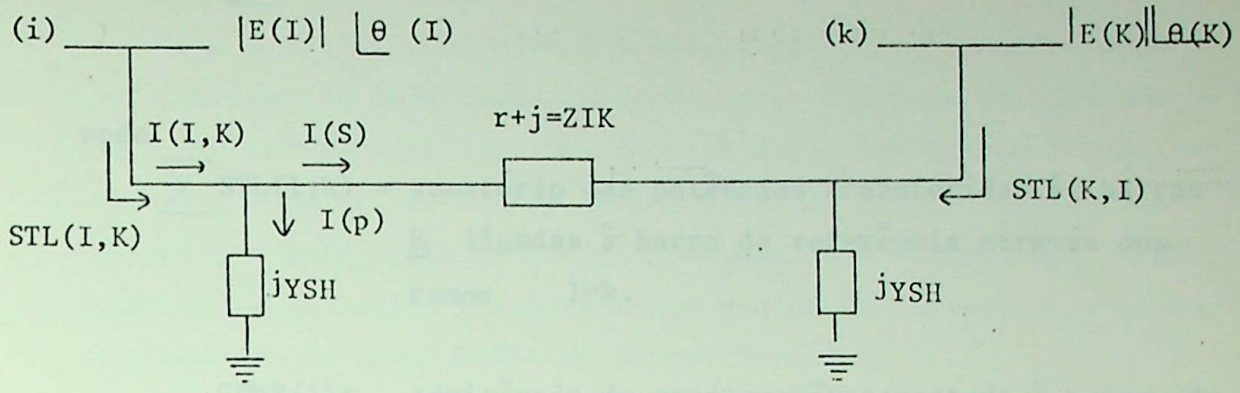
Caso (4) ocorra para todas as barras "i" do sistema, considera-se que o processo convergiu e os últimos valores do vetor E constituem a solução do problema.

Se não houve convergência, o processo iterativo é reiniciado em (b) onde os valores do vetor E recém-encontrados substituem os da iteração anterior.

Cabe salientar que, no método de Gauss - Seidel, apenas os valores ainda não calculados na iteração atual são os da iteração anterior, pois assim que cada valor da tensão E(I) é calculado, ele substitui o da iteração anterior no vetor E das tensões de barra.

Atingida a convergência para as tensões, pode-se então calcular:

a) as potências transferidas pelas linhas.



$$STL(I,K)=E(I)*CØNJG(J(I,K))=E(I)*\left[CØNJG(I_p)+CØNJG(I_s)\right]$$

$$STL(I,K)=E(I)*\left[CØNJG(E(I))*CØNJG(Y(I))+(CØNJG(E(I))-CØNJG(E(K)))/CØNJG(ZIK)\right]$$

Anàlogamente:

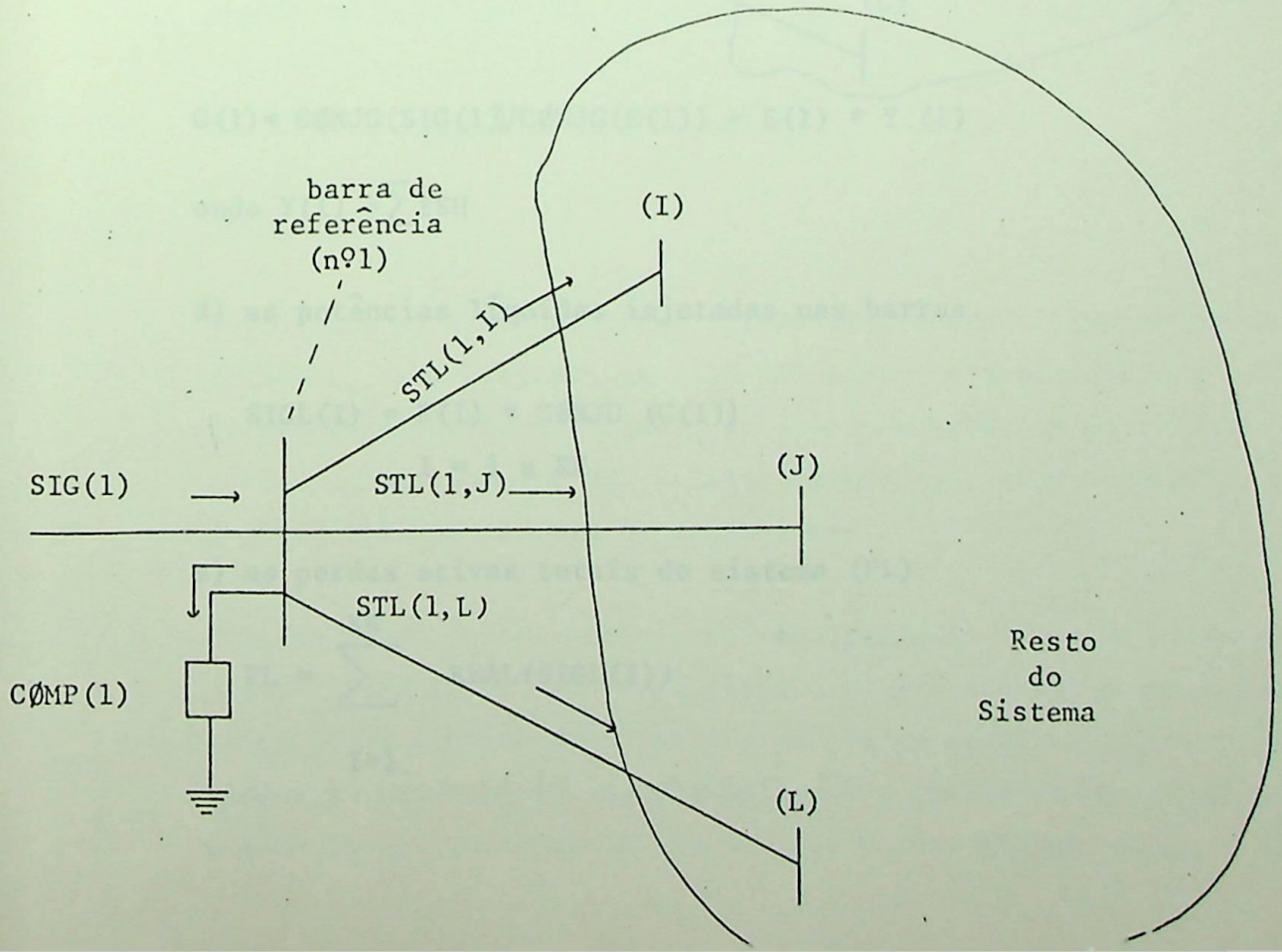
$$STL(K,I)=E(K)*\left[CØNJG(E(K))*CØNJG(Y(K))+(CØNJG(E(K))-CØNJG(E(I)))/CØNJG(ZIK)\right]$$

onde: $E(K) = |E(K)|\underline{\theta(K)}$

$E(I) = |E(I)|\underline{\theta(I)}$

$Y(I) = Y(K) = jYSH$

b) a potência injetada na barra de referência.



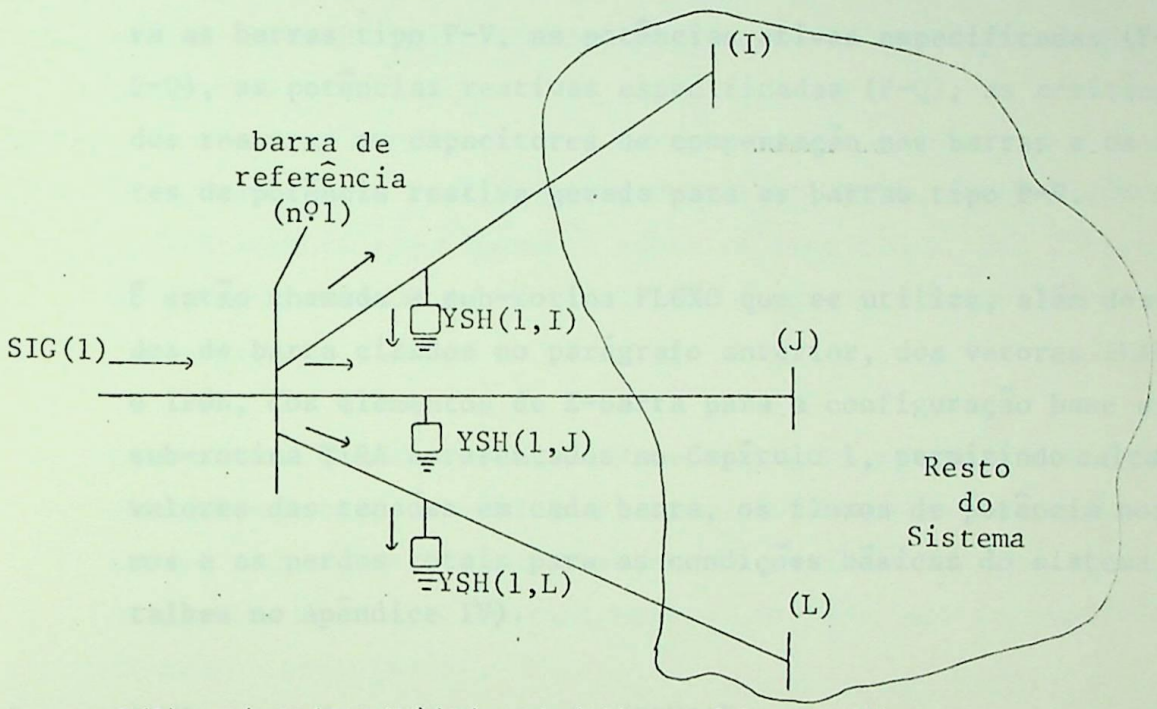
$$SIG(1) = \sum STL(1,k) + E(1) * CØNJG\,(E(1)) * CØNJG(CØMP(1))$$

onde:

$\sum STL(1,k)$ = somatório das potências transferidas às barras k ligadas à barra da referência através dos ramos 1-k.

CØMP(1)= admitância de compensação conectada à barra de referência (reator ou capacitor shunt)

c) a corrente líquida injetada na barra de referência.



$$C(1) = CØNJG(SIG(1))/CØNJG(E(1)) - E(1) * Y(1)$$

onde $Y(1) = \sum YSH$

d) as potências líquidas injetadas nas barras.

$$SIGL(I) = E(I) * CØNJG\,(C(I))$$

$$I = 1 \text{ a } KK$$

e) as perdas ativas totais do sistema (PL)

$$PL = \sum_{I=1}^{KK} REAL(SIGL(I))$$

3.2.2. - Implementação do Programa "teste" do Fluxo de Carga Completo

A matriz Z-barra, referente à configuração-base, montada através do algoritmo de construção apresentado no Capítulo 1, está armazenado em memória auxiliar, bem como os dados das linhas e transformadores, o número de barras (KK) e ramos do sistema (NL) e todos os vetores originados quando da montagem de Z-barra (IKAT, KØM, IPØN etc.) inclusive a matriz T das barras fictícias, se houver disjuntores de acoplamento de barras fechados.

São lidos os dados de barras do sistema: os códigos de identificação do tipo de barra ("swing", barras de geração controlável (P-V) ou barra de carga (P-Q), os módulos especificados das tensões para as barras tipo P-V, as potências ativas especificadas (P-V e P-Q), as potências reativas especificadas (P-Q), as admitâncias dos reatores ou capacitores de compensação nas barras e os limites de potência reativa gerada para as barras tipo P-V.

É então chamada a sub-rotina FLUXC que se utiliza, além dos dados de barra citados no parágrafo anterior, dos vetores IKAT, KØM e IPØN, dos elementos de Z-barra para a configuração base e da sub-rotina TIRA apresentados no Capítulo 1, permitindo calcular os valores das tensões em cada barra, os fluxos de potência nos ramos e as perdas totais para as condições básicas do sistema (detalhes no Apêndice IV).

3.3- O Fluxo de Carga Aproximado (FLUCA)

3.3.1. - Introdução

O programa de fluxo de carga aproximado, desenvolvido no presente trabalho, visa estimar, em alta velocidade e dentro de uma ordem de precisão aceitável, apenas os dados necessários ao cálculo do re-despacho econômico das unidades geradoras, após ocorrida uma contingência no sistema de transmissão.

Utiliza em seu processamento os resultados do fluxo de carga completo referente ao caso base (estado de pré-contingência) e estima as novas tensões (em módulo e ângulo de fase), o novo valor das perdas ativas totais e da potência ativa gerada na barra "swing". A fórmula aplicada para o cálculo das perdas ativas totais está

apresentada no Capítulo 4.

É admitido para as barras tipo P-V, durante o estado da contingência, que não há mudanças nos valores anteriormente especificados para os módulos das tensões e potências ativas geradas.

É assumido, também, que as correntes injetadas em todas as barras existentes no sistema para o caso base permanecem constantes durante o estado de contingência.

De acordo com Stagg e El-Abiad, referência 6 (Ap. IX) , essa hipótese é razoável para as barras de carga em áreas onde a presença da compensação reativa não é predominante, podendo, porém, apresentar desvios significativos para as potências reativas geradas nas barras P-V.

Entretanto, como será demonstrado adiante, tais desvios não exercem influência significativa sobre os resultados dos cálculos do re-despacho econômico sob contingência que é o propósito do presente trabalho.

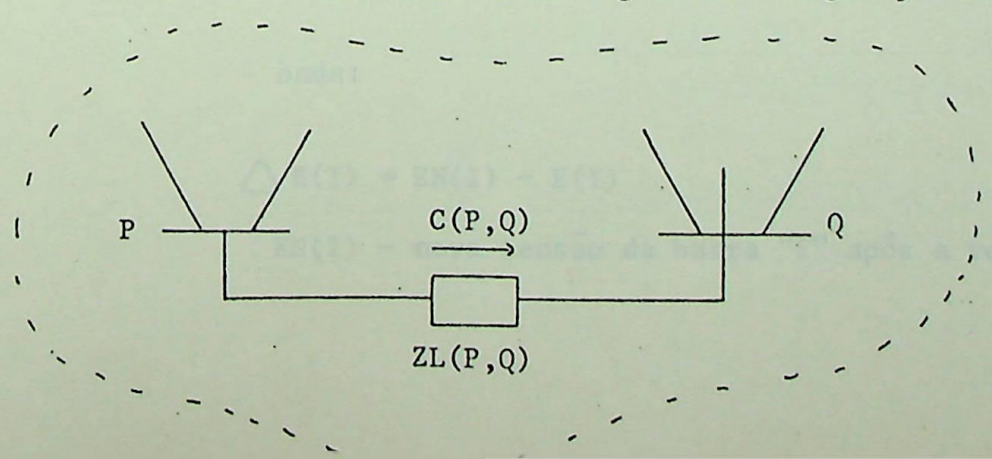
Ressalte-se que não houve a preocupação no programa desenvolvido em analisar o desempenho do sistema, em estado da contingência, no que se refere aos limites previamente estabelecidos pelos critérios de planejamento e/ou operacionais,o que pode ser incorporado em trabalhos posteriores.

3.3.2. -Equacionamento do método

3.3.2.1. - Cálculo das novas tensões da barra

a) Remoção de linha

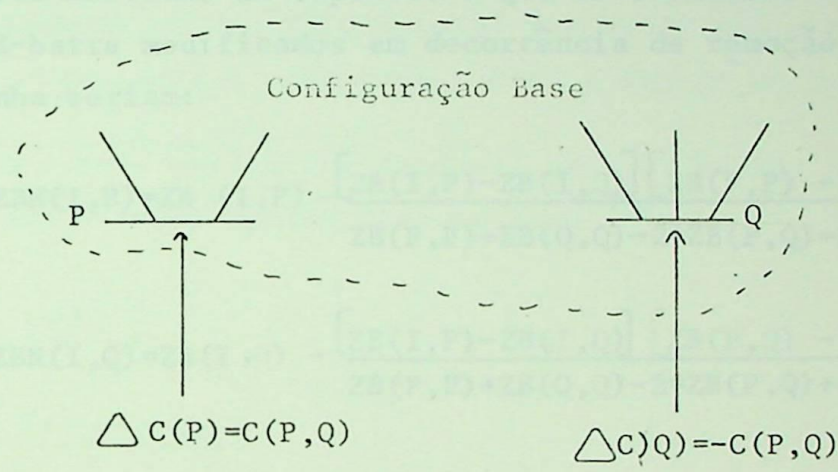
Considera-se a seguinte configuração base:



onde C(P,Q) é a corrente que flue pela linha P-Q no caso base.

A remoção da linha P-Q é simulada pela superposição de uma corrente - C(P,Q) que vai se distribuir em toda a rede de acordo com as impedâncias dos ramos.

O efeito desssa corrente superposta é equivalente a considerar acréscimos nas correntes injetadas nas barras "P" e "Q" do caso base respectivamente, de $\triangle C(P) = C(P,Q)$ e $\triangle C(Q) = -C(P,Q)$ com a matriz Z-barra modificada pela remoção do ramo P-Q.



Supondo as injeções de correntes nas demais barras constantes, tem-se:

$$\begin{bmatrix} \triangle E(2) \\ \triangle E(3) \\ \vdots \\ \triangle E(P) \\ \vdots \\ \triangle E(Q) \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ZBN(2,2) & ZBN(2,3) \ldots ZBN(2,P) \ldots ZBN(2,Q) \ldots \\ ZBN(3,2) & ZBN(3,3) \ldots ZBN(3,P) \ldots ZBN(3,Q) \ldots \\ \vdots & \vdots \\ ZBN(P,2) & ZBN(P,3) \ldots ZBN(P,P) \ldots ZBN(P,Q) \ldots \\ \vdots & \vdots \\ ZBN(Q,2) & ZBN(Q,3) \ldots ZBN(Q,P) \ldots ZBN(Q,Q) \ldots \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \triangle C(P) \\ \vdots \\ \triangle C(Q) \\ \vdots \end{bmatrix}$$

onde:

$\triangle E(I) = EN(I) - E(I)$

EN(I) - nova tensão da barra "I" após a remoção da li

nha P-Q.

E(I) - tensão na barra "I" no caso base

$[ZBN]$ - matriz Z-barra modificada pela remoção da linha P-Q.

logo:

$$\triangle E(I) = [ZBN(I,P) - ZBN(I,Q)] * C(P,Q) \qquad (1)$$

Foi mostrado no Capítulo 2 que os elementos da matriz Z-barra modificados em decorrência de remoção de uma linha seriam:

$$ZBN(I,P) = ZB(I,P) - \frac{[ZB(I,P)-ZB(I,Q)][ZB(P,P) - ZB(Q,P)]}{ZB(P,P)+ZB(Q,Q)-2*ZB(P,Q)+(-ZL(P,Q))} \qquad (2)$$

$$ZBN(I,Q) = ZB(I,Q) - \frac{[ZB(I,P)-ZB(I,Q)][ZB(P,Q) - ZB(Q,Q)]}{ZB(P,P)+ZB(Q,Q)-2*ZB(P,Q)+(-ZL(P,Q))} \qquad (3)$$

Substituindo (2) e (3) em (1), resulta:

$$\triangle E(I) = \frac{[ZB(I,P)-ZB(I,Q)][-ZL(P,Q)]}{ZB(P,P)+ZB(Q,Q)-2 * ZB(P,Q)+(-ZL(P,Q))} * C(P,Q) \qquad (4)$$

Mas:

$$C(P,Q) = \frac{E(P)-E(Q)}{ZL(P,Q)} = \frac{\sum_{J=2}^{KK} [ZB(P,J)-ZB(Q,J)] * C(J)}{ZL(P,Q)} \qquad (5)$$

Sendo KK o número de barras do sistema

Substituindo (5) em (4), vem:

$$\triangle E(I) = -\frac{[ZB(I,P)-ZB(I,Q)] * \left[\sum_{J=2}^{KK} [ZB(P,J)-ZB(Q,J)] * C(J)\right]}{ZB(P,P)+ZB(Q,Q)-2*ZB(P,Q)+(-ZL(P,Q))}$$

$$\triangle E(I) = -\sum_{J=2}^{KK} \frac{[ZB(P,J)-ZB(Q,J)][ZB(I,P)-ZB(I,Q)]}{ZB(P,P)+ZB(Q,Q)-2ZB(P,Q)+(-ZL(P,Q))} * C(J)$$

Sendo:

$$EN(I) = E(I)+\Delta E(I) = \sum_{J=2}^{KK} ZB(I,J)*C(J) + EREF + \Delta E(I)$$

vem:

$$EN(I) = \sum_{J=2}^{KK} \left\langle ZB(I,J) - \frac{[ZB(P,J)-ZB(Q,J)][ZB(I,P)-ZB(I,Q)]}{ZB(P,P)+ZB(Q,Q)-2*ZB(P,Q)+(-ZL(P,Q))} \right\rangle *C(J)+EREF$$

Resultando finalmente:

$$EN(I) = \sum_{J=2}^{KK} [ZBN(I,J)*C(J)] + EREF$$

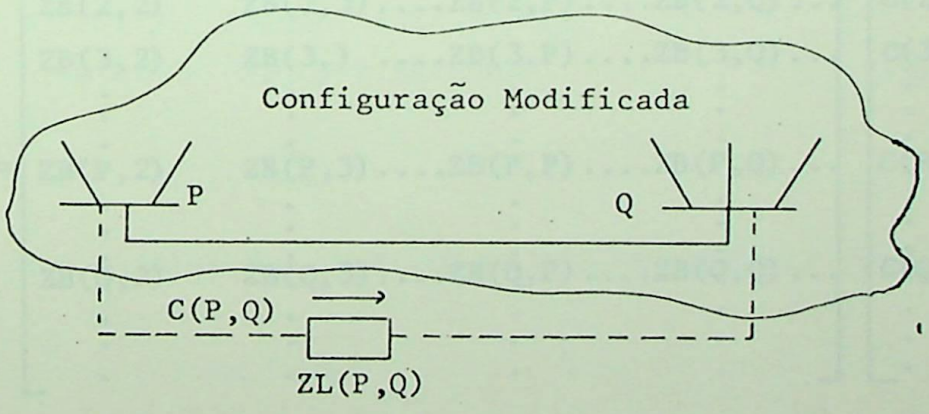
O cálculo dos elementos da matriz ZBN é feito de acordo com a metodologia apresentada no Capítulo 2. C(J) é o vetor das correntes injetadas nas barras para o caso-base e EREF a tensão da barra "swing".

Após definido o novo perfil das tensões, para as barras P-V, deve-se seguir a metodologia apresentada no item "d".

b) Adição de linha

b.1) Tipo Fecha-Malha

Considera-se a seguinte configuração modificada pela adição da linha P-Q mostrada em destaque:



Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ
Itajubá

onde:

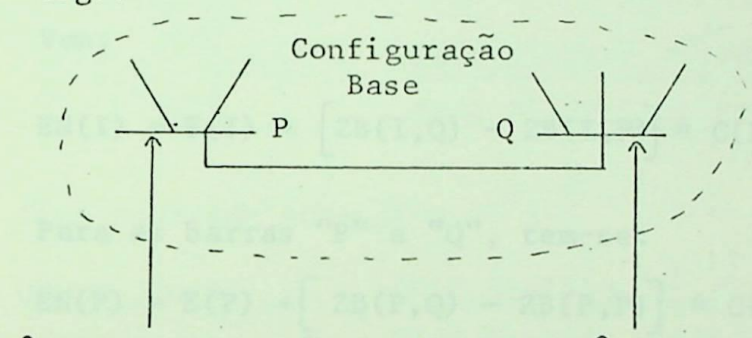
C(P,Q) - corrente que flue pela linha P-Q após a sua inclusão no sistema

ZL(P,Q) - impedância da nova linha

A introdução da linha P-Q tipo fecha-malha no sistema resultará em uma nova distribuição de potência pelas linhas e em um novo perfil de tensão no sistema existente.

O efeito dessa nova linha pode ser simulado pela consideração de acréscimos nas correntes injetadas de caso base nas barras "P" e "Q" respectivamente iguais a $\triangle C(P) = -C(P,Q)$ e $\triangle C(Q) = C(P,Q)$ agindo simultaneamente, admitindo as injeções das correntes nas demais barras constantes (iguais a do caso base).

logo:



$\triangle C(P) = -C(P,Q)$ $\triangle C(Q) = C(P,Q)$

Então:

$$\begin{bmatrix} EN(2) \\ EN(3) \\ \vdots \\ EN(P) \\ \vdots \\ EN(Q) \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ZB(2,2) & ZB(2,3) \ldots ZB(2,P) \ldots ZB(2,Q) \ldots \\ ZB(3,2) & ZB(3,) \ldots ZB(3,P) \ldots ZB(3,Q) \ldots \\ \vdots & \vdots \\ ZB(P,2) & ZB(P,3) \ldots ZB(P,P) \ldots ZB(P,Q) \ldots \\ \vdots & \vdots \\ ZB(Q,2) & ZB(Q,3) \ldots ZB(Q,P) \ldots ZB(Q,Q) \ldots \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C(2) \\ C(3) \\ \vdots \\ C(P)+\triangle C(P) \\ \vdots \\ C(Q)+\triangle C(Q) \\ \vdots \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} EREF \\ EREF \\ \vdots \\ EREF \\ \vdots \\ EREF \\ \vdots \end{bmatrix}$$

Sendo:

EN(I) - nova tensão da barra "I" após a inclusão da linha (P,Q)

C(I) - corrente injetada na barra "I" (igual a do caso base)

$[ZB]$ - matriz Z-barra referente à configuração base (sem incluir a linha)

EREF - tensão da barra da referência ("swing")

Logo, a nova tensão para uma barra "I" seria:

$$EN(I) = \sum_{J=2}^{KK} ZB(I,J)*C(J) + \left[ZB(I,Q) - ZB(I,P)\right] * C(P,Q) + EREF$$

Sendo $E(I) = \sum_{J=2}^{KK} ZB(I,J) * C(J) + EREF$

(tensão da barra "I" no caso base)

KK = número de barras do sistema

Vem:

$$EN(I) = E(I) + \left[ZB(I,Q) - ZB(I,P)\right] * C(P,Q) \qquad (1)$$

Para as barras "P" e "Q", tem-se:

$$EN(P) = E(P) + \left[ZB(P,Q) - ZB(P,P)\right] * C(P,Q) \qquad (2)$$

$$EN(Q) = E(Q) + \left[ZB(Q,Q) - ZB(Q,P)\right] * C(P,Q) \qquad (3)$$

Após a inclusão da linha P-Q, tem-se:

$$C(P,Q) = \left[EN(P) - EN(Q)\right] / ZL(P,Q)$$

$$EN(P) - EN(Q) = C(P,Q) * ZL(P,Q) \qquad (4)$$

Logo, de (2) - (3), vem:

$$EN(P) - EN(Q) = E(P) - E(Q) + \left[ZB(P,Q) - ZB(P,P) - ZB(Q,Q) + ZB(P,Q)\right] * C(P,Q) \qquad (5)$$

Substituindo (4) em (5):

$$C(P,Q) * ZL(P,Q) = E(P) - E(Q) + \left[-ZB(P,P) - ZB(Q,Q) + 2ZB(P,Q)\right] * C(P,Q)$$

$$E(P) - E(Q) = \left[ZB(P,P) + ZB(Q,Q) - 2ZB(P,Q) + ZL(P,Q)\right] * C(P,Q)$$

$$C(P,Q) = \left[E(P) - E(Q)\right] / \left[ZB(P,P) + ZB(Q,Q) - 2ZB(P,Q) + ZL(P,Q)\right] \qquad (6)$$

Substituindo (6) em (1) a considerando que:

$$E(I) = \sum_{J=2}^{KK} [ZB(I,J) * C(J)] + EREF$$

$$E(P) = \sum_{J=2}^{KK} [ZB(P,J) * C(J)] + EREF$$

$$E(Q) = \sum_{J=2}^{KK} [ZB(Q,J) * C(J)] + EREF$$

tem-se:

$$EN(I) = \sum_{J=2}^{KK} [ZB(I,J) * C(J)] + EREF + \frac{\left[\sum_{J=2}^{KK} [ZB(P,J) - ZB(Q,J)] * C(J)\right] * [ZB(I,Q) - ZB(I,$$

$$ZB(P,P) + ZB(Q,Q) - 2ZB(P,Q) + ZL(P,Q)$$

Resultando:

$$EN(I) = \sum_{J=2}^{KK} \left[ZB(I,J) - \frac{[ZB(P,J) - ZB(Q,J)][ZB(I,P) - ZB(I,Q)]}{ZB(P,P) + ZB(Q,Q) - 2ZB(P,Q) + ZL(P,Q)} * C(J) \right] + EREF$$

Como mostrado no capítulo 1:

$$ZBN(I,J) = ZB(I,J) - \frac{[ZB(P,J) - ZB(Q,J)] * [ZB(I,P) - ZB(I,Q)]}{ZB(P,P) + ZB(Q,Q) - 2ZB(P,Q) + ZL(P,Q)}$$

Onde ZBN (I,J) é o elemento (I,J) da matriz Z-barra modificada pela inclusão da linha tipo FECHA-MALHA.

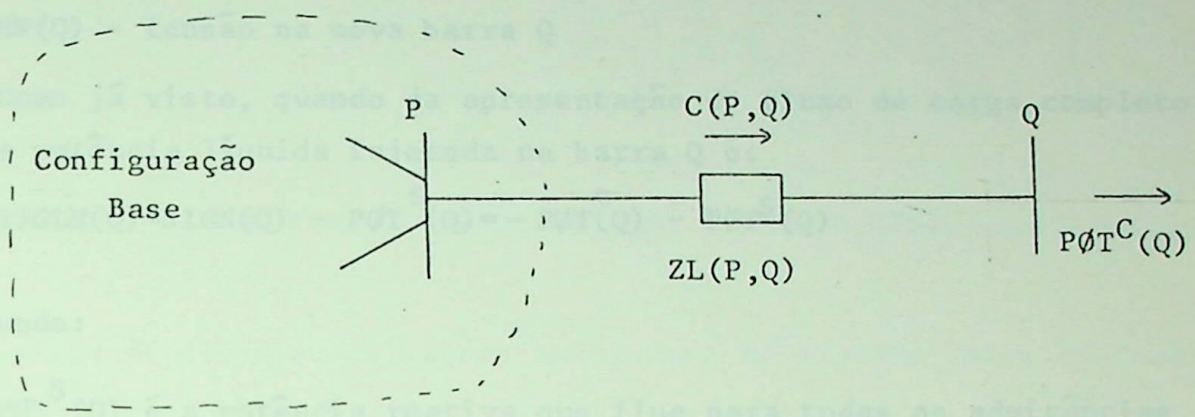
Resultando, finalmente:

$$EN(I) = \sum_{J=2}^{KK} [ZBN(I,J) * C(J)] + EREF$$

O cálculo dos elementos da matriz ZBN é feito de acordo com a metodologia apresentada no Capítulo 2. C(J) é o vetor das correntes injetadas nas barras para o caso base e EREF a tensão da barra "swing".

Após definido o novo perfil das tensão, para as barras P-V, deve-se seguir a metodologia apresentada no item "d".

b.2) Tipo RADIAL

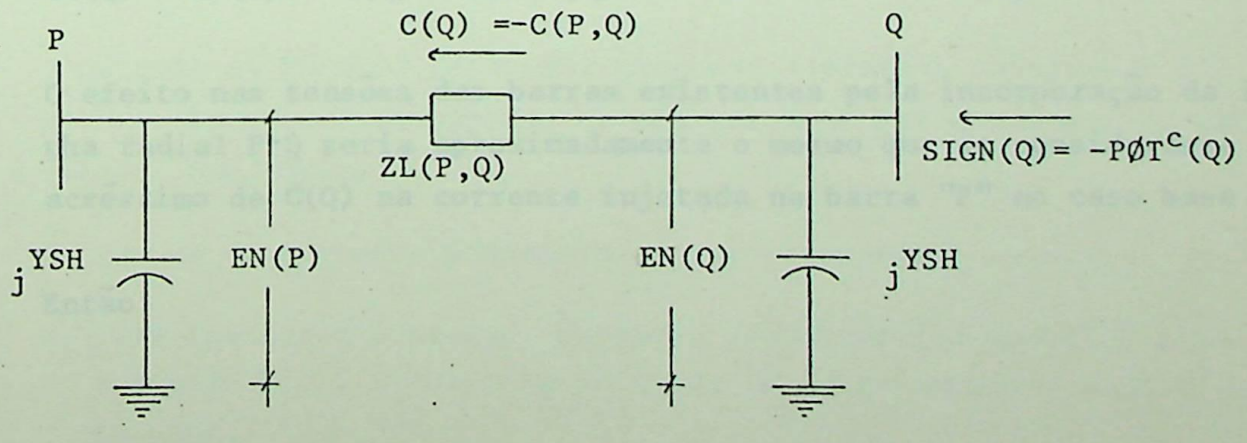


PØT ^{C}(Q) - potência de carga na barra "Q"
ZL(P,Q) - impedância da linha P-Q

Com a adição da linha radial P-Q, uma nova barra "Q" é introduzida no sistema.

Após a conexão de uma carga PØT ^{C}(Q) a esta nova barra, haverá modificação no fluxo de potência pelas linhas e no perfil das tensões nas barras existentes no caso base.

O modelo simplificado para que se calcule as novas tensões (inclusi para a barra introduzida), resultante da adição desse tipo da li nha, é equacionado a seguir.



onde:

EN(P) - tensão modificada na barra "P" após a inclusão da linha P-Q e a carga $P\emptyset T^{C}(Q)$

EN(Q) - tensão na nova barra Q

Como já visto, quando da apresentação do fluxo de carga completo, a potência líquida injetada na barra Q é:

$$SIGLN(Q)=SIGN(Q) - P\emptyset T^{S}(Q)= - P\emptyset T^{C}(Q) - P\emptyset T^{S}(Q)$$

onde:

$P\emptyset T^{S}(Q)$ é a potência reativa que flue para todas as admitâncias "shunt" conectadas à barra Q, inclusive as de compensação da barra.

$$P\emptyset T^{S}(Q) = EN(Q)*CØNJG(EN(Q))* CØNJG(Y(Q))$$

A corrente C(Q) que flue pela linha P-Q será:

$$C(Q)=\frac{CØNJG(SIGLN(Q))}{CØNJG(EN(Q))} = -\frac{CØNJG(P\emptyset T^{C}(Q))}{CØNJG(EN(Q))} - \frac{EN(Q)*CØNJG(EN(Q))* Y(Q)}{CØNJG(EN(Q))}$$

$$C(Q)=-\frac{CØNJG(P\emptyset T^{C}(Q))}{CØNJG(EN(Q))} - EN(Q)* Y(Q) \qquad (1)$$

Por outro lado:

$$C(P,Q)= \frac{EN(P) - EN(Q)}{ZL(P,Q)} \qquad C(P,Q) = - C(Q)$$

$$EN(Q) = EN(P) + C(Q) * ZL(P,Q) \qquad (2)$$

O efeito nas tensões das barras existentes pela incorporação da linha radial P-Q seria aproximadamente o mesmo que se considerasse um acréscimo de C(Q) na corrente injetada na barra "P" no caso base.

Então:

$$\begin{bmatrix} EN(2) \\ EN(3) \\ \vdots \\ EN(P) \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ZB(2,2) & ZB(2,3) \ldots ZB(2,P) \ldots \\ ZB(3,2) & ZB(3,3) \ldots ZB(3,)) \ldots \\ \vdots & \vdots \\ ZB(P,2) & ZB(P,3) \ldots ZB(P,P) \ldots \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C(2) \\ C(3) \\ \vdots \\ C(P)+C(Q) \\ \vdots \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} EREF \\ EREF \\ \vdots \\ EREF \\ \vdots \end{bmatrix}$$

logo:

$$EN(P) = \sum_{J=2}^{KK} \left[ZB(P,J) * C(J) \right] + ZB(P,P) * C(Q) + EREF$$

sendo KK o número da barras existentes no sistema antes da incorporação da barra Q:

Mas:

$$E(P) = \sum_{J=2}^{KK} \left[ZB(P,J) * C(J) \right] + EREF$$ (tensão da barra "P" no caso base)

logo:

$$EN(P) = E(P) + ZB(P,P) * C(Q) \qquad (3)$$

Substituindo (3) em (2), vem:

$$EN(Q) = E(P) + (ZB(P,P) + ZL(P,Q)) * C(Q)$$

Mas, de acordo com o Capítulo 1:

$$ZB(Q,Q) = ZB(P,P) + ZL(P,Q)$$

logo:

$$EN(Q) = E(P) + ZB(Q,Q) * C(Q) \qquad (4)$$

O cálculo da EN(Q) é feito por processo iterativo envolvendo (4) e (1). Como se trata apenas de uma barra, o processamento do cálculo é bem rápido.

Os passos do processo iterativo são os seguintes:

a) Para iniciar o processo, faz-se o valor inicial de EN(Q) igual a tensão E(P), resultante do fluxo de carga completo para o caso base.

b) Calcula-se C(Q) pela equação (1)

c) Através de (4), com o valor de C(Q) recém-encontrado em (b), calcula-se o novo valor de EN(Q).

d) Volta-se ao item (b)

Repete-se os itens de (b) a (d) até que a variação entre o valor recém-encontrado para EN(Q) na iteração atual e o valor obtido na iteração anterior esteja dentro de uma certa tolerância especificada, isto é,

$$\left| EN(Q)^{k+1} - EN(Q)^{k} \right| \leq TØL \qquad (5)$$

Sendo k+1 o número de iteração feitas e TØL a tolerância especificada, tanto para a componente real como para a componente imaginária da tensão.

Quando (5) ocorrer, considera-se que o processo convergiu, e o último valor de EN (Q) constitui a solução do problema.

O valor de C(Q) que permitiu a convergência de EN(Q) é a corrente líquida injetada na nova barra Q.

Para as demais barras, as novas tensões são calculadas a partir da equação matricial apresentada anteriormente.

EN(I) = E(I) + ZB(I,P) * C(Q)

para I=2 a KK

Após definido o novo perfil das tensões, para as barras P-V, deve-se seguir a metodologia apresentada no item "d".

c) Operação de disjuntor de acoplamento

c.1 Abertura

Quando um disjuntor de acoplamento de barras está fechado no caso base, e impedância entre as barras interligadas é nula.

A abertura posterior desse tipo de disjuntor segue o mesmo tra-

tamento apresentado para a remoção da linha.

Então, as novas tensões serão:

$$EN(I) = \sum_{J=2}^{KK} \{ZBN\ (I,J) * C(J)\} + EREF$$

A geração dos valores da matriz Z-barra modificada pela abertura do disjuntor de acoplamento (ZBN) foi apresentada em detalhes no Capítulo 2, e as dificuldades computacionais apresentadas para esse tipo de operação ficaram superadas pela criação da barra fictícia "T" quando do fechamento inicial desse tipo de disjuntor.

c.2) Fechamento

O fechamento de um disjuntor de acoplamento, considerado na posição "aberto" na configuração base, corresponde à adição de uma linha tipo FECHA-MALHA de impedância nula entre as barras a serem interligadas.

Dessa forma, segue o mesmo tratamento apresentado para a adição desse tipo de linha.

Então, as novas tensões serão:

$$EN(I) = \sum_{J=2}^{KK} \{ZBN(I,J) * C(J)\} + EREF$$

d) Cálculo da tensão nas barras tipo P-V

Após definido o novo perfil de tensões, pela aplicação das fórmulas apresentadas anteriormente, faz-se para as barras tipo PV:

```
TBN  = (AIMAG(EN(I))/REAL(EN(I)))
EN1R = DB(ITAK(I),4)* CØS(TBN)
EN1I = DB(ITAK(I),4)* SIN(TBN)
EN(I)= CMPLX(EN1R,EN1I)
```

onde:

I = barra tipo P-V

TBN = ângulo de fase resultante da aplicação das fórmulas apresentadas para os diversos tipos de contingências.

DB(IKAT(I),4) = módulo da tensão especificado no caso-base para a barra "I" que é mantido para o sistema sob contingência.

EN(I) = novo valor complexo da tensão na barra "I".

Verificou-se, comparando os resultados obtidos pelos fluxos de carga completos com os por FLUCA, processados para os diversos casos de contingência em um sistema-exemplo (ver Apêndice VIII), que os valores dos ângulos de fase de EN(I) para as barras P-V apresentam desvios mínimos entre os dois métodos.

No que se refere às potências reativas geradas por essas barras, os desvios poderão ser significativos, como aborda a referência 6 já citada. Porém, a sua influência é desprezível sobre os resultados finais do Despacho Econômico, como mostra o Apêndice VIII para o sistema-exemplo.

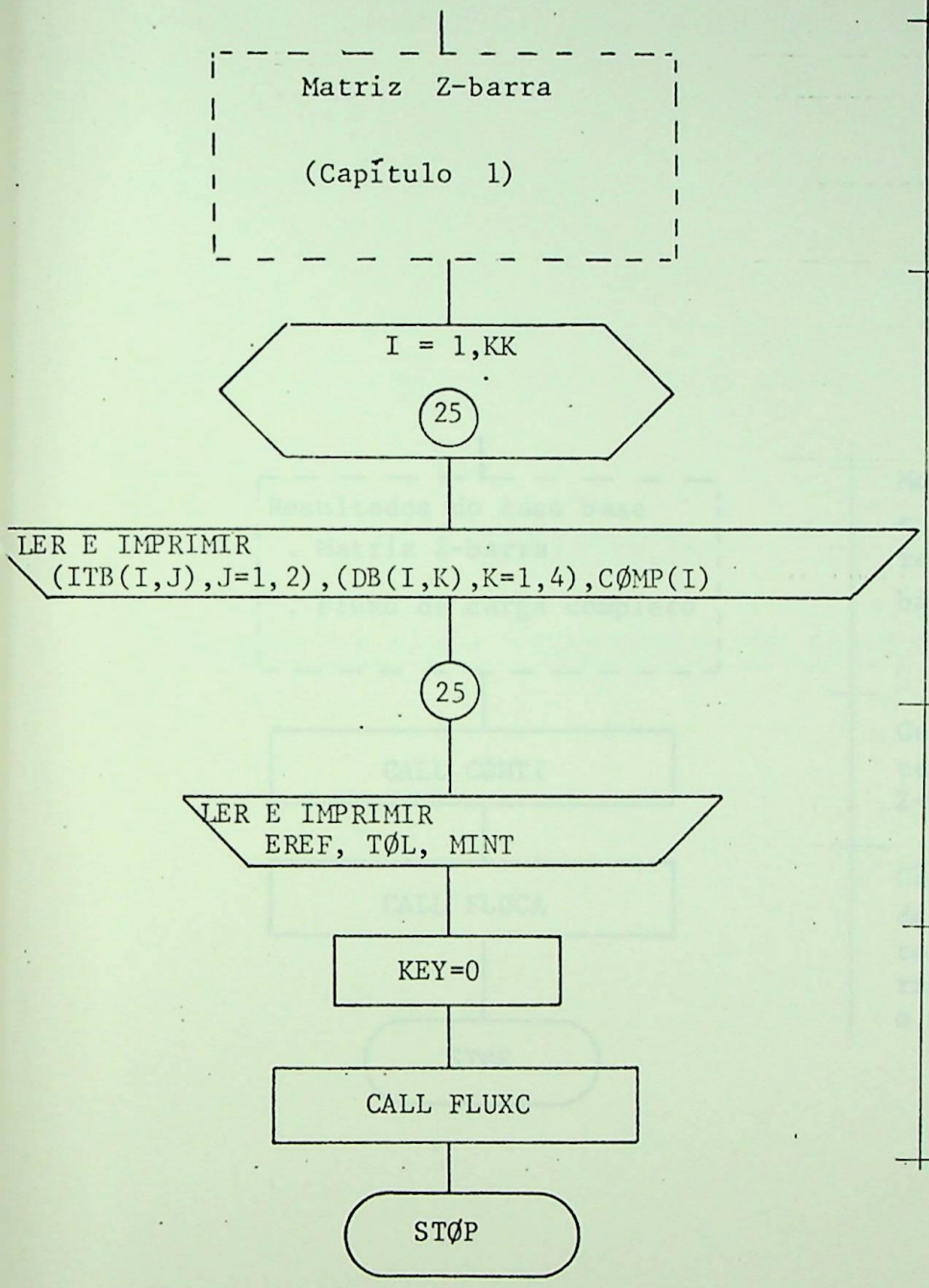
3.3.3. - Implementação do Programa "teste" do Fluxo de Carga Aproximado

Os resultados do fluxo de carga completo, referentes ao estado do sistema na configuração-base estão armazenados em memória auxiliar, bem como a respectiva matriz Z-barra.

Ocorrendo uma contingência, é chamada a sub-rotina CØNTI, que gera as informações necessárias à atualização de Z-barra para representar a nova configuração do sistema (Capítulo 2).

Após o emprego de CØNTI, é chamada a sub-rotina FLUCA que se utiliza dos resultados do fluxo de carga completo para o caso-base e dos valores modificados de Z-barra e estima o perfil das tensões da barra, os valores das perdas ativas totais e da potência ativa gerada na barra "swing" para o sistema em contingência. Os valores atualizados de Z-barra são calculados através do emprego da sub-rotina ZNØVØ. Os detalhes da sub-rotina FLUCA estão apresentados no Apêndice IV.

FLUXOGRAMA DO PROGRAMA PRINCIPAL (TESTE) PARA CALCULAR O FLUXO DE CARGA COMPLETO



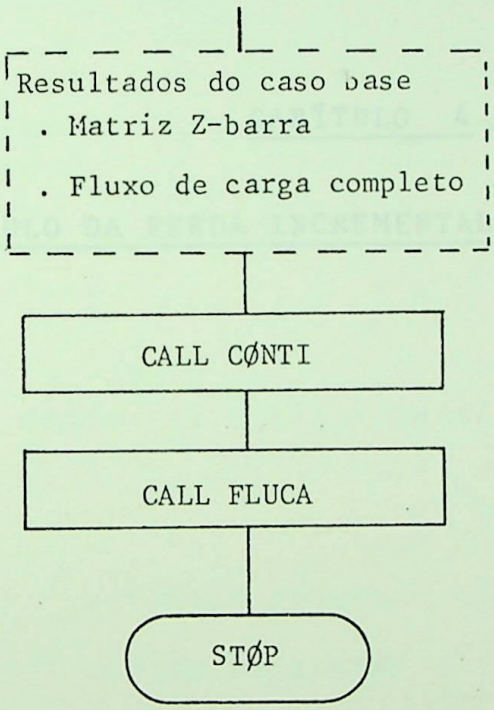
Montagem de Z-barra referente à configuração-base

Leitura e impressão dos dados de barras

Leitura e impressão da tensão especificada da barra "swing", tolerância das tensões e número máximo de iterações permitido

Definição do estado do sistema, através do fluxo de carga completo

FLUXOGRAMA DO PROGRAMA PRINCIPAL (TESTE) PARA CALCULAR O FLUXO DE CARGA APROXIMADO



Montagem da matriz Z-barra e fluxo de carga completo referentes à configuração-base

Geração das informações necessárias à atualização de Z-barra

Cálculo das novas tensões de barra, das perdas ativas totais e potência ativa gerada na barra "swing" para o sistema em contingência

Escola Federal de Engenharia
Biblioteca MAUÁ
Itajubá

CAPÍTULO 4

CÁLCULO DA PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSÃO

4- CÁLCULO DA PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSÃO

Os elementos do vetor das perdas incrementais da transmissão " PI " são obtidos pela diferenciação parcial de "P_L" (perdas ativas totais do sistema) em relação às potências ativas PG(I) de cada uma das barras de geração existentes no sistema.

4.1- Dedução da fórmula geral das perdas totais de transmissão

A fórmula das perdas aparentes totais de transmissão pode ser expressa pelo somatório de todas as potências líquidas injetadas nas KK barras do sistema (incluindo a barra"swing")

Assim:

$$S_L = \sum_{I=1}^{KK} SIGL(I) = \sum_{I=1}^{KK} E(I) * CØNJG(C(I)) =$$

$$= \underline{E}^T * CØNJG(\underline{C}) + E(1)*CØNJG(C(1)) \quad (1)$$

onde:

SIGL(I) - potência aparente líquida injetada na barra "I"

E(I) - tensão na barra "I"

C(I) - corrente injetada na barra "I"

1 - barra "swing" (usada como referência para montagem da Z-barra)

$$\underline{E} = \underline{E}_{I\neq 1}(I) = \begin{bmatrix} E(2) \\ E(3) \\ \vdots \\ E(KK) \end{bmatrix}, \quad \underline{C} = \underline{C}_{I\neq 1}(I) = \begin{bmatrix} C(2) \\ C(3) \\ \vdots \\ C(KK) \end{bmatrix}$$

Mas:

$$\sum_{I=1}^{KK} C(I)=0 \quad \therefore \qquad \sum_{I=2}^{KK} C(I) + C(1) = 0 \quad \therefore$$

$$\therefore \underline{1}^t * \underline{C} + C(1) = 0 \quad \therefore \quad C(1) = - \underline{1}^t * \underline{C} \qquad (2)$$

sendo:

$$\underline{1} = \left.\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}\right\} \text{(KK -1) elementos}$$

Substituindo (2) em (1), vem:

$$S_L = \underline{E}^T * C\emptyset NJG\ (\underline{C}) + E(1)*(-\underline{1}^t * C\emptyset NJG\ (\underline{C}))$$

$$S_L = \left[\underline{E} - E(1) * \underline{1}\right]^T * C\emptyset NJG\ (\underline{C}) \qquad (3)$$

Foi mostrado em capítulos anteriores que:

$$\underline{E} - E(1) * \underline{1} = \underline{Z} * \underline{C} \qquad (4)$$

Sendo $\underline{Z}$ a matriz das impedâncias nodais do sistema em relação à barra de referência.

Substituindo (4) em (3), vem:

$$S_L = \underline{C}^T * \underline{Z} * C\emptyset NJG(\underline{C})$$

$$\underline{Z}^T = \underline{Z}$$

sendo:

$$\underline{Z} = \underline{R} + j\underline{X}$$

$$\underline{C} = \underline{C}p + j\underline{C}q$$

vem:

$$S_L = P_L + jQ_L = \left[\underline{C}_p + j\underline{C}_q\right]^T * \left[\underline{R} + j\underline{X}\right] * \left[\underline{C}_p - j\underline{C}_q\right]$$

logo:

$$P_L = \underline{C}_p^T * \underline{R} * \underline{C}_p + \underline{C}_p^T * \underline{X} * \underline{C}_q + \underline{C}_q^T * \underline{R} * \underline{C}_q - \underline{C}_q^T * \underline{X} * \underline{C}_p$$

X sendo simétrica, resulta:

$$\underline{C}_p^T * \underline{X} * \underline{C}_q = \underline{C}_q^T * \underline{X} * \underline{C}_p$$

logo:

$$P_L = \underline{C}_p^T * \underline{R} * \underline{C}_p + \underline{C}_q^T * \underline{R} * \underline{C}_q \qquad (5)$$

Salienta-se que a barra "swing", por ser a referência de Z-barra, não está incluída em (5)

Apresentando (5) em outra forma, vem:

$$P_L = \sum_{K=2}^{KK} \left[\sum_{J=2}^{KK} R(J,K) * (Cp(J) * Cp(K) + C_q(J) * C_q(K)) \right]$$

Sendo as potências líquidas injetadas na barra I:

$$SIGL(I) = E(I) * CØNJG\ (C(I)) = E(I) * \left[Cp(I) - jCq(I) \right] = |E(I)|\, e^{j\,\Theta(I)} *$$

$$* \left[(C_p(I) - jCq(I) \right]$$

$$C_p(I) - j\, C_q(I) = \frac{e^{-j\theta(I)}}{|E(I)|} * SIGL(I)$$

logo:

$$C_p(I) = REAL \left\langle \frac{e^{-j\theta(I)}}{|E(I)|} * SIGL(I) \right\rangle$$

$$C_q(I) = -AIMAG \left\langle \frac{e^{-j\theta(I)}}{|E(I)|} * SIGL(I) \right\rangle$$

Denominando:

P (I) = REAL (SIGL(I))

Q (I) = AIMAG (SIGL(I))

vem:

$$C_p(I) = \frac{1}{|E(I)|}\left[P(I)*COS(\theta(I)) + Q(I)*SIN(\theta(I))\right]$$

$$C_q(I) = \frac{1}{|E(I)|}\left[P(I)*SIN(\theta(I)) - Q(I)*COS(\theta(I))\right]$$

Substituindo estas expressões em (5), vem:

$$P_L = \sum_{K=2}^{KK}\left[\sum_{J=2}^{KK} R(J,K)*\left[\frac{1}{|E(J)|}(P(J)*C\emptyset S(\theta(J))+Q(J)*SIN(\theta(J))\right.\right.$$

$$\frac{1}{|E(K)|}*(P(K)*C\emptyset S(\theta(K))+Q(K)*SIN(\theta(K))+\frac{1}{|E(J)|}*(P(J)*SIN(\theta(J))-$$

$$\left.\left.-Q(J)*C\emptyset S(\theta(J)))*\frac{1}{|E(K)|}(P(K)*SIN(\theta(K))-Q(K)*C\emptyset S(\theta(K)))\right]\right]$$

Desenvolvendo, tem-se:

$$P_L = \sum_{K=2}^{KK}\left[\sum_{J=2}^{KK} R(J,K)*\left[\frac{1}{|E(J)|*|E(K)|}*\left[\left[P(J)*P(K)+Q(J)*Q(K)\right]*\right.\right.\right.$$

$$\left.\left.\left.C\emptyset S(\theta(J)-\theta(K)) + (Q(J)*P(K)-P(J)*Q(K))\ *SIN(\theta(J)-\theta(K))\right]\right]\right].$$

Denominando:

$$ALFA(J,K) = \frac{R(J,K)}{|E(J)|*|E(K)|} * C\emptyset S(\theta(J)-\theta(K)) \qquad (6)$$

$$BETA(J,K) = \frac{R(J,K)}{|E(J)|*|E(K)|} * SIN(\theta(J)-\theta(K))$$

Resulta:

$$P_L = \sum_{K=2}^{KK}\left[\sum_{J=2}^{KK}(ALFA(J,K)*\left[P(J)*P(K)+Q(J)*Q(K)\right] + BETA(J,K)*\right.$$

$$\left.*\left[Q(J)+P(K)-P(J)*Q(K)\right]\right] \qquad (7)$$

Observa-se que, no cálculo de (7), a barra "swing" não está incluída.

A fórmula (7) é aplicada pela sub-rotina FLUCA para o cálculo das perdas ativas totais do sistema sob contingência.

2- Cálculo do vetor de perdas incrementais de transmissão (PI)

Conforme mencionado, o vetor de perdas incrementais seria dado por:

$$PI(I) = \frac{\partial P_L}{\partial PG(I)}$$

Tendo em vista que P(I) = PG(I)-PD, sendo PD (potência ativa de carga), assumida constante ao longo do período de validade do despacho, tem-se:

$$\partial P(I) = \partial PG(I). \text{ Logo: } \frac{\partial PL}{\partial P(I)} = \frac{\partial PL}{\partial PG(I)}$$

Derivando (7) em relação a P(I), resulta :

$$PI(I) = \frac{\partial PL}{\partial PG(I)} = \frac{\partial PL}{\partial P(I)} = 2 \sum_{K=2}^{KK} \left[P(K)*ALFA(I,K)-Q(K)*BETA(I,K)\right] +$$

$$+ \sum_{K-2}^{KK} \left[\sum_{J=2}^{KK} \left[(P(J)*P(K)+Q(J)*Q(K))*ALFA'(J,K)-(P(J)*Q(K)-Q(J)*P(K))*\right.\right.$$

$$\left.\left.* BETA'(J,K)\right]\right] \qquad (8)$$

onde:

$$ALFA'(J,K) = \frac{\partial (ALFA(J,K))}{\partial P(I)}$$

$$BETA'(J,K) = \frac{\partial (BETA(J,K))}{\partial P(I)}$$

Desprezando o segundo termo da expressão (8) que contribui para uma parte insignificante de $\frac{\partial PL}{\partial P(I)}$, porém exigindo tempo considerável para seu cálculo face à presença do duplo somatório, chega-se a uma fórmula aproximada que permite economia de tempo de processamento.

$$PI(I) = \frac{\partial P_L}{\partial PG(I)} \cong 2 \sum_{K=2}^{KK} \left[P(K)*ALFA(I,K)-Q(K)*BETA(I,K)\right] \quad (9)$$

(ver referência 2).

Observa-se que a perda incremental com relação à barra "swing" é zero ($\partial P_L / \partial PG(1) = 0$) tendo em vista ter sido a mesma utilizada como referência para montagem de Z-barra.

.3- Implementação do programa "teste" para o cálculo do vetor das perdas incrementais de transmissão para o sistema no estado base e em contingência

.3.1 - Sistema no estado base

A matriz Z-barra, referente à configuração-base, montada através de algoritmo da construção apresentado no Capítulo 1, está armazenada em memória auxiliar, bem como os dados das linhas e transformadores, o número de barras (KK) e ramos do sistema(NL) e todos os setores originados quando da montagem de Z-barra original (IKAT, KØM, IPØN, etc.), inclusive a matriz T das barras fictícias, se houver disjuntores de acoplamento fechados.

Com a entrada dos dados de barras, já apresentados no Capítulo 3, é chamada a sub-rotina "FLUXC" que processará o fluxo de carga completo utilizando a matriz Z-barra como instrumento de iteração.

Após obtido o estado de operação do sistema pelo processamento da FLUXC, passa-se ao cálculo das equações 6.

Isto é feito através da sub-rotina "CØEF" que se utiliza de dados resultantes dos processamentos anteriores.

Após definidos os elementos das matrizes ALFA e BETA, calcula-se a perda incremental de transmissão através das equações(9)com a utilização da sub-rotina "VETPI".

As sub-rotinas "VETPI" e "CØEF" estão apresentadas em detalhes no Apêndice V.

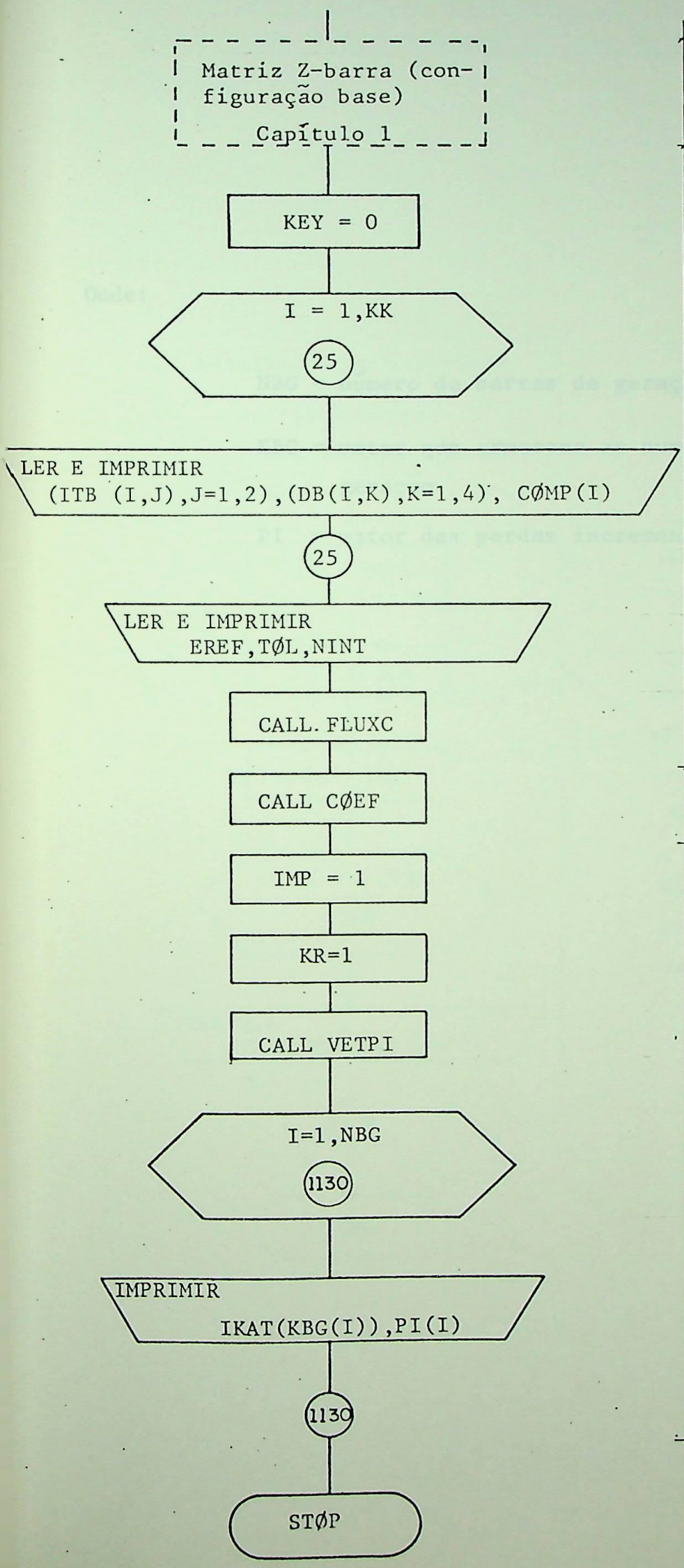
2- Sistema em contingência

Da mesma forma que o ítem anterior, os dados referentes à matriz Z-barra estão armazenados em memória auxiliar, o mesmo ocorrendo com os resultados do fluxo de carga completo, processado para o caso-base.
Quando ocorre uma contingência, a sub-rotina "CONTI", apresentada no Anexo III, identifica o tipo de contingência e gera as informações necessárias à atualização dos valores da Z-barra.

É chamada, então, a sub-rotina "FLUCA" que se utiliza das informações geradas por "CØNTI", dos dados de Z-barra e dos resultados do fluxo de carga completo, processados para o caso-base, calculando, em valores aproximados, para o sistema em contingência,as tensões, os elementos das matrizes modificadas ALFA e BETA, as perdas ativas totais e a potência ativa gerada na barra "swing" (sub-rotina "FLUCA"- Apêndice IV).

Com esses resultados, a sub-rotina "VETPI," aplicando a fórmula(9), calcula os valores das perdas incrementais modificados pela contingência.

3.3- FLUXOGRAMA DO PROGRAMA PRINCIPAL (TESTE) PARA CALCULAR O VETOR DAS PERDAS INCREMENTAIS, A SER UTILIZADO NO DESPACHO ECONÔMICO PARA O CASO-BASE



Montagem da matriz Z-barra (configuração base)

Definição do estado de operação do sistema no caso base

Cálculo das matrizes ALFA e BETA.

Cálculo e impressão da perda incremental de transmissão para o caso base

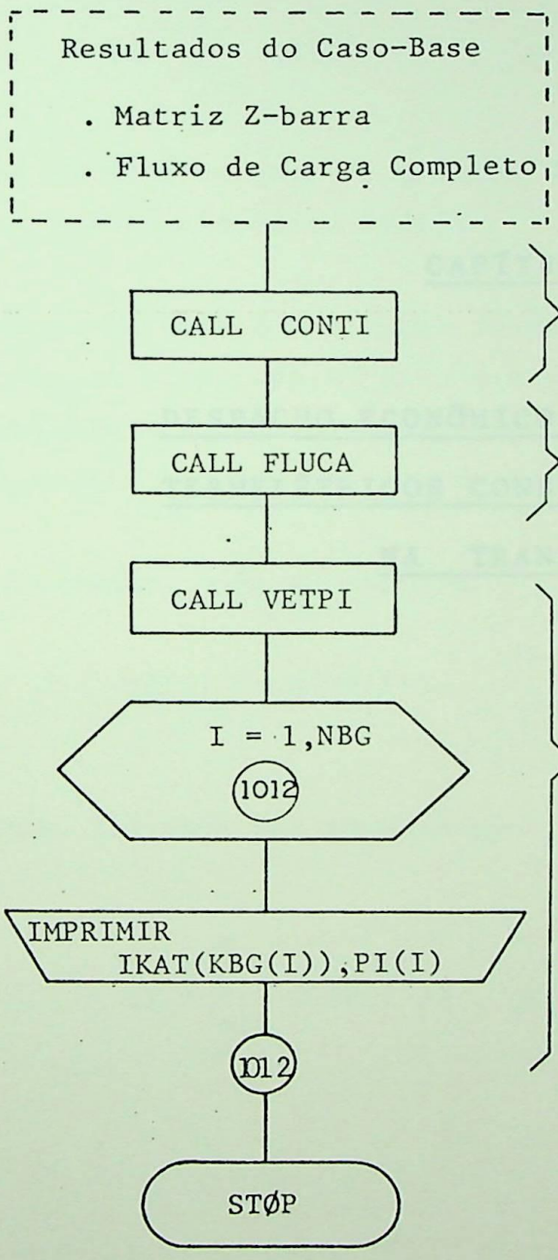
Onde:

NBG = número de barras de geração

KBG = vetor que armazena as numerações das barras de geração

PI = vetor das perdas incrementais de transmissão

4.3.4- FLUXOGRAMA DO PROGRAMA PRINCIPAL (TESTE) PARA CALCULAR O VETOR DAS PERDAS INCREMENTAIS A SER UTILIZADO NO RE-DESPACHO ECONÔMICO SOB CONTINGÊNCIA



Montagem da matriz Z-barra e resultados do fluxo de carga completo (configuração base).

Gera as informações necessárias à atualização de Z-barra, após ocorrida a contingência.

Cálculo do perfil das tensões, modificação das matrizes ALFA e BETA, perdas ativas totais e potência geradas por "swing" para o sistema em contingência.

Cálculo e impressão de perda incremental de transmissão para o sistema em contingência.

CAPÍTULO 5

DESPACHO ECONÔMICO DE "N" GERADORES TERMELÉTRICOS CONSIDERANDO AS PERDAS NA TRANSMISSÃO

Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ
Itajubá

- DESPACHO ECONÔMICO DE "N" GERADORES TERMELÉTRICOS, CONSIDERANDO AS PERDAS NA TRANSMISSÃO

5.1 - Introdução

Seja um sistema elétrico constituído por "n" usinas termelétricas.

O custo de geração global do sistema será:

$$CT = \sum_{I=1}^{N} CG(I) \qquad (1)$$

Onde CG(I) é o custo de geração da usina termelétrica "I" para fornecer ao sistema a potência ativa PG(I).

Pode-se assumir que o custo de geração da usina "I" é função apenas de PG(I), tendo em vista que a parcela predominante de CG(I) se refere ao custo do combustível, cujo consumo guarda relação estreita com a potência ativa gerada e que a potência reativa não exerce influência mensurável sobre CG(I) (1).

Assim sendo, pode-se escrever:

$$CG(I) = CG(PG(I))$$

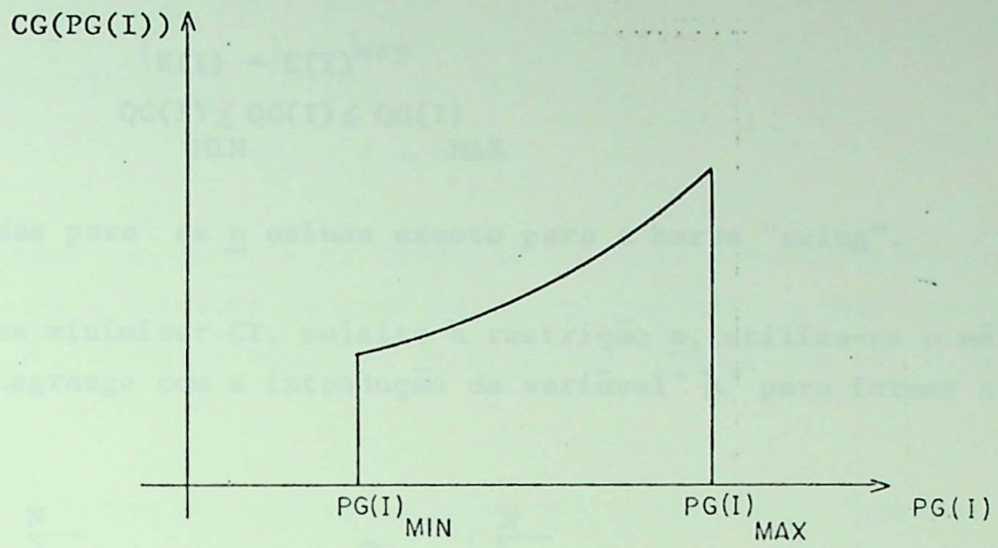
Então, (1) pode ser reescrito:

$$CT = \sum_{I=1}^{N} CG(PG(I))$$

---

(1) As potências ativas geradas crescem com o aumento dos conjugados das máquinas motrizes exigindo maior consumo de combustível. As potências reativas são controladas pela corrente de campo.

A seguir é apresentado um gráfico típico do custo de geração em função da potência ativa gerada para uma usina termelétrica "I".



5.2 - Metodologia de Cálculo

O objetivo do despacho econômico é escolher as potências ativas geradas por cada usina, além dos módulos das tensões correspondentes, de tal forma que proporcionem a minimização de CT.

A definição das PG(I) no entanto deve observar as seguintes restrições:

$$a) \quad \sum_{I=1}^{N} PG(I) = PD + PL$$

A potência ativa gerada total pelas n usinas, deve satisfazer os requisitos totais de demanda ativa (PD) acrescidos das perdas ativas no sistema de transmissão (PL).

(equação de balanço da potência ativa)

$$b) \quad PG(I)_{MIN} \leqslant PG(I) \leqslant PG(I)_{MAX}$$

Cada gerador não deve funcionar acima de sua potência nominal ou abaixo de uma certa potência mínima.
(faixa de operação permissível do gerador I)

c) Embora não tenham influência no cálculo do custo mínimo, deve-se observar que existem outras restrições (apresentadas no Capítulo 3) que dizem respeito às barras tipo P-V:

$$|E(I)| = |E(I)|^{esp}$$

$$QG(I)_{MIN} \leq QG(I) \leq QG(I)_{MAX}$$

que são válidas para as n usinas exceto para a barra "swing".

Para minimizar CT, sujeito à restrição a, utiliza-se o método do multiplicador de Lagrange com a introdução da variável "λ" para formar a função auxiliar F.

$$F = \sum_{I=1}^{N} CG(PG(I)) - \lambda \left[\sum_{I=1}^{N} PG(I) - PD - PL \right]$$

O ponto de mínimo de CT ocorrerá quando as derivadas parciais de F, com relação às diversas variáveis forem nulas.

Então:

$$\frac{\partial F}{\partial PG(I)} = \frac{\partial CG(PG(I))}{\partial PG(I)} - \lambda + \lambda \frac{\partial PL}{\partial PG(I)} = 0 \qquad (3)$$

$$p/I = 1 \text{ a } N$$

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda} = \sum_{I=1}^{N} PG(I) - PD - PL = 0 \qquad \text{(equação do balanço de potência ativa)}$$

Mas, como apresentado no Capítulo 4:

$$\frac{\partial PL}{\partial PG(I)} = PI(I) \qquad \text{(perda incremental da transmissão assoaciada à usina termelétrica "I")}$$

e fazendo:

$$\frac{\partial CG(PG(I))}{\partial PG(I)} = CI(I) \qquad \text{(custo incremental de geração da usina "I")}$$

A equação (3), então resulta:

$$CI(I) - \lambda + \lambda \times PI(I) = 0$$

$$CI(I) = \lambda \left[1 - PI(I) \right] \qquad (4)$$

$$p/I = 1 \text{ a } N$$

O sistema que obedece às equações (4) está com sua operação coordenada, significando que o despacho de suas usinas geradoras é o mais econômico. As equações (4) são chamadas equações de despacho econômico e λ, o custo incremental do sistema.

As n equações de despacho econômico e a equação de balanço da potência ativa bastam para determinar as n+1 incógnitas, isto é, as PG(I), I=1 a n e λ.

Normalmente, as curvas de CG(PG(I)) em função das PG(I) para usinas termelétricas são polinômios do tipo:

$$CG(PG(I)) = A(I)*PG(I)^2 + B(I)*PG(I) + D(I)$$

em unidades monetárias/hora

$$p/I=1 \text{ a } n$$

o que resulta para as CI(I):

$$CI(I) = 2*A(I)*PG(I) + B(I) \qquad (7)$$

$$p/I=1 \text{ a } n$$

Em termos matriciais, a equação (7) e (4) poderiam ser expressas, respectivamente:

$$\underline{CI} = 2 * \underline{(dgA)} * \underline{PG} + \underline{B} \qquad (8)$$

$$\underline{CI} = \lambda * \underline{V} \qquad (9)$$

onde:

$$\underline{CI} = \begin{bmatrix} CI(1) \\ CI(2) \\ . \\ . \\ . \\ CI(n) \end{bmatrix}, \quad \underline{B} = \begin{bmatrix} B(1) \\ B(2) \\ . \\ . \\ . \\ B(n) \end{bmatrix}, \quad \underline{PG} = \begin{bmatrix} PG(1) \\ PG(2) \\ . \\ . \\ . \\ PG(n) \end{bmatrix}$$

$$\underline{dg\ A} = \begin{bmatrix} A(1) & 0 \ldots 0 \\ 0 & A(2) \ldots 0 \\ \vdots & \vdots \\ 0 & 0 \quad A(n) \end{bmatrix} \quad e\underline{V} = \begin{bmatrix} 1 - PI(1) \\ 1 - PI(2) \\ \vdots \\ 1 - PI(n) \end{bmatrix}$$

Para o cálculo das PG(I), basta igualar (8) e (9):

$$2*(\underline{dgA}) * \underline{PG} + \underline{B} = \lambda \underline{V}$$

$$2*(\underline{dgA}) * \underline{PG} = \lambda \underline{V} - \underline{B}$$

$$\underline{PG} = \frac{1}{2} (\underline{dgA})^{-1} (\lambda \underline{V} - \underline{B})$$

resultando para cada usina "I":

$$PG(I) = \frac{\lambda * (1 - PI(I) - B(I)}{2 * A(I)} \qquad (10)$$

p/I = 1 a n

Para o cálculo de λ, considera-se que:

$$\sum_{I=1}^{N} (PG(I)) = \underline{1}^t * \underline{PG} = \underline{1}^t * \left[\frac{1}{2} (dgA)^{-1} (\lambda \underline{V} - \underline{B})\right] \qquad (11)$$

onde:

$$\underline{1}^t = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 1 \ldots 1 \end{bmatrix}}_{\text{n colunas}}$$

Substituindo (11) na equação de balanço de potência ativa, vem:

$$1^t * \left[\frac{1}{2} (dgA)^{-1} (\lambda \underline{V} - \underline{B})\right] = PD + PL$$

logo:

$$\lambda = \left[\underline{1}^t * (\underline{dgA})^{-1} * \underline{V}\right]^{-1} \left[\underline{1}^t * (\underline{dgA})^{-1} * \underline{B} + 2\ PD + 2\ PL\right]$$

resultando:

$$\lambda = \frac{\sum_{I=1}^{n} \frac{B(I)}{A(I)} + 2\,PD + 2\,PL}{\sum_{I=1}^{n} \frac{1 - PI(I)}{A(I)}} \qquad (12)$$

O cálculo de PG(I) e λ pelas fórmulas (10) e (12) satisfaz às equações de coordenação que levam à condição de mínimo custo e à restrição imposta pelo balanço de potência ativa.

Porém, tendo em vista que modificações nas PG(I) acarretarão mudanças nos valores de PL e de PI(I), a definição do conjunto ótimo final das PG(I) e λ é feita por processo iterativo, que está apresentado no item 5.4.

5.3 - Efeito das restrições de carga do gerador no despacho econômico

Como citado anteriormente, cada gerador tem uma faixa permissível de geração de potência ativa:

$$PMIN(J) \leq PG(J) \leq PMAX(J)$$

Se, no decorrer do despacho, o valor calculado para PG(J) violar essa faixa, a potência ativa do gerador ficará bloqueada no limite ultrapassado e o seu respectivo custo incremental não será mais igual ao custo incremental do sistema.

Admitindo, por exemplo, que, em determinada etapa do despacho, PG(J)$\leq$PMIN(J), far-se-ia PG(J) = PMIN(J).

Em conseqüência, as equações (10) apresentadas em 5.2 ficariam:

$$PG(I) = \frac{\lambda(1-PI(I))-B(I)}{2*A(I)} \qquad \text{p/ } I=1 \text{ a } n,\ I \neq J \qquad (13)$$

$$PG(J) = PMIN(J)$$

A equação de balanço de potência ativa seria:

$$PMIN(J) + \sum_{\substack{I=1 \\ I\neq J}}^{n} PG(I) = PD+PL \qquad (14)$$

Substituindo (13) em (14), tem-se:

$$PMIN(J) + \frac{\lambda}{2}\left[\sum_{\substack{I=1 \\ I\neq J}}^{n} \frac{1 - PI\ (I)}{A(I)}\right] - \frac{1}{2}\sum_{\substack{I=1 \\ I\neq J}}^{n} \frac{B(I)}{A(I)} = PD+PL$$

logo:

$$\lambda\left[\sum_{\substack{I=1 \\ I\neq J}}^{n} \frac{1-PI(I)}{A(I)}\right] = \sum_{\substack{I=1 \\ I\neq J}}^{n} \frac{B(I)}{A(I)} + 2\ PD + 2\ PL - 2\ PMIN(J)$$

$$\lambda = \frac{\displaystyle\sum_{\substack{I=1 \\ I\neq J}}^{n} \frac{B(I)}{A(I)} + 2\ PD + 2\ PL - 2\ PMIN(J)}{\displaystyle\sum_{\substack{I=1 \\ I\neq J}}^{n} \frac{1 - PI(I)}{A(I)}} \qquad (15)$$

Supondo que "k" geradores ficassem bloqueados e denominando PLIM o somatório dos limites violados, pode-se generalizar (15).

$$\lambda = \frac{\sum_{\substack{I=1 \\ I\neq k}}^{n} \frac{B(I)}{A(I)} + 2PD+2PL - 2PLIM}{\sum_{\substack{I=1 \\ I\neq k}}^{n} \frac{1 - PI(I)}{A(I)}} \qquad (16)$$

onde "I" não inclue os "k" geradores bloqueados.

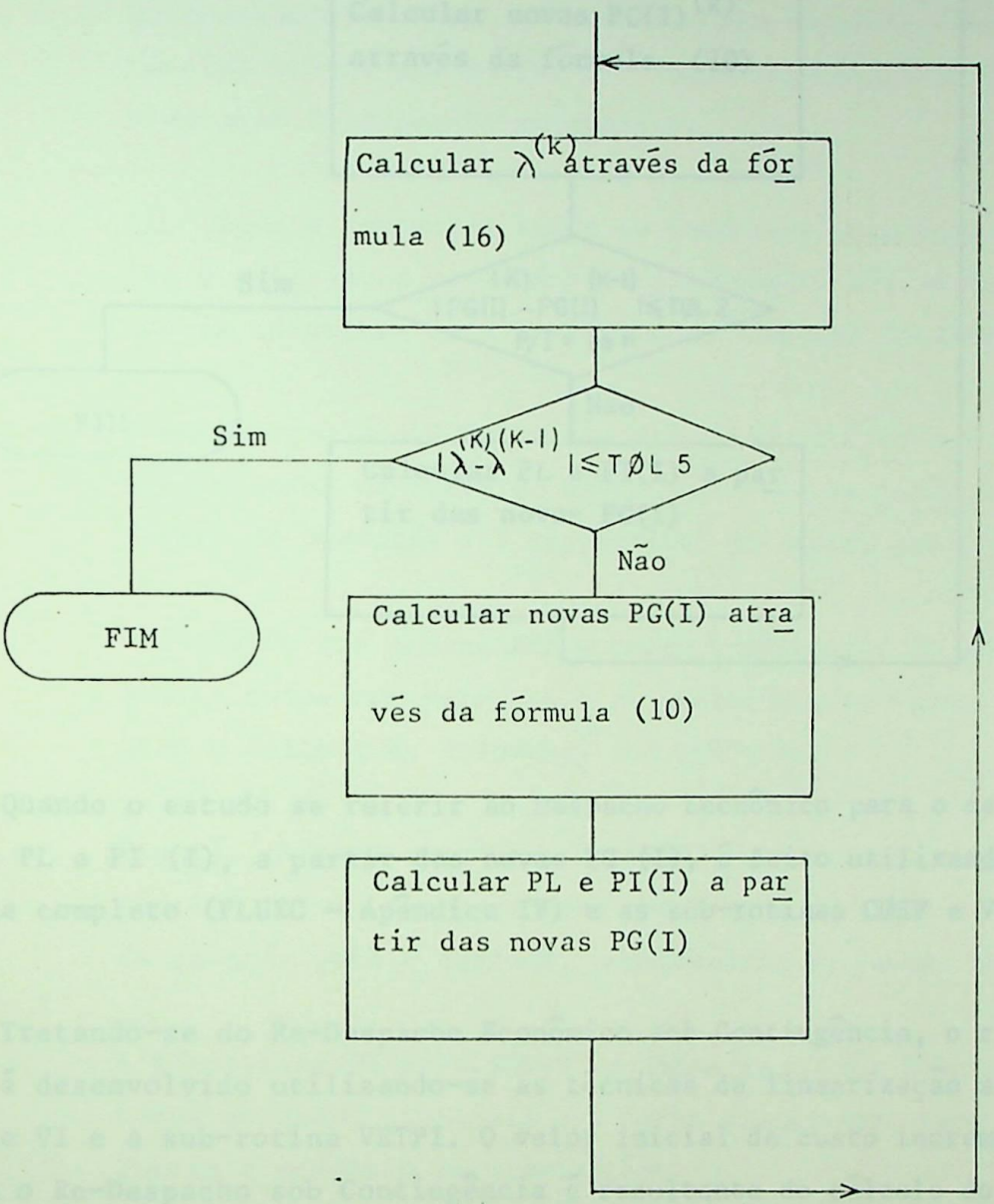
5.4. O algoritmo de solução para cálculo das PG (I) e λ.

1. Inicializar PLIM = 0.
2. Calcular λ pela fórmula (16)
3. Verificar se o módulo da diferença entre esse valor e o calculado anteriormente é menor ou igual a uma dada tolerância TØL 5.
4. Se não for, calcula-se as PG (I)através da (10), verificando se os seus valores estão dentro das respectivas faixas da operação permissíveis.

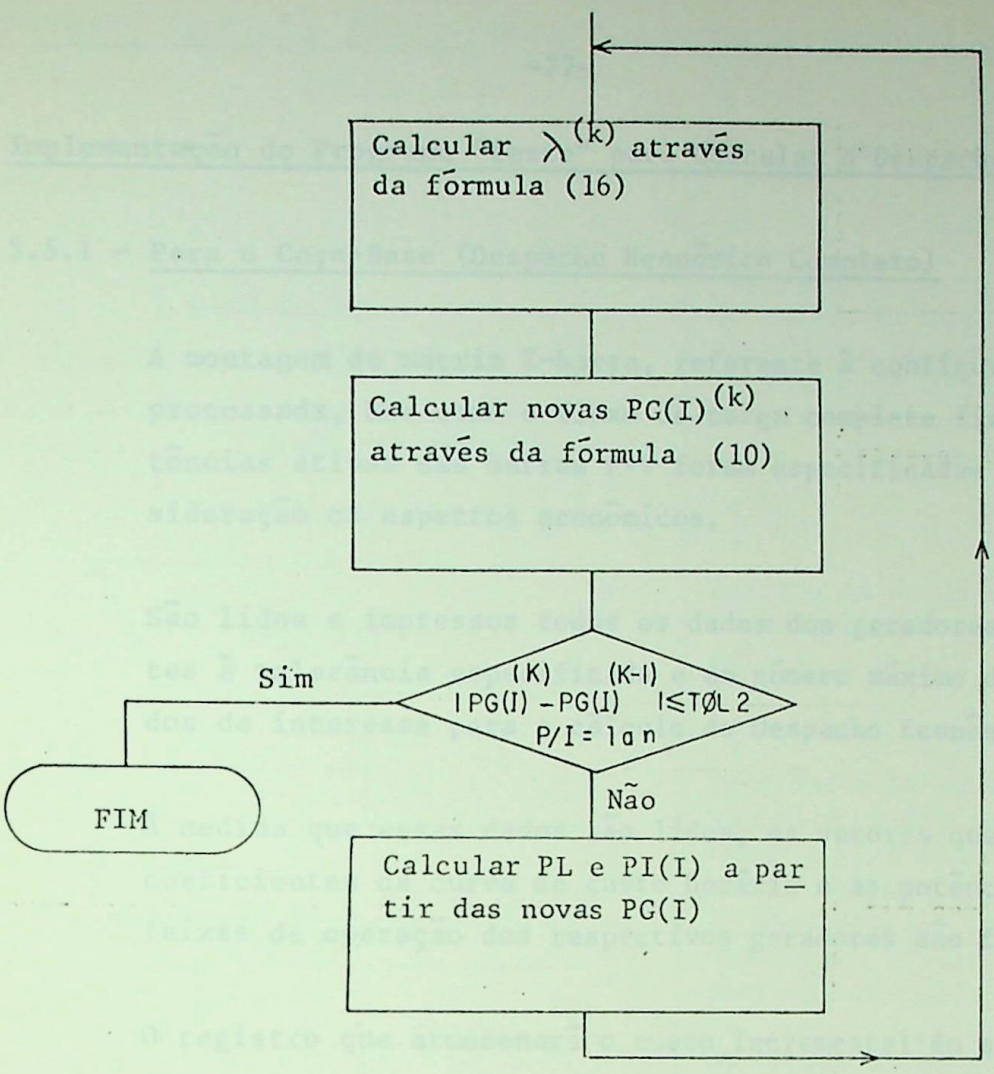
Se esse cálculo resultar em um valor para PG (I) fora da faixa permissível, faz-se PG (I) igual ao limite violado.

5. A partir das novas PG (I), calcular PL e PI (I).
6. Voltar a (2), considerando PLIM o somatório das potências dos geradores bloqueados.
7. Se o módulo da diferença entre o valor recém-encontrado para λ e o calculado anteriormente for menor ou igual à tolerância TØL 5, o processo termina e os valores das PG(I) formam o conjunto ótimo final.

A seguir é apresentado o fluxograma simplificado que mostra essas etapas de cálculo e que foi implementado no presente trabalho.



Outra maneira de resolver o problema seria o de testar a convergência através dos valores das PG (I), como mostra o fluxograma a seguir. (Ver referência 2).



Quando o estudo se referir ao Despacho Econômico para o caso-base, o cálculo de PL e PI (I), a partir das novas PG (I), é feito utilizando-se o fluxo de carga completo (FLUXC - Apêndice IV) e as sub-rotinas CØEF e VETPI (Apêndice V).

Tratando-se do Re-Despacho Econômico sob Contingência, o cálculo de PL e PI (I) é desenvolvido utilizando-se as técnicas de linearização apresentadas no Apêndice VI e a sub-rotina VETPI. O valor inicial de custo incremental do sistema para o Re-Despacho sob Contingência é resultante do cálculo do despacho ótimo para o caso-base.

5.5 - Implementação do Programa "teste" para Calcular o Despacho Econômico

5.5.1 - Para o Caso-Base (Despacho Econômico Completo)

A montagem da matriz Z-barra, referente à configuração-base, é processada, bem como o fluxo de carga completo (inicial) cujas potências ativas das barras P-V foram especificadas sem levar em consideração os aspectos econômicos.

São lidos e impressos todos os dados dos geradores e os referentes à tolerância especificada e ao número máximo de iterações, dados de interesse para o cálculo do Despacho Econômico.

À medida que esses dados são lidos, os vetores que armazenam os coeficientes da curva de custo horário e as potências limites das faixas de operação dos respectivos geradores são formados.

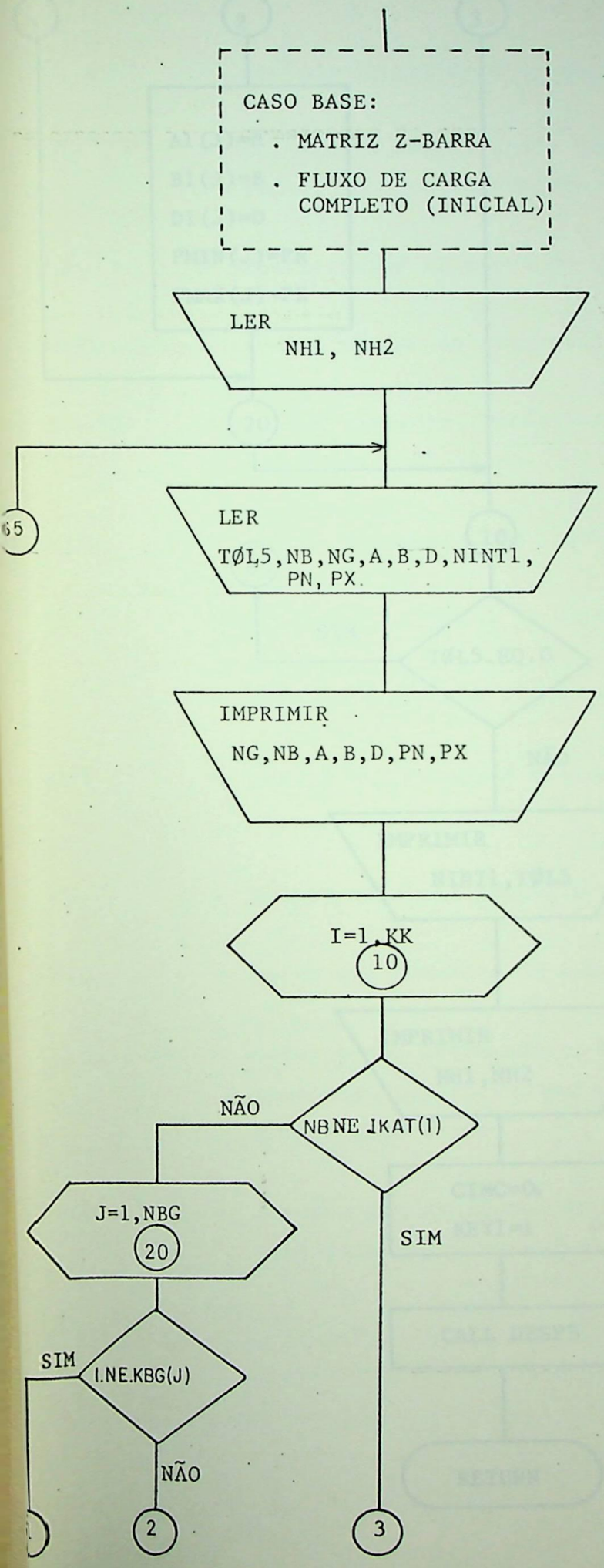
O registro que armazenará o custo incremental do sistema (CINC) é inicializado com valor zero e o referente ao número de iterações para o cálculo do Despacho, com valor um.

É então chamada a sub-rotina DESPB, que calcula o despacho das potências ativas dos geradores que leva à condição de menor custo de geração para o sistema, considerando as perdas na transmissão.

A sub-rotina DESPB utiliza os dados da matriz Z-barra e os resultados de FLUXC (inicial) que foram processados para o caso-base e inicia o processo de otimização.

Após cada iteração, a atualização dos valores das tensões de barra e das perdas ativas totais, decorrentes das modificações nas potências ativas geradas pelas barras P-V, é feita dentro da própria rotina DESPB com a utilização de FLUXC. O mesmo ocorre em relação aos coeficientes ALFA e BETA e à perda incremental de transmissão (PI) cujas modificações são feitas pelas sub-rotinas COEF e VETPI, respectivamente. A sub-rotina DESPB está apresentada em detalhes no Apêndice VII.

RAMA DO PROGRAMA PRINCIPAL (TESTE)PARA O CÁLCULO DO DESPACHO ECONÔMICO COMPLETO PARA BASE



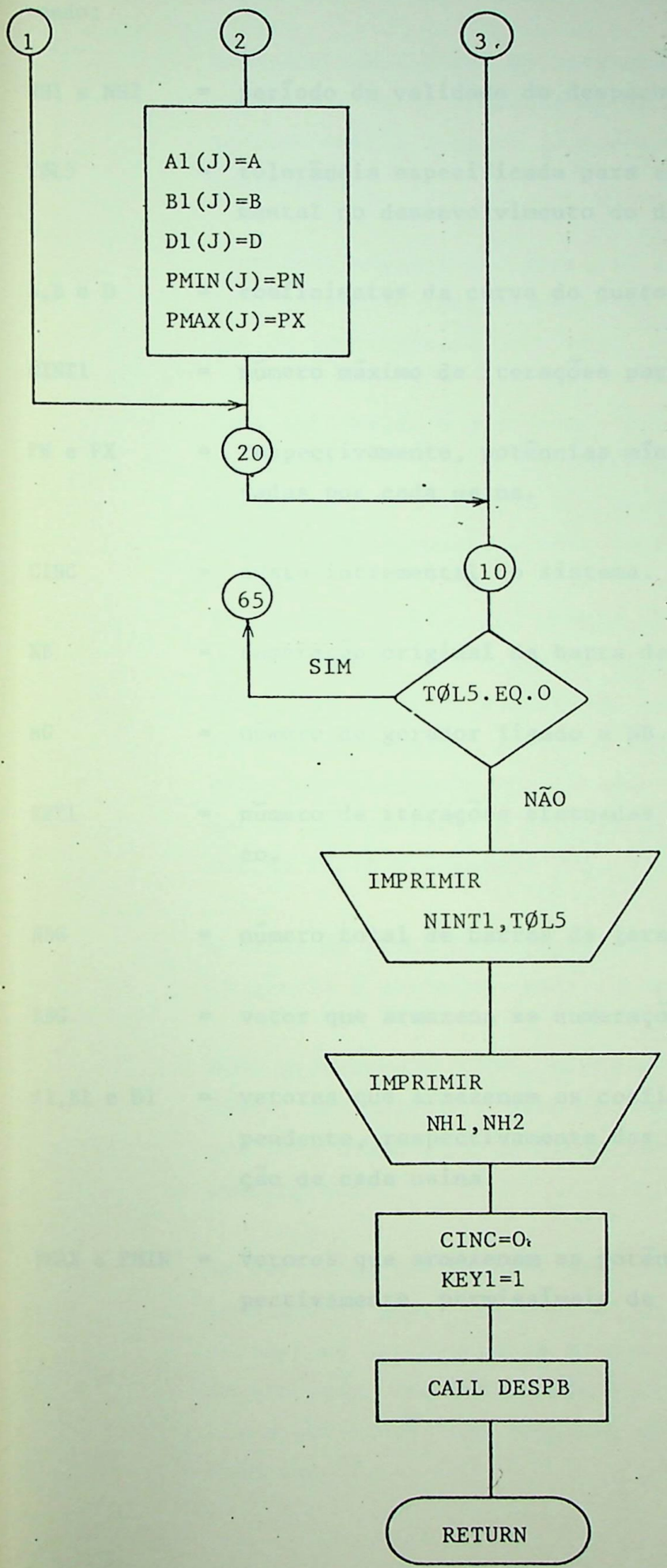
Montagem da matriz Z-barra e cálculo do estado de operação do sistema, sem considerar os aspectos econômicos (custo mínimo de geração).

Entrada de dados referentes ao período de validade do despacho (hora inicial e final)

Tolerância especificada para convergência do custo incremental, nº do gerador e respectiva barra, coef. das curvas de custos de geração, nº máximo de iterações para converg. do desp.econ. e faixa permissível de operação de cada gerador.

Impressão do nº do gerador da barra a que está conectado, dos respectivos coef. das curvas de custo e da faixa permissível de operação de cada gerador.

Formação dos vetores que armazenam os coef. da curva do custo horário de geração e as potências que limitam a faixa permissível de operação de cada usina.



Teste para verificação da existência de outros dados de barra de geração a considerar.

Impressão da tolerância especificada para convergência do custo incremental e nº máximo de iterações para o despacho econômico.

Impressão do período de validade do despacho.

Inicialização do custo incremental do sistema e do nº de iterações para o despacho econômico.

Cálculo do despacho econômico.

sendo:

NH1 a NH2 = período de validade do despacho econômico.

TØL5 = tolerância especificada para convergência do valor do custo incremental no desenvolvimento do despacho econômico.

A,B e D = coeficientes da curva do custo horário de geração de cada usina.

NINT1 = número máximo de iterações para o despacho econômico.

PN e PX = respectivamente, potências mínima e máxima possíveis de serem geradas por cada usina.

CINC = custo incremental do sistema.

NB = numeração original da barra de geração.

NG = número do gerador ligado a NB.

KEY1 = número de iterações efetuadas para o cálculo do despacho econômico.

NBG = número total de barras de geração existentes no sistema.

KBG = vetor que armazena as numerações das barras de geração.

A1,B1 e D1 = vetores que armazenam os coeficientes quadrático, linear e independente, respectivamente, das curvas de custo horário de geração de cada usina.

PMAX e PMIN = vetores que armazenam as potências ativas, máxima e mínima, respectivamente, permissíveis de serem geradas pelos geradores.

5.5.2 - Para o Sistema em Contingência (Re-Despacho Econômico)

Os dados resultantes do Despacho Econômico referente à configuração-base estão armazenados em memória auxiliar, bem como a respectiva matriz Z-barra (e todos os vetores formados durante a sua montagem).

Ocorrendo mudança não prevista na configuração do sistema, esse dado é informado imediatamente ao centro de despacho com a descrição da contingência ocorrida.

Essa informação é processada pela sub-rotina CONTI (Capítulo 2), que identifica o tipo de contingência e gera as informações necessárias à atualização dos valores de Z-barra de forma a representar adequadamente a nova configuração do sistema.

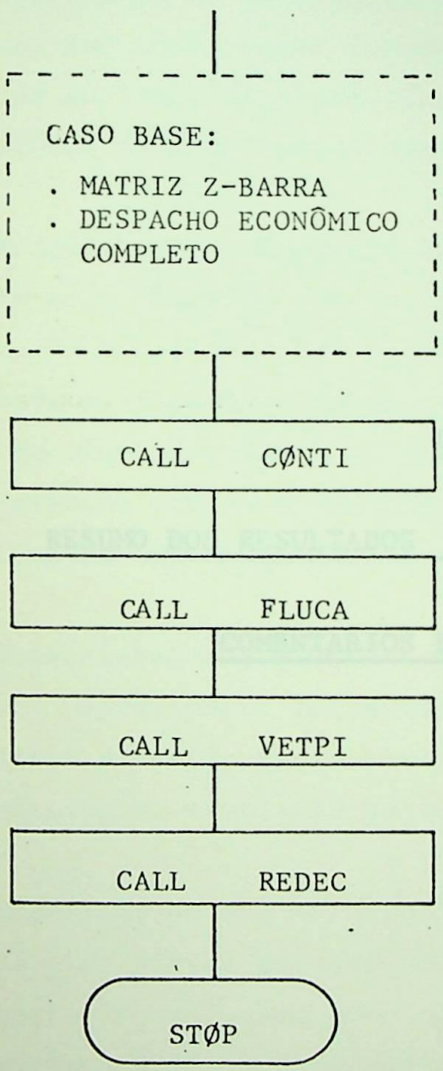
É chamada a sub-rotina FLUCA, que se utiliza das informações geradas por CONTI, dos dados de Z-barra e dos resultados do Despacho Econômico Completo processado para o caso-base. FLUCA calcula em valores aproximados, para o sistema sob contingência, as tensões de barra, os elementos atualizados das matrizes ALFA e BETA, as perdas ativas totais e a potência ativa gerada na barra "swing" (sub-rotina FLUCA - Apêndice IV).

O valor da perda incremental de transmissão modificada pela contingência é calculado pela sub-rotina VETPI (Apêndice V).

Após processadas CONTI, FLUCA e VETPI, é chamada a sub-rotina REDEC, que calcula o despacho das potências ativas dos geradores que leva à condição de menor custo de geração para o sistema sob contingência.

As variações nos valores das tensões de barras, das perdas ativas totais e da perda incremental de transmissão, decorrentes das modificações nas potências ativas geradas pelas barras P-V, após cada iteração, são calculadas dentro da própria sub-rotina REDEC, com a utilização das técnicas de linearização apresentadas no Apêndice VI.

FLUXOGRAMA DO PROGRAMA PRINCIPAL (TESTE) PARA O CÁLCULO DO RE-DESPACHO ECONÔMICO SOB CONTINGÊNCIA



Resultados do caso base: matriz Z-barra e estado de operação do sistema a custo mínimo (resultante do despacho econômico completo para o caso base)

Gera as informações necessárias à atualização de Z-barra, após ocorrido a contingência

Cálculo das novas tensões de barra das perdas ativas totais e potência ativa gerada na barra "swing" para o sistema em contingência

Cálculo da perda incremental do sistema

Cálculo do Re-Despacho Econômico sob contingência com a utilização das técnicas apresentadas no apêndice VI

CAPÍTULO 6

RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA UM SISTEMA-EXEMPLO

COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES FINAIS

6 - RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA UM SISTEMA-EXEMPLO - COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES FINAIS

6.1- Resumo dos Resultados

Procurou-se testar a precisão do "software" desenvolvido no presente trabalho para o cálculo do Re-Despacho Econômico sob Contingência, aplicando-o ao sistema-exemplo apresentado no Apêndice VIII.

Para isso, considerou-se uma dada configuração suposta inalterada durante certa hora de um dia (configuração-base). As cargas alocadas aos barramentos das subestações foram as previstas para essa hora e admitidas constantes ao longo da mesma. Considera-se então que a validade do Despacho Econômico abranja apenas esse período.

Processou-se o Despacho Econômico Completo para esse caso-base utilizando-se o programa que inclui a sub-rotina DESPB (item 5.5.1 - Capítulo 5).

Após o processamento do caso-base e armazenados os seus resultados, foram simulados todos os tipos de contingências abordados nos capítulos anteriores com a implementação do programa que calcula o Re-Despacho Econômico sob Contingência (item 5.5.2 - Capítulo 5).

Posteriormente, para avaliar a precisão dos resultados obtidos nesse método aproximado, foram calculados os despachos econômicos completos admitindo a configuração-base modificada em relação à inicial, com as mesmas alterações simuladas pelas contingências.

Constatou-se que os erros verificados entre os dois métodos para as potências ativas geradas nas barras de geração controlável (tipo P-V) e na barra "swing", bem como no valor do custo incremental do sistema, não atingiram a 0.5%, para todos os casos simulados, o que pode ser considerado excelente, comprovando a validade do "software" desenvolvido.

Os resultados completos obtidos para os diversos casos processados para o sistema-exemplo encontram-se no Apêndice VIII deste trabalho, sendo apresentados resumidamente a seguir apenas os dados considerados de maior interesse.

6.1.1- Resultados Obtidos Considerando as Seguintes Faixas de Operação:

a) Ger. 1 - Pot.Mín.: 0.0 pu (Barra 700) Pot.Máx.: 4.0 pu
Ger. 2 - Pot. Mín.: 0.0 pu (Barra 13) Pot. Máx.: 4.0 pu

DADOS	CASO-BASE	ADIÇÃO DA 2a. LT 700-4 (fecha-malha)			ABERTURA DO DISJUNTOR DE ACOPLAMENTO Nº 1		
	DE	DE	RDEC	|ERRO|	DE	RDEC	|ERRO|
Potências ativas geradas (MW)							
."swing"(barra 700)	323,455	322,619	322,894	0,1%	324,455	323,196	0,4%
.P-V (barra 13)	330,019	327,794	328,157	0,1%	330,474	329,147	0,4%
Custo incremental do sistema (US$/MW.h)	0,13526	0,13486	0,13499	0,1%	0,13574	0,13513	0,4%

Escola Federal de Engenharia - Itajubá
Biblioteca MAUÁ

DADOS	REMOÇÃO DA LT 170-39			REMOÇÃO DA LT 82-4		
	DE	RDEC	|ERRO|	DE	RDEC	|ERRO|
Potências ativas geradas (MW)						
."swing" (barra 700)	323,916	323,078	0,3%	302,547	301,982	0,2%
.P-V (barra 13)	329,958	328,937	0,3%	309,606	309,052	0,2%
Custo incremental do sistema (US$/MW.h)	0,13598	0,13508	0,3%	0,12522	0,12495	0,2%

b) Ger. 1 - Pot.Mín.: 0.0 pu (Barra 700) Pot.Máx.: 4.0 pu
Ger. 2 - Pot.Mín.: 0.0 pu (Barra 13) Pot.Máx.: 3.2 pu

DADOS	ADIÇÃO DA LT 82-4 (Radial)			REMOÇÃO DA LT 82-4		
	DE	RDEC	|ERRO|	DE	RDEC	|ERRO|
Potências ativas geradas (MW)						
."swing" (barra 700)	333,583	332,173	0,4%	302,547	301,794	0,2%
.P-V (barra 13)	320,000 (a)	320,000 (a)	0,0%	309,606	308,890	0,2%
Custo incremental do sistema (US$/MW.h)	0,14012	0,13944	0,5%	0,12522	0,12486	0,3%

OBS.: DE = Despacho Econômico Completo

RDEC = Re-Despacho Econômico sob Contingência

(a) = Gerador bloqueado na potência máxima.

6.2- Recomendações Finais

Recomenda-se que este trabalho seja complementado no futuro, nos seguintes aspectos:

a) acoplamento de um programa mais rápido para o cálculo do fluxo de carga completo;

b) introdução de um subprograma com prognóstico horário de carga, para as 24 horas do dia, tendo em vista a possibilidade da não restauração do sistema à configuração base, dentro do período de validade do despacho considerado no presente trabalho (1 hora);

c) adaptação do programa de Re-Despacho sob Contingência para aplicação em um sistema hidrotérmico;

d) formulação e implementação de uma metodologia para aplicação nos casos de contingências múltiplas.

APÊNDICE I

REDUÇÃO DE KRON DE UMA MATRIZ

Considera-se a seguinte equação matricial:

$$\begin{bmatrix} A_1 & A_2 \\ A_3 & A_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} \qquad (1)$$

na qual A_1, A_2, A_3 e A_4 podem ser consideradas submatrizes ou coeficientes simples e X_1, X_2, B_1 e B_2 vetores ou variáveis simples.

A_1 pode ser modificada para refletir as alterações decorrentes da eliminação da incógnita X_2.

A equação (1) em forma expandida é:

$$A_1 X_1 + A_2 X_2 = B_1 \qquad (2)$$

$$A_3 X_1 + A_4 X_2 = B_2 \qquad (3)$$

(3) pode ser reescrita:

$$A_4 X_2 = B_2 - A_3 X_2$$

Pré-multiplicando por A_4^{-1}, vem:

$$A_4^{-1} A_4 X_2 = A_4^{-1} B_2 - A_4^{-1} A_3 X_2 \therefore X_2 = A_4^{-1} B_2 - A_4^{-1} A_3 X_1 \qquad (4)$$

Substituindo (4) em (2):

$$A_1 X_1 + A_2 (A_4^{-1} B_2 - A_4^{-1} A_3 X_1) = B_1$$

$$(A_1 - A_2 A_4^{-1} A_3) X_1 = B_1 - A_2 A_4^{-1} B_2$$

Logo:

$$\begin{bmatrix} A_1 - A_2 A_4^{-1} A_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1 - A_2 A_4^{-1} B_2 \end{bmatrix} \qquad (5)$$

O coeficiente de $\begin{bmatrix} X_1 \end{bmatrix}$ é o resultado de uma redução de KRON em A_1, quando a incógnita $\begin{bmatrix} X_2 \end{bmatrix}$ é eliminada.

$$\begin{bmatrix} ZB \text{ (antes da incorporação da linha fecha-malha)} & ZB_{filas-malha} \\ ZB_{malha-colunas} & ZB_{malha-malha} \end{bmatrix} \Longrightarrow \begin{bmatrix} ZBN \end{bmatrix}$$

Pela utilização da equação (5), ZB resultaria:

$$ZBN = ZB - ZB_{filas-MALHA} \cdot \frac{1}{ZB_{MALHA-MALHA}} \cdot ZB_{MALHA-colunas}$$

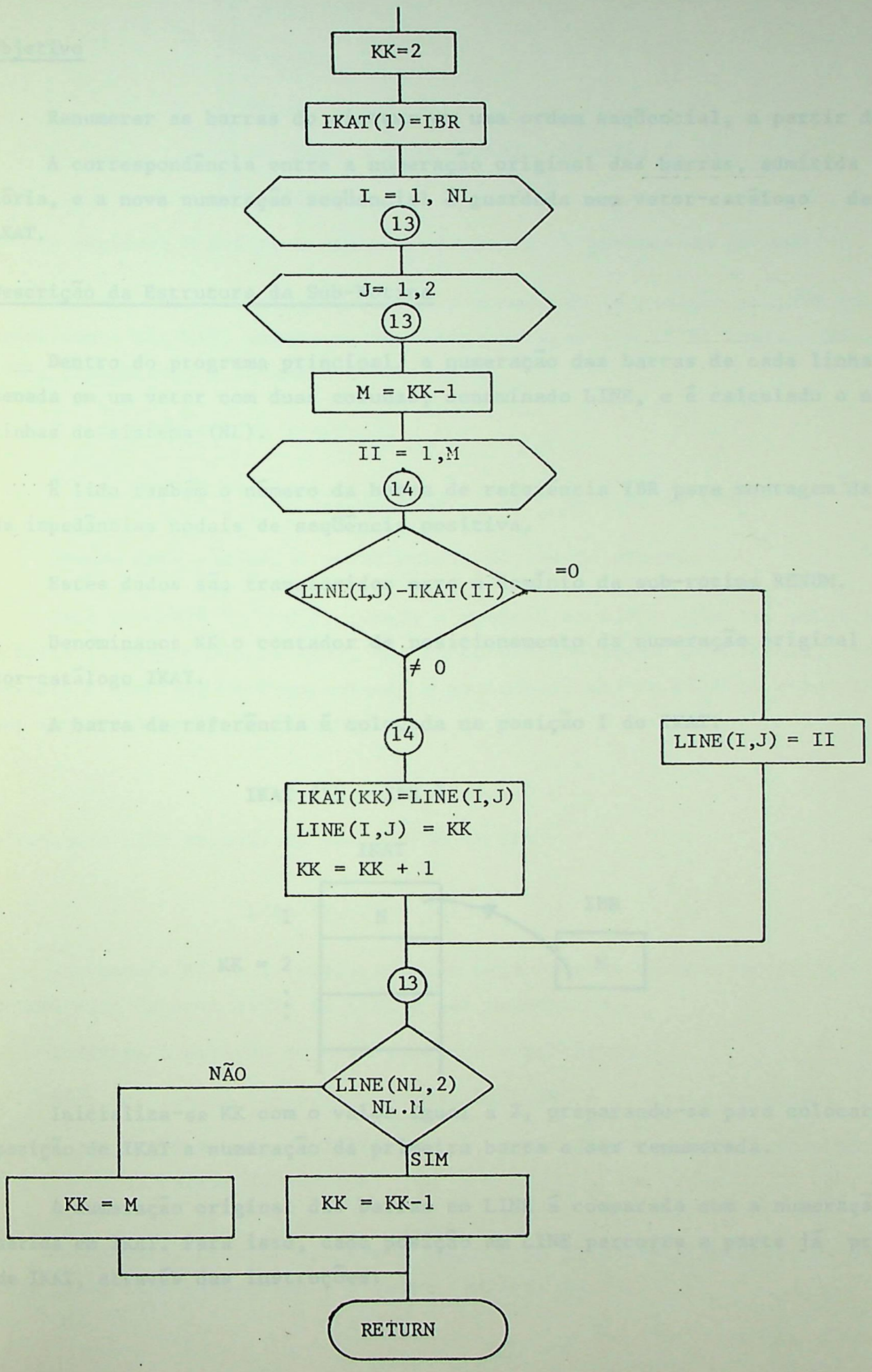
Para o elemento da ffila "i" e coluna "j", tem-se:

$$ZBN_{ij} = ZB_{ij} - ZB_{i-MALHA} \cdot \frac{1}{ZB_{MALHA-MALHA}} \cdot ZB_{MALHA-j}$$

APÊNDICE II

SUB-ROTINAS PARA MONTAGEM DA MATRIZ Z-BARRA

SUBRØUTINE RENUM (NL, LINE, IKAT, KK, IBR)



SUB-ROTINA RENUM

Objetivo

Renumerar as barras do sistema em uma ordem seqüencial, a partir de 1.

A correspondência entre a numeração original das barras, admitida ser aleatória, e a nova numeração seqüencial é guardada num vetor-catálogo denominado IKAT.

Descrição da Estrutura da Sub-Rotina

Dentro do programa principal, a numeração das barras de cada linha é armazenada em um vetor com duas colunas, denominado LINE, e é calculado o número de linhas do sistema (NL).

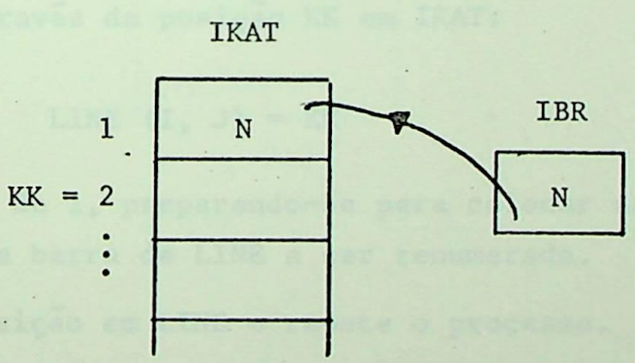
É lido também o número da barra de referência IBR para montagem da matriz de impedâncias nodais de seqüência positiva.

Estes dados são transferidos para o domínio da sub-rotina RENUM.

Denominanos KK o contador de posicionamento da numeração original do vetor-catálogo IKAT.

A barra de referência é colocada na posição 1 do IKAT.

IKAT (1) = IBR



Inicializa-se KK com o valor igual a 2, preparando-se para colocar nesta posição de IKAT a numeração da primeira barra a ser renumerada.

A numeração original das barras em LINE é comparada com a numeração já inserida em IKAT. Para isso, cada posição em LINE percorre a parte já preenchida de IKAT, através das instruções:

```
      6
        DØ 13 I = 1, NL
        DØ 13 J = 1, 2
        M = KK - 1
        DØ 14 II = 1, M
        IF (LINE (I, J) - IKAT (II)) 14, 3, 14
     14 CØNTINUE
```

A variável M define a dimensão da parte já preenchida de IKAT.

Durante esta comparação, quando a numeração da posição em LINE encontrar a coincidente em IKAT, insere a respectiva posição (em IKAT) desta numeração em LINE, propiciando a adequada renumeração.

É feito através da instrução:

LINE (I, J) = II II = posição em IKAT

Quando isto ocorre, o posicionador KK não se altera.

Caso contrário, isto é, quando a posição em LINE, após ter percorrido toda a parte já preenchida de IKAT, não encontrar numeração coincidente, deve então inserir a numeração correspondente à posição fixada em LINE no vetor IKAT, o que executa através da instrução:

IKAT (KK) = LINE (I, J)

e renumera LINE através da posição KK em IKAT:

LINE (I, J) = KK

Incrementa KK de 1, preparando-se para colocar na próxima posição de IKAT a numeração da nova barra de LINE a ser renumerada.

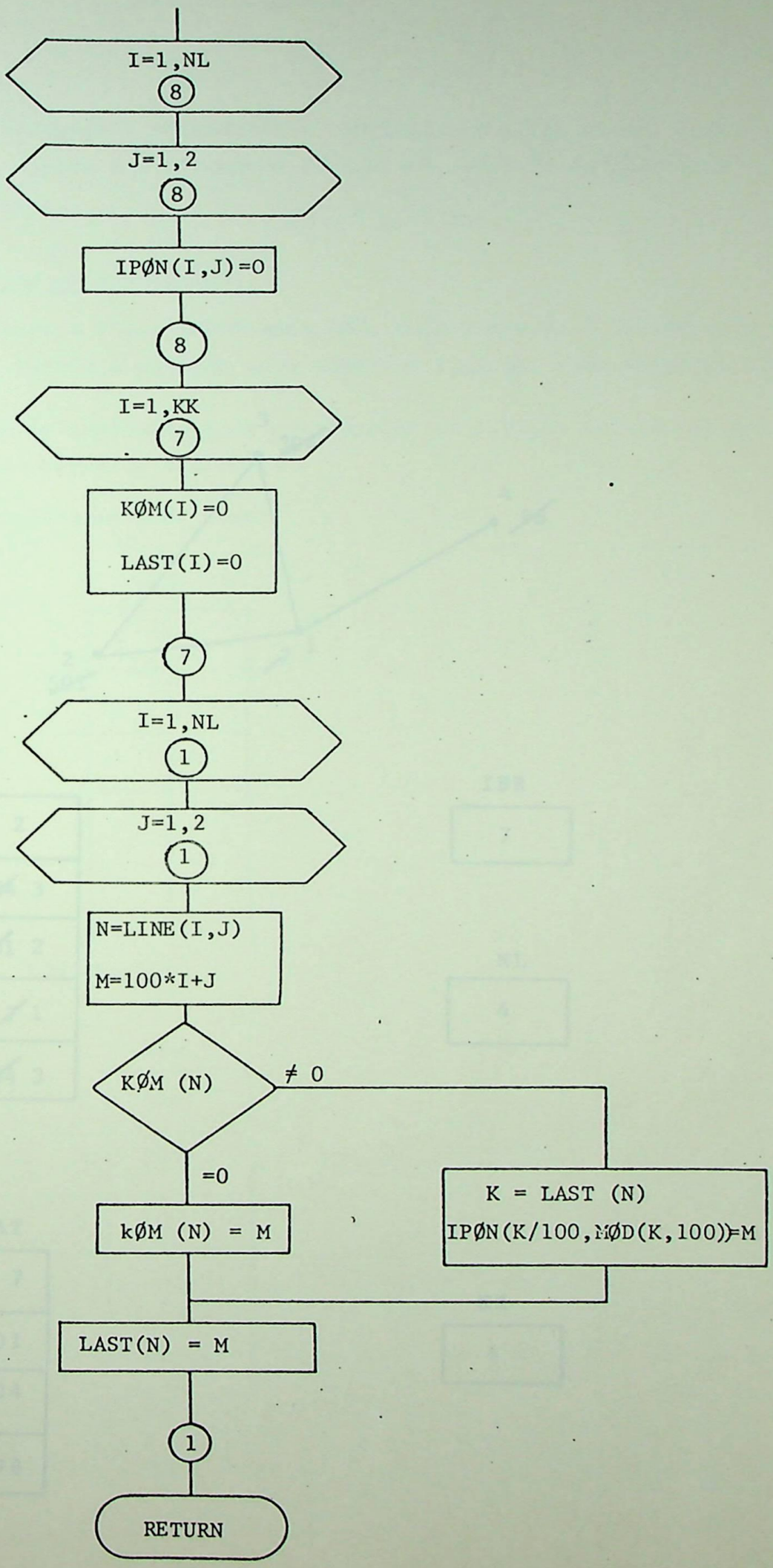
Modifica a posição em LINE e repete o processo.

Após ter fixado todas as posições de LINE, o processo termina.

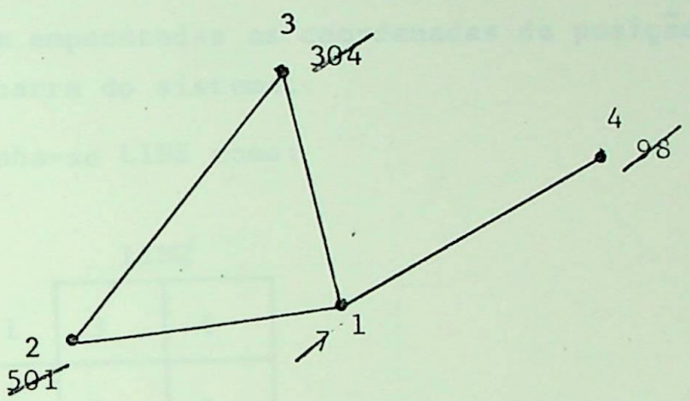
A parte preenchida de IKAT, isto é, a sua dimensão final, vale KK = M, que é o número de barras do sistema.

Finalmente, transfere, para o domínio do programa principal, o vetor-catálogo IKAT, LINE renumerado e o valor final de KK.

SUBRØUTINE CØSTU (NL,LINE,IPØN, KØM, KK)



Exemplo:



LINE

I \ J	1	2
1	~~501~~ 2	~~304~~ 3
2	~~7~~ 1	~~501~~ 2
3	~~98~~ 4	~~7~~ 1
4	~~7~~ 1	~~304~~ 3

IBR

7

NL

4

IKAT

1	7
2	501
3	304
4	98

KK

4

SUB-ROTINA CØSTU

Objetivo

Armazenar as informações referentes à topologia da rede, de tal forma que possibilite a busca rápida dos elementos do sistema, através da numeração de suas barras respectivas.

Descrição da Estrutura da Sub-Rotina

A sub-rotina monta a lista denominada KØM, cuja dimensão é fixada pelo número de barras, que guarda a posição onde começa a aparecer cada barra em LINE.

A lista KØM contém empacotadas as coordenadas da posição em LINE da primeira ocorrência de cada barra do sistema.

Por exemplo, suponha-se LINE como:

LINE

1	3	4
2	1	2
3	4	2
	.	.
	.	.
	.	.

KØM seria:

KØM

1	201
2	202
3	101

Monta, também, uma lista de ponteiros, denominada IPØN, associada a LINE com a mesma dimensão deste, isto é, (NL, 2), de tal forma que a posição (I, J) de IPØN contém o endereço em LINE da próxima ocorrência da barra LINE (I, J). Esta informação em IPØN está empacotada de maneira similar à que nos referimos anteriormente.

Quando o valor em IPØN (I, J) for nulo, significa que não existe próxima ocorrência da barra LINE (I, J) em LINE.

Exemplo:

Para o mesmo LINE apresentado anteriormente, o IPØN poderia ser:

IPØN

	IPØN	
1	802	301
2	701	302
3	902	
	.	.
	.	.
	.	.

a) A próxima ocorrência de LINE (1, 1), isto é, barra 3, está definida na posição (1, 1) de IPØN, sendo IPØN (1, 1) = 802, a próxima ocorrência da barra 3 é LINE (8, 2). Dever-se-ia buscar na posição (8, 2) de IPØN a locação seguinte em LINE da barra.

b) A próxima ocorrência de LINE (1, 2), isto é, barra 4, está definida na posição (1, 2) de IPØN. Sendo IPØN (1, 2) = 301, a ocorrência seguinte da barra 4 é LINE (3, 1). Em IPØN (3, 1), tem-se a próxima ocorrência em LINE, que é (9, 2), e assim por diante.

c) Quanto à barra 2, a primeira ocorrência em LINE se dá na posição (2, 2).

Sendo IPØN (2, 2) = 302, a próxima ocorrência de 2 se dá na posição (3, 2) de LINE. Porém, em (3, 2) de IPØN o valor é zero, significando que esta posição (3, 2) em LINE é a última ocorrência da referida barra.

Além dos vetores KØM e IPØN, utiliza, também o vetor denominado LAST, que deve ter a sua dimensão limitada pelo número de barras do sistema.

LAST contém as coordenadas empacotadas do último aparecimento de cada barra em LINE até um certo instante. Se ainda não aconteceu o aparecimento de uma barra K (por exemplo) quando se está percorrendo LINE, então LAST (K) = 0.

Exemplo:

LINE

1	3	4
2	1	2
3	4	2
	.	.
	.	.
	.	.

← percorrido até aqui

LAST

1	201
2	302
3	101
4	301
5	0
	.
	.
	.

A técnica de montagem destes vetores emprega dois DØ.

O DØ externo vai escolhendo sucessivamente as linhas em LINE, enquanto que o DØ interno vai simplesmente percorrendo LINE da barra inicial à barra final de cada linha.

Seleciona-se o número da barra de uma linha através de:

```
N = LINE (I, J)
```

e calcula-se o valor empacotado das coordenadas da respectiva posição em LINE:

```
M = 100 * I + J
```

Verifica-se se o valor da posição em KØM correspondente à barra selecionada é nulo.

```
IF (KØM (N))
```

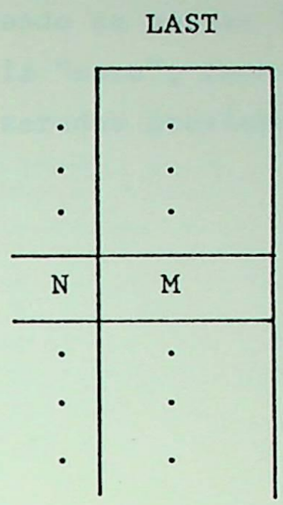
Caso o valor seja nulo, é sinal de que a barra ainda não apareceu em LINE e faz-se então:

```
KØM (N) = M
```

KØM

1	
2	
=	
N	M

Da mesma forma, insere-se a mesma informação em LAST, indicando que a última ocorrência da barra N em LINE é na posição correspondente ao valor M (coordenadas empacotadas).



Feito isto, passa-se à barra final da linha em análise (caso N calculado anteriormente seja barra inicial de linha) e repetem-se as mesmas operações citadas acima.

Se N for barra final da linha, passa-se para a linha seguinte, através do contador I externo.

Por outro lado, se, ao testar o valor da posição em KØM correspondente à barra selecionada, este não for nulo, significa que a barra já ocorreu em LINE numa posição anterior e que o valor empacotado M é a próxima posição em LINE da barra em causa.

Logo, não há alteração no vetor KØM (que armazena somente a primeira ocorrência) e o valor M (próxima ocorrência em LINE) deve ser transferido convenientemente para IPØN. O valor M deve ser inserido na posição em IPØN correspondente à sua ocorrência anterior (última). Esta informação está armazenada no vetor LAST, que deve ser adequadamente desempacotada.

Isto é feito através das instruções:

```
K = LAST (N)

IPØN (K/100, MOD (K, 100) ) = M
```

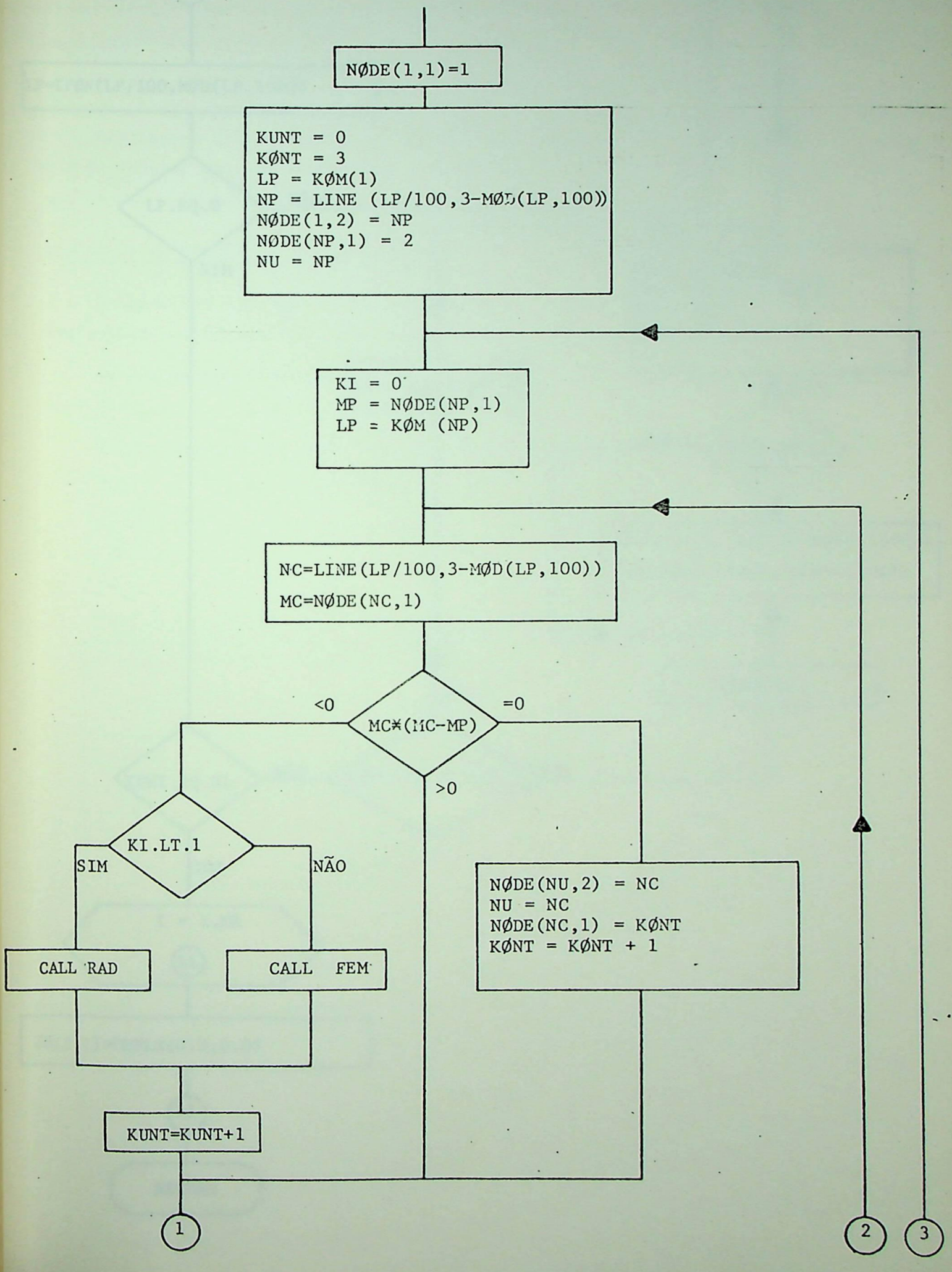
O valor M é agora a última ocorrência da barra N e por isso deve ser armazenado em LAST.

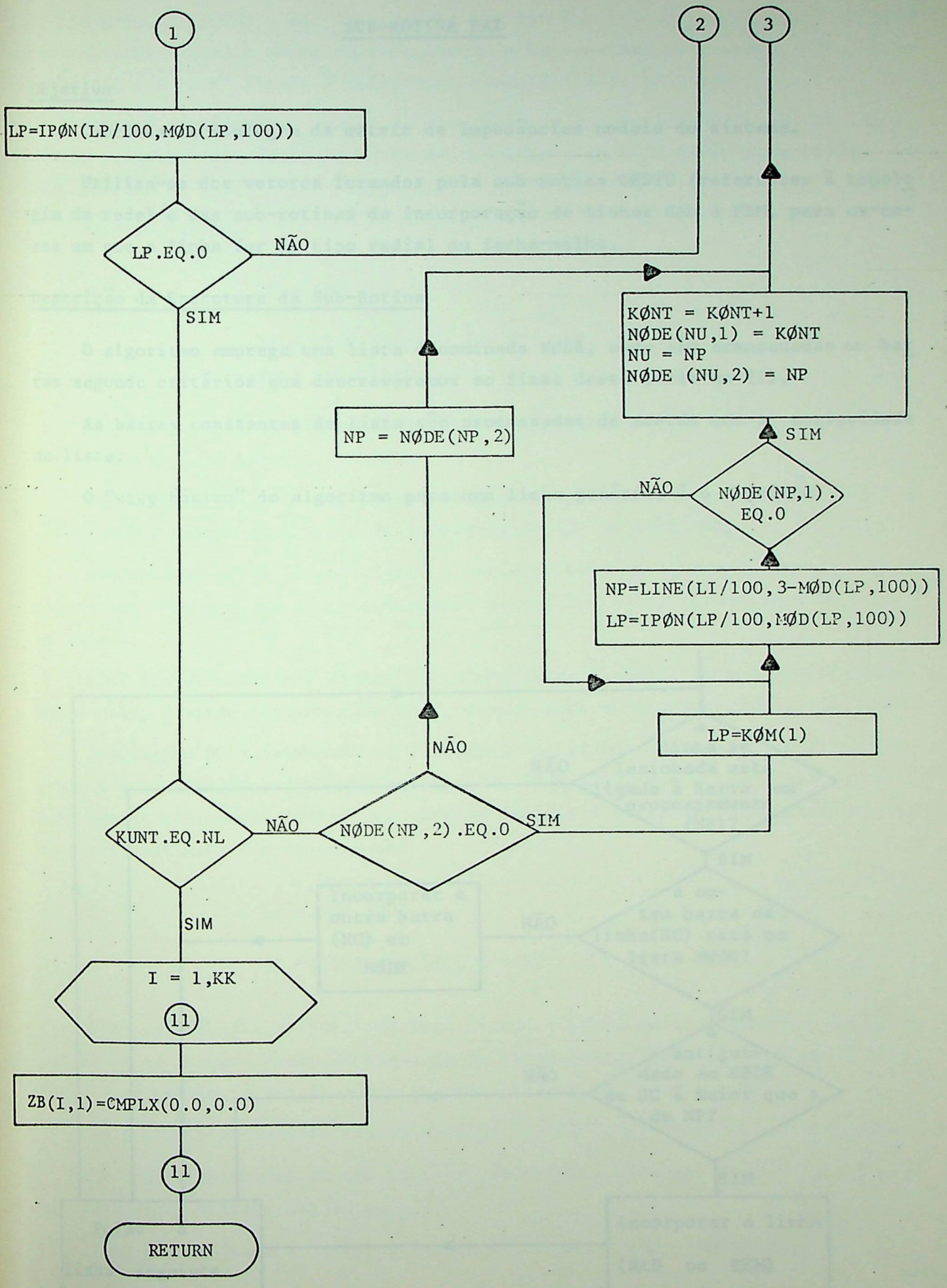
```
LAST (N) = M
```

Feito isto, passa-se a estudar outra barra do sistema, repetindo-se as operações já indicadas.

Cabe salientar que, quando se passar à montagem da matriz de impedâncias nodais referentes à seqüência "zero", face à mudança de topologia, os vetores IPØN, KØM e LAST devem ser zerados previamente.

SUBRØUTINE FAZ (KS,LINE, IPØN, KØM, ZB, ZL, NL, KK, NØDE, NU, KI, KC)




1
2
3
LP=IPØN(LP/100,MØD(LP,100))
LP.EQ.0
NÃO
SIM
KØNT = KØNT+1
NØDE(NU,1) = KØNT
NU = NP
NØDE (NU,2) = NP
NP = NØDE(NP,2)
SIM
NÃO
NØDE(NP,1) .EQ.0
NP=LINE(LI/100,3-MØD(LP,100))
LP=IPØN(LP/100,MØD(LP,100))
LP=KØM(1)
NÃO
KUNT.EQ.NL
NÃO
NØDE(NP,2) .EQ.0
SIM
SIM
I = 1,KK
11
ZB(I,1)=CMPLX(0.0,0.0)
11
RETURN

SUB-ROTINA FAZ

Objetivo

Coordenar a montagem da matriz de impedâncias nodais do sistema.

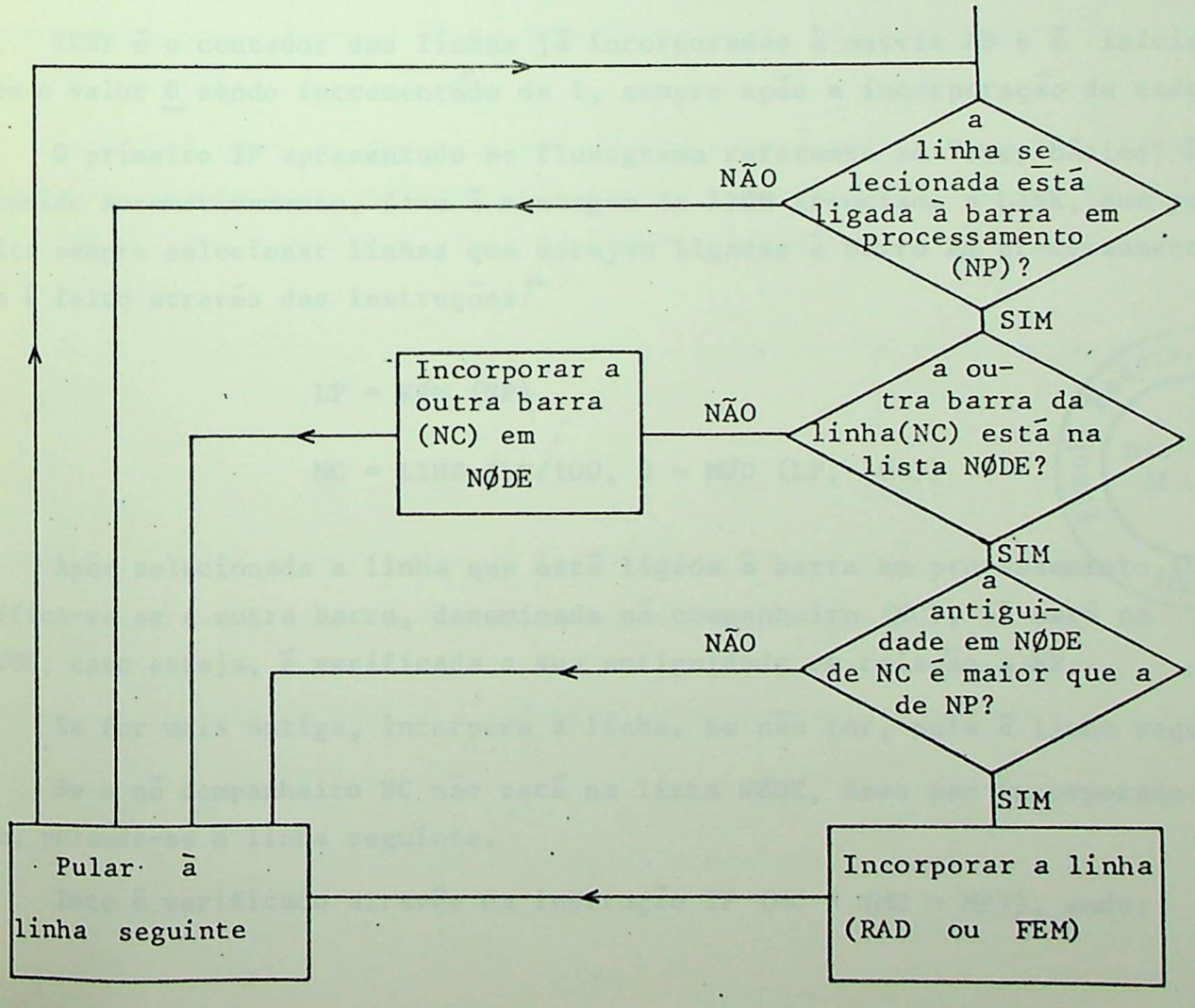
Utiliza-se dos vetores formados pela sub-rotina CØSTU (referentes à topologia da rede) e das sub-rotinas de incorporação de linhas RAD e FEM, para os casos em que a linha for do tipo radial ou fecha-malha.

Descrição da Estrutura da Sub-Rotina

O algoritmo emprega uma lista denominada NØDE, onde são armazenadas as barras segundo critérios que descreveremos ao final desta parte em (1).

As barras constantes da lista são processadas de acordo com a antiguidade na lista.

O "step básico" do algoritmo para uma linha genérica é o seguinte:



A primeira linha a ser selecionada por FAZ é a primeira ocorrência em LINE de uma linha ligada à barra de referência. A barra a ser processada (NP) inicialmente é a barra ligada à referência nesta linha selecionada.

Como já verificado, quando da descrição da sub-rotina CØSTU, as coordenadas da primeira ocorrência da barra de referência em LINE estão empacotadas em KØM (1).

Fazendo, então:

LP = KØM (1)

NP = LINE (LP/100,3 - MØD (LP, 100))

localiza-se o nó ligado à referência nesta linha selecionada.

Previamente, já se fez NØDE (1, 1) = 1, indicando que o nó de referência foi incorporado, a priori, em NØDE.

Insere-se NP em NØDE (1, 2) para indicar o próximo nó incorporado após a referência e coloca-se a ordem de incorporação (2) em NØDE (NP, 1).

Anteriormente, já se posicionou o contador KØNT em 3, preparando-se para colocar em NØDE a ordem de processamento da próxima barra (processada em terceiro lugar).

KUNT é o contador das linhas já incorporadas à matriz ZB e é inicializado com o valor 0 sendo incrementado de 1, sempre após a incorporação de cada linha.

O primeiro IF apresentado no fluxograma referente ao "step básico" é respondido automaticamente, face à montagem de IPØN associado a LINE, que possibilita sempre selecionar linhas que estejam ligadas à barra em processamento. Isto é feito através das instruções:

LP = KØM (NP)

NC = LINE (LP/100, 3 - MØD (LP, 100))

Escola Federal de Engenharia Biblioteca MAUÁ Itajubá

Após selecionada a linha que está ligada à barra em processamento (NP), verifica-se se a outra barra, denominada nó companheiro (NC), já está na lista NØDE; caso esteja, é verificada a sua antiguidade em relação a NP.

Se for mais antiga, incorpora a linha. Se não for, pula à linha seguinte.

Se o nó companheiro NC não está na lista NØDE, deve ser incorporado à mesma, pulando-se à linha seguinte.

Isto é verificado através da instrução IF (MC * (MC - MP)), onde:

MP - número da ordem de incorporação da barra em processamento (NP)
MP = NØDE (NP, 1)

MC - número da ordem de incorporação da barra parceira (NC)
MC = NØDE (NC, 1).

Se MC = 0, isto é, o nó companheiro (NC) não foi ainda incorporado a NODE, implica que MC * (MC - MP) = o e, então, NC deve ser incorporado a NODE.

Isto é feito através de:

NØDE (NU, 2) = NC, onde NU é um registro que conserva a locação da última barra incorporada.

NØDE (NC, 1) = KØNT, onde KØNT é o número da ordem de incorporação de NC.

Feito isto, faz-se NU = NC para uso futuro (agora, a última barra incorporada é NC) e incrementa-se KØNT de 1, preparando-se para colocar em NØDE a ordem de incorporação da próxima barra.

Com:

LP = IPØN (LP/100, MØD (LP, 100))

busca-se a próxima locação do nó em processamento (linha seguinte à que está ligado NP) em LINE.

Se LP for igual a zero, é sinal de que não há mais linhas ligadas a NP. Neste caso, testa-se o contador KUNT (que é o totalizador das linhas incorporadas) com NL, que é o número total de linhas do sistema. Se KUNT = NL, o algoritmo terminou.

Se LP for diferente de zero, volta-se a determinar o nó companheiro, através de:

NC = LINE (LP/100, 3 - NØD (LP, 100))

e repete-se todas as operações já indicadas a partir daí.

Se, por outro lado, ao se testar KUNT com NL, constatar-se que ainda há linhas a incorporar, estas serão definidas pelo próximo nó a processar. Esta informação é buscada em NØDE e é extraída pela seguinte instrução:

NP = NØDE (NP, 2)
(Ver item 2 ao final desta descrição).

Existe uma chave KI, que é inicializada em zero, sempre que uma nova barra entra em processamento (NP) e é tornada um, sempre que a rotina RAD for chamada a intervir.

A utilidade dessa chave é justificada com base na propriedade do algoritmo usado, que essencialmente é a seguinte:

"A primeira linha cujo nó companheiro é mais antiga em NØDE que NP deve ser incorporada como RADIAL; as demais linhas, cujos nós companheiros ligados a NP têm ainda antiguidade maior devem ser incorporadas como FECHA-MALHA".

Daí, então, para um mesmo NP, MC * (MC - MP) <0 sempre que o nó companheiro for mais antigo que NP, isto é, MC < MP. Na primeira incorporação, KI = 0 e a linha será então incorporada como RADIAL e, dentro da sub-rotina FAZ, faz-se KI = 1. Quando surge então outro nó companheiro NC mais antigo em NØDE que NP, novamente MC * (MC - MP) 0 porém, agora, como KI = 1, a linha será incorporada como FECHA-MALHA.

Deste modo, vai-se incorporando as linhas do sistema até que KUNT = NL, quando então o processo termina e a matriz ZB está montada.

Como, neste programa, só houve a preocupação de se montar a parte relativa à seqüência positiva, é preciso zerar apenas a primeira coluna, que se refere ao nó de referência, e que foi usada na redução de KRON, descrita na sub-rotina FEM, como eixo provisório.

Isto é feito através das instruções:

```
      6
      DØ 11 I = 1, KK
      ZB (I, 1) = CMPLX (0.0, 0.0)
11    CØNTINUE
```

Exemplificando para um sistema de quatro barras, a matriz ZB resultaria:

$ZB_+ =$

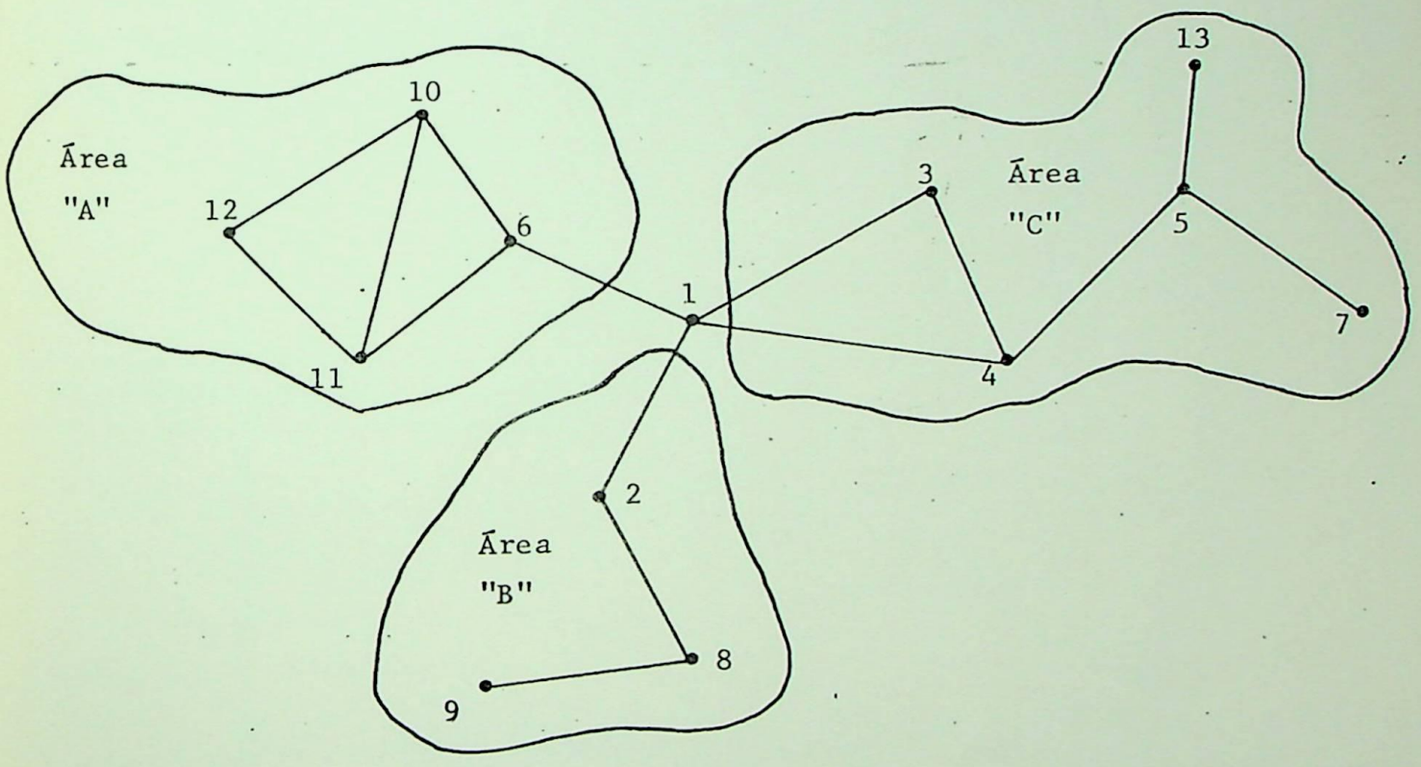
IKAT(1)	0				
IKAT(2)	0	x			
IKAT(3)	0	x	x		
IKAT(4)	0	x	x	x	
	IKAT(1)	IKAT(2)	IKAT(3)	IKAT(4)	

Feito isto, a matriz ZB, completamente montada, é transportada ao domínio do programa principal.

(1) Critérios para implementação da lista NØDE:
A lista NØDE é de dimensão (NB, 2), onde NB é o número de barras do sistema

e contêm as informações referentes à ordem de incorporação de cada barra do sistema.
EM NØDE(I, 1) armazena o número de ordem de incorporação da barra I. Este número é providenciado por um contador KØNT, que se movimenta após cada incorporação.
EM NØDE (I, 2) guarda o número da barra que foi incorporada imediatamente após a barra I, podendo, então, atuar como um ponteiro para definir a próxima barra a ser processada após a barra I.

(2) Como o sistema de transmissão pode ser constituído por várias áreas desconectadas (apenas a barra de referência sendo comum a elas), permanecerão linhas em LINE, cujas barras (exceto a de referência) ainda não foram incorporadas a NØDE e a busca da próxima barra a processar (NP) em NØDE, implicará NP = 0, quando NP = NØDE (NP, 2). Isto significa que uma das áreas ligadas à barra de referência foi totalmente processada.



Para se buscar outra área, deve-se localizar outra linha conectada à referência e entre aquelas cujas barras ainda não foram incorporadas a NØDE. Isto é feito através das etapas:

1) localização da primeira linha ligada à referência:

```
LP = KØM (1)
LP = IPØN (LP/100, MØD (LP, 100))
NP = LINE (LP/100, 3 - MØD (LP, 100))
```

2) Verificação se a outra barra (conectada à referência) já pertence a NØDE.

```
IF (NØDE (NP, 1). EQ.0)
```

Se NØDE (NP, 1) ≠ 0, NP já pertence a NØDE, devendo-se buscar outra linha ligada à referência:

LP = IPØN (LP/100, MØD (LP, 100)

NP = LINE (LP/100, 3 - MØD (LP, 100))

Se NØDE (NP, 1) = 0, NP não pertence a NØDE, devendo, então, ser adequadamente incorporada à mesma. Faz-se:

NØDE (NU, 2) = NP, onde NU registra a localização da última barra processada.

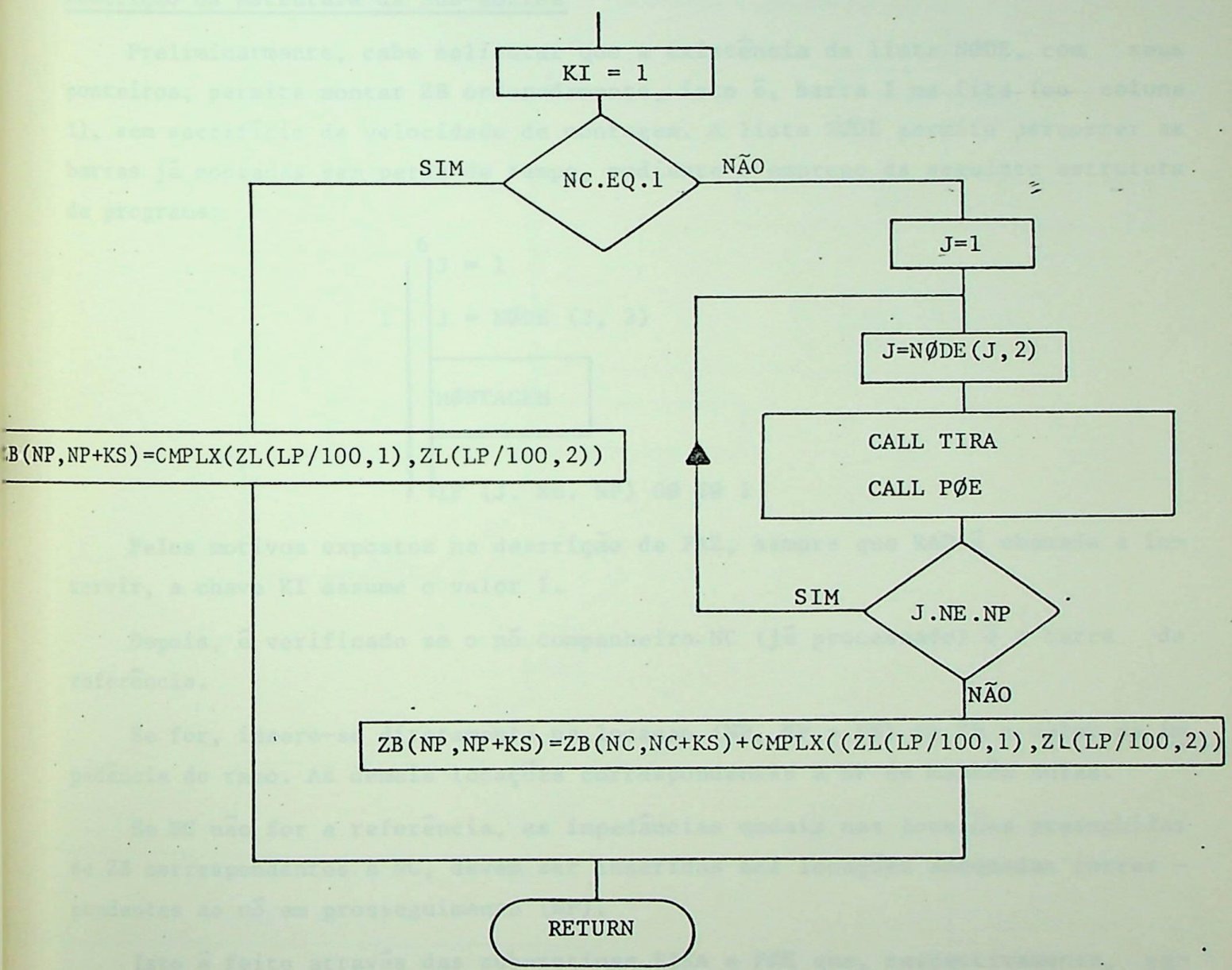
NU = NP

NØDE (NU, 1) = KØNT para colocar em NØDE a ordem de incorporação de NP.

KØNT = KØNT + 1 para armazenar a ordem de incorporação da próxima barra a processar.

Isto feito, retorna-se ao primeiro IF do "step básico" do algoritmo apresentado no início da descrição de FAZ.

SUBRØUTINE RAD (KI, KS, NC, NP, ZB, ZL, NØDE, LP)



SUB-ROTINA RAD

Objetivo

Possibilitar a incorporação de linhas do tipo radial à matriz ZB.

Este tipo de linha, já definido pela sub-rotina FAZ, ocorre quando o nó companheiro (NC) for mais antigo na lista NØDE do que o nó em processamento (NP) e desde que a linha seja a primeira a ser incorporada envolvendo a barra NP.

A barra parceira (NC) pode, inclusive, ser a referência.

Descrição da Estrutura da Sub-Rotina

Preliminarmente, cabe salientar que a existência da lista NØDE, com seus ponteiros, permite montar ZB ordenadamente, isto é, barra I na fita (ou coluna I), sem sacrifício de velocidade de montagem. A lista NØDE permite percorrer as barras já montadas sem perda de tempo, mediante o emprego da seguinte estrutura de programa:

```
      6
      |  J = 1
1     |  J = NØDE (J, 2)
      |  +-----------+
      |  | MØNTAGEM  |
      |  +-----------+
      |  IF (J. NE. NP) GØ TØ 1
```

Pelos motivos expostos na descrição de FAZ, sempre que RAD é chamada a intervir, a chave KI assume o valor 1.

Depois, é verificado se o nó companheiro NC (já processado) é a barra de referência.

Se for, insere-se diretamente na locação (NP, NP + KS) de ZB o valor da impedância do ramo. As demais locações correspondentes a NP se mantêm nulas.

Se NC não for a referência, as impedâncias nodais nas locações preenchidas de ZB correspondentes a NC, devem ser inseridas nas locações adequadas correspondentes ao nó em prosseguimento (NP).

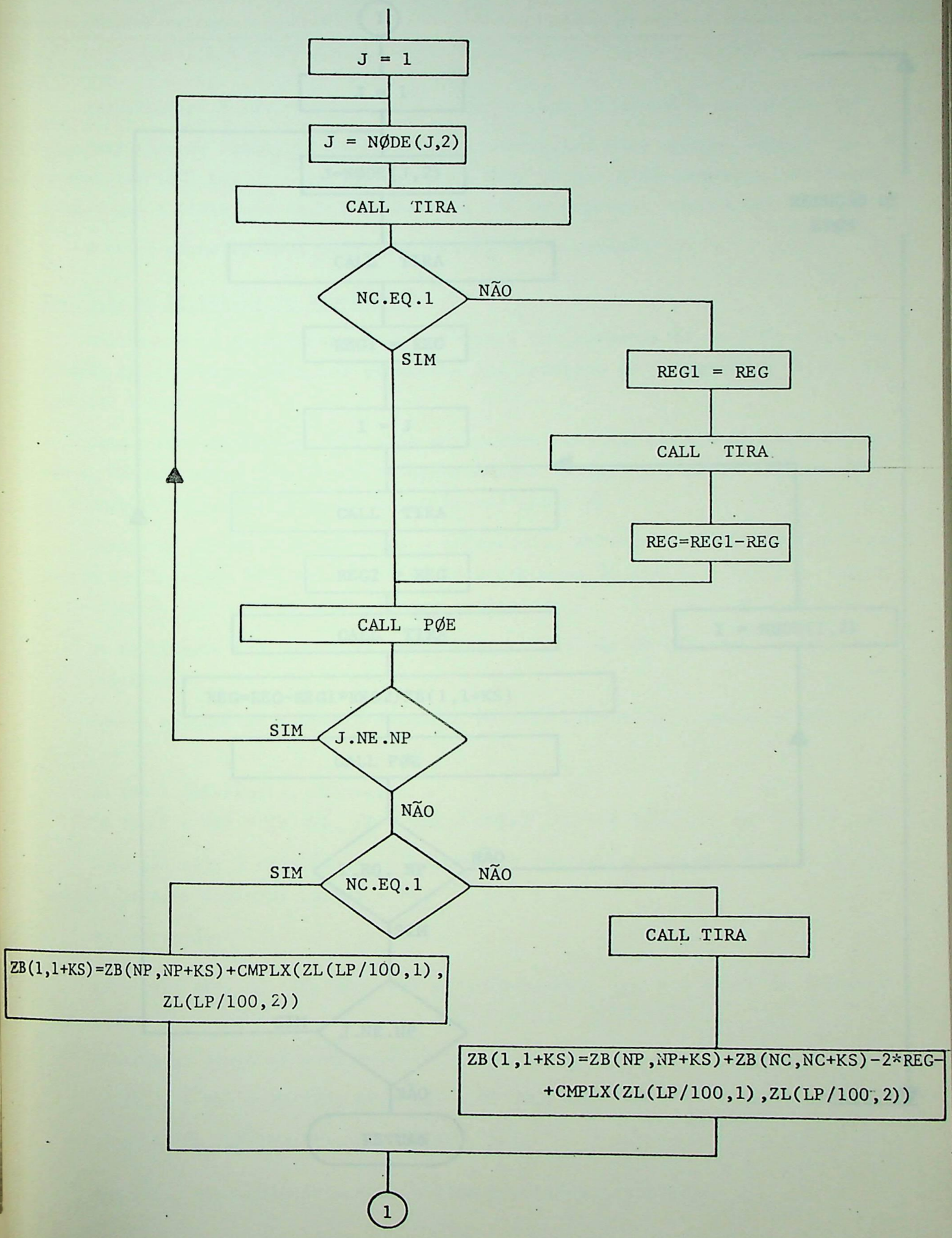
Isto é feito através das sub-rotinas TIRA e PØE que, respectivamente, extraem e inserem adequadamente os elementos correspondentes, comandados pela estrutura do programa apresentado inicialmente.

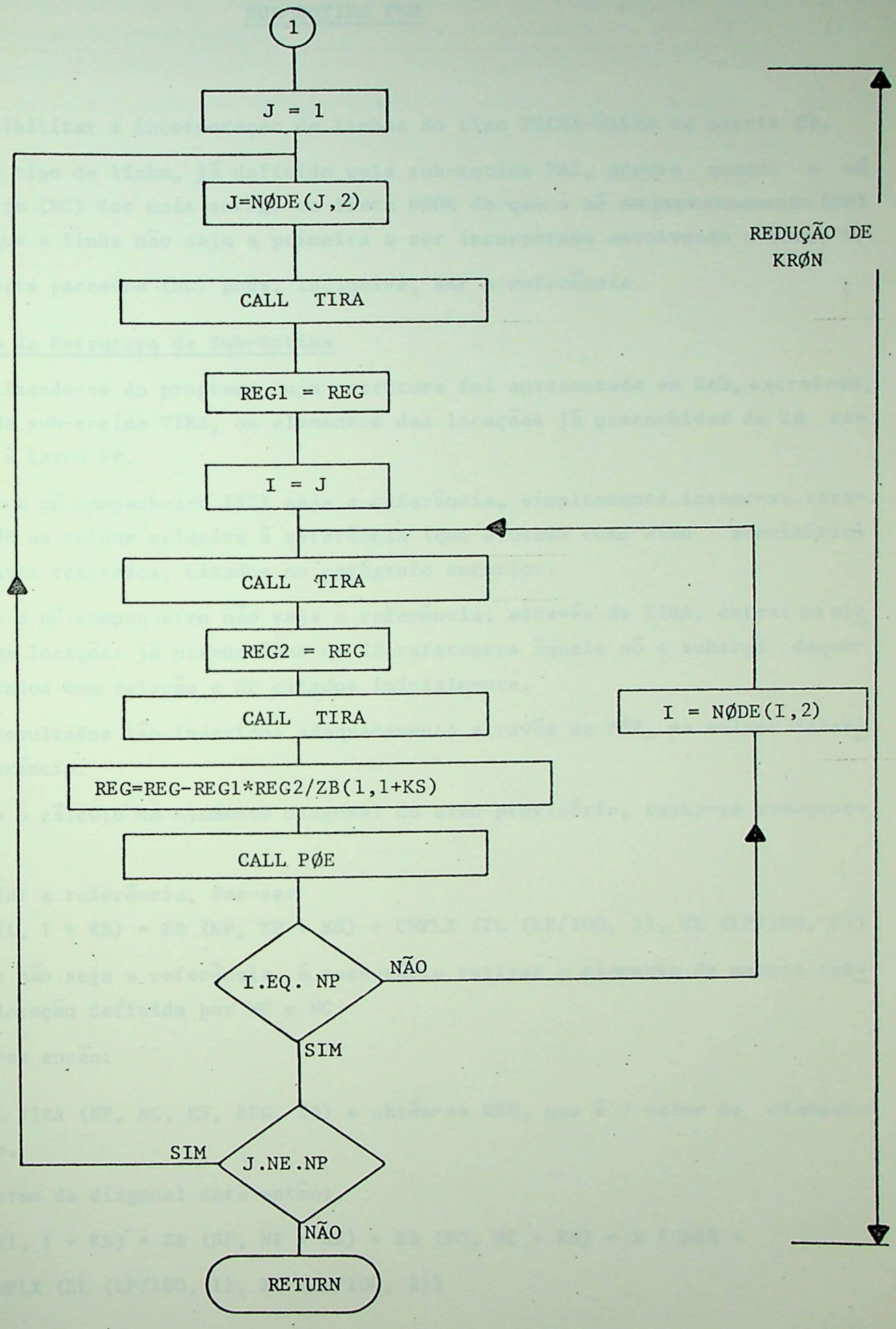
O elemento da diagonal é calculado através da instrução:

ZB (NP, NP + KS) = ZB (NC, NC + KS) + CMPLX (ZL (LP/100, 1), ZL (LP/100,2))

retornando, finalmente, a matriz ZB ao domínio da sub-rotina FAZ.

SUBRØUTINE FEM (KS, NC, NP, ZB, ZL, NØDE, LP)




1
J = 1
J=NØDE(J,2)
CALL TIRA
REG1 = REG
I = J
CALL TIRA
REG2 = REG
CALL TIRA
REG=REG-REG1*REG2/ZB(1,1+KS)
CALL PØE
I.EQ. NP
NÃO
SIM
J.NE.NP
SIM
NÃO
RETURN
I = NØDE(I,2)
REDUÇÃO DE KRØN

SUB-ROTINA FEM

Objetivo

Possibilitar a incorporação de linhas do tipo FECHA-MALHA na matriz ZB.

Este tipo de linha, já definido pela sub-rotina FAZ, ocorre quando o nó companheiro (NC) for mais antigo na lista NØDE do que o nó em processamento (NP) e desde que a linha não seja a primeira a ser incorporada envolvendo a barra NP.

A barra parceira (NC) pode, inclusive, ser a referência.

Descrição da Estrutura da Sub-Rotina

Utilizando-se do programa cuja estrutura foi apresentada em RAD, extrai-se, através da sub-rotina TIRA, os elementos das locações já preenchidas de ZB referentes à barra NP.

Caso o nó companheiro (NC) seja a referência, simplesmente insere-se através de PØE na coluna relativa à referência (que é usada como eixo provisório) os elementos retirados, citados no parágrafo anterior.

Caso o nó companheiro não seja a referência, através de TIRA, extrai os elementos das locações já preenchidas de ZB referentes àquele nó e subtrai daqueles retirados com relação a NP citados inicialmente.

Os resultados são inseridos adequadamente através de PØE, na coluna relativa à referência.

Para o cálculo do elemento diagonal do eixo provisório, testa-se novamente NC.

Se for a referência, faz-se:

ZB (1, 1 + KS) = ZB (NP, NP + KS) + CMPLX (ZL (LP/100, 1), ZL (LP/100, 2))

Caso não seja a referência, é necessário retirar o elemento da matriz referente à locação definida por NP e NC.

Faz-se então:

CALL TIRA (NP, NC, KS, REG, ZB) e obtém-se REG, que é o valor do elemento procurado.

O termo da diagonal será então:

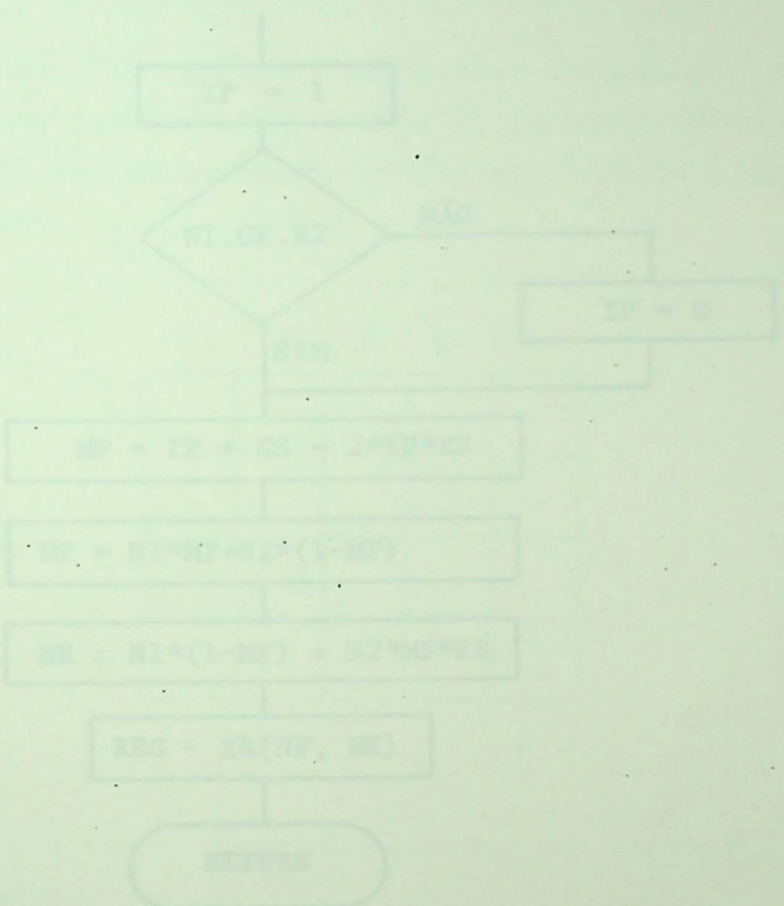
ZB (1, 1 + KS) = ZB (NP, NP + KS) + ZB (NC, NC + KS) - 2 * REG +

+ CMPLX (ZL (LP/100, 1), ZL (LP/100, 2))

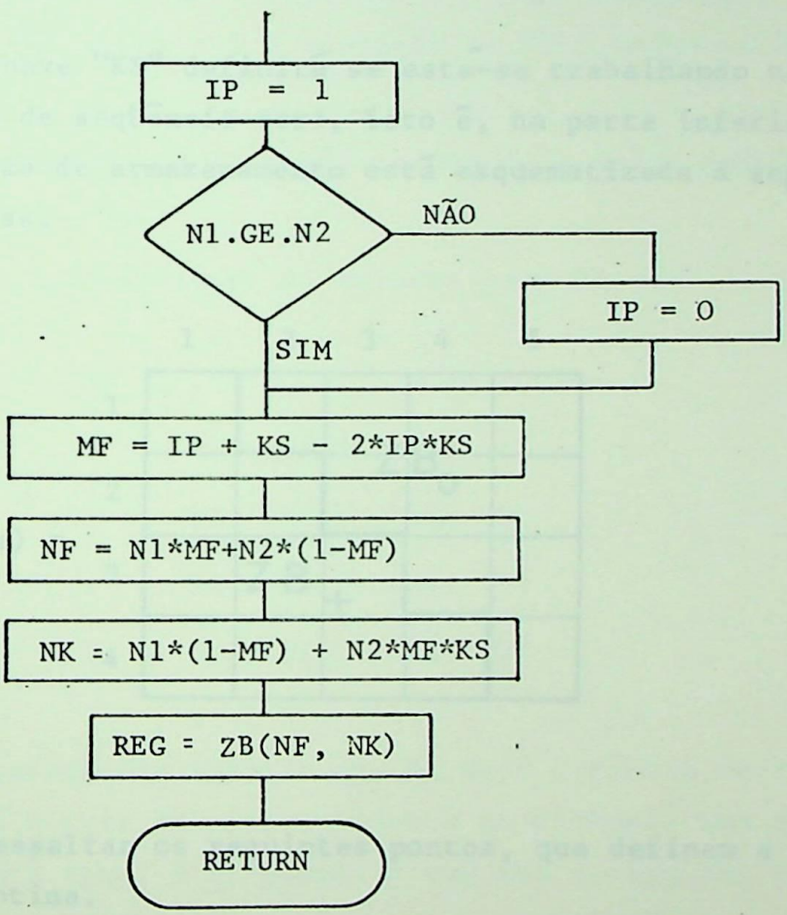
Com isto, conseguiu-se montar o eixo provisório completo.

O restante da sub-rotina refere-se à redução de KRON. São utilizadas as mesmas técnicas já apresentadas.

Após feita a redução de KRON, a matriz ZB é retornada ao domínio da sub-rotina FAZ.



SUBRØUTINE TIRA (N1, N2, KS, REG, ZB)



SUB-ROTINA TIRA

Objetivo

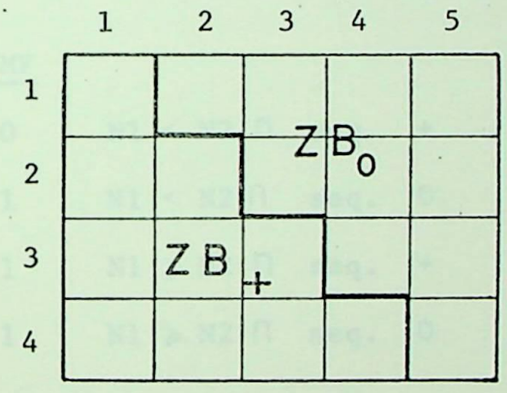
Extrair diretamente na posição (definida pelos números das barras) qualquer elemento da matriz ZB completa (que já foi referida quando da descrição da sub-rotina FAZ), tanto da parte referente à seqüência positiva quanto da parte relativa à seqüência zero, dependendo da posição da chave "KS", respectivamente, se KS = 0 ou KS = 1. A posição de "KS" é definida, a priori, pelo programa principal.

Descrição da Estrutura da Sub-Rotina

Os argumentos N1 e N2 definem os números das barras (já gerados internamente pela sub-rotina RENUM), cujo elemento se deseja extrair.

A posição da chave "KS" definirá se está-se trabalhando na topologia de seqüência positiva ou de seqüência zero, isto é, na parte inferior ou superior da matriz ZB, cuja forma de armazenamento está esquematizada a seguir, para um sistema de quatro barras.

ZB (completa) =



É importante ressaltar os seguintes pontos, que definem a essência do funcionamento da sub-rotina.

1) Para as posições da matriz ZB, localizadas na parte inferior, o número da linha de um elemento é maior ou igual ao número da sua coluna, ao passo que, para as posições situadas na parte superior, o número da linha é sempre menor do que o número da coluna.

2) Os elementos pertencentes à parte superior de ZB (relativos à seqüência "zero") ocupam posições cujo número da coluna é igual ao da barra, acrescido de 1.

Por exemplo, se desejasse extrair o valor da impedância nodal de seqüência zero entre as barras 1 e 2, isto é, ZB (1, 2), deve-se buscá-lo na posição (1, 3) da matriz.

3) Os elementos pertencentes à parte inferior de ZB são buscados diretamente na posição correspondente aos números das barras.

Por exemplo, o elemento ZB_+ (1, 3) é buscado na posição (3, 1) da matriz.

Isto posto, passa-se a descrever a lógica da sub-rotina.

A chave "IP" (0 ou 1), juntamente com "KS", proporcionam buscar a posição correspondente na matriz ZB do elemento que se deseja extrair.

Inicialmente, faz-se IP = 1 e testa-se se N1 é maior ou igual a N2. Se não for, faz-se IP = 0.

Calcula-se IP + KS - 2 * IP * KS, colocando o valor resultante no registro MF.

Então, as diversas hipóteses de valores para MF são:

IP	KS	MF	
0	0	0	N1 < N2 ∩ seq. +
0	1	1	N1 < N2 ∩ seq. 0
1	0	1	N1 ≥ N2 ∩ seq. +
1	1	1	N1 ≥ N2 ∩ seq. 0

Partindo do pressuposto inicial que N1 seja o número da linha e N2 + KS o número da coluna da matriz ZB correspondente ao elemento que se quer sacar, verifica-se que MP será igual a 1, quando o que foi estipulado em 1 ocorrer, e será 0 caso contrário.

Logo, NF e NK, que definem a posição (linha e coluna) do elemento, não devem diferir de N1 e N2, respectivamente, quando ocorrer MF = 1 e devem trocar, isto é, NF = N2 e NK = N1 + KS quando MF = 0.

$$NF = \begin{cases} N1 & MF = 1 \\ N2 & MF = 0 \end{cases}$$

$$NK = \begin{cases} N2 + KS & MF = 1 \\ N1 + KS & MF = 0 \end{cases}$$

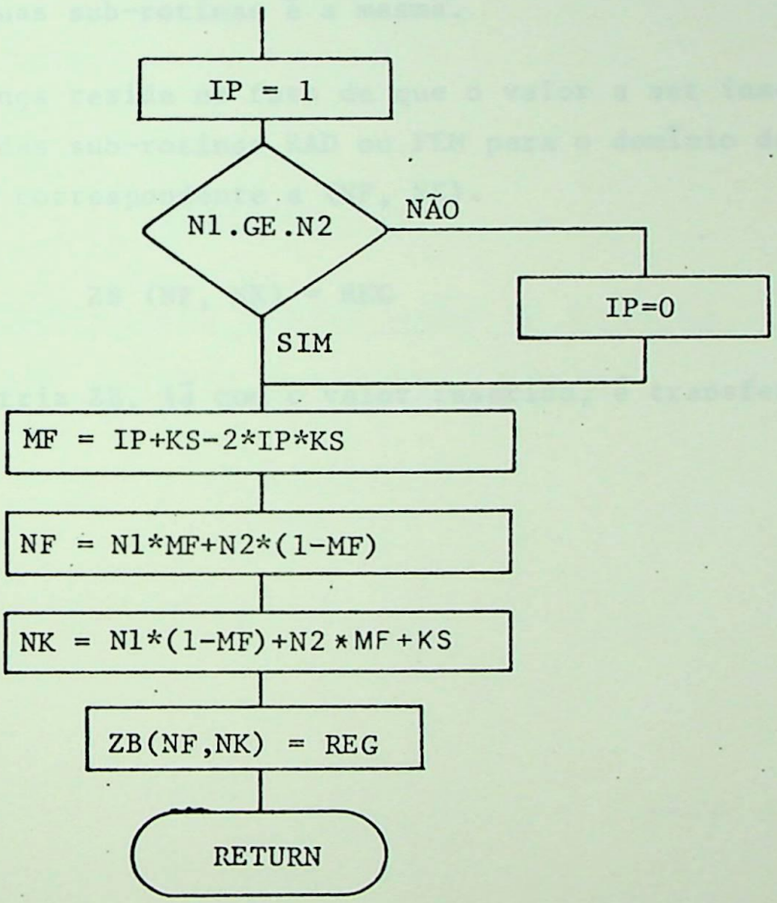
Isto é possível através das seguintes instruções:

```
NF = N1 * MF + N2 + (1 - MF)

NK = N1 * (1 - MF) + N2 * MF + KS
```

Finalmente, transfere para o domínio das sub-rotinas RAD ou FEM o valor de ZB (NF, NK) através de REG.

SUBRØUTINE PØE (N1, N2, KS, REG, ZB)



SUB-ROTINA PØE

Objetivo

Inserir diretamente na posição da matriz ZB (completa) definida pelos números das barras, qualquer valor que se deseje.

Analogamente ao que ocorre para a sub-rotina TIRA, a chave "KS", definida, a priori, pelo programa principal, decide para qual parte (inferior ou superior) da matriz ZB deve ser inserido o referido valor.

Descrição da Estrutura da Sub-Rotina

As considerações já feitas para a sub-rotina TIRA são válidas para PØE, pois a lógica das duas sub-rotinas é a mesma.

A única diferença reside no fato de que o valor a ser inserido, denominado REG, é transferido das sub-rotinas RAD ou FEM para o domínio de PØE, que o coloca na posição de ZB correspondente a (NF, NK).

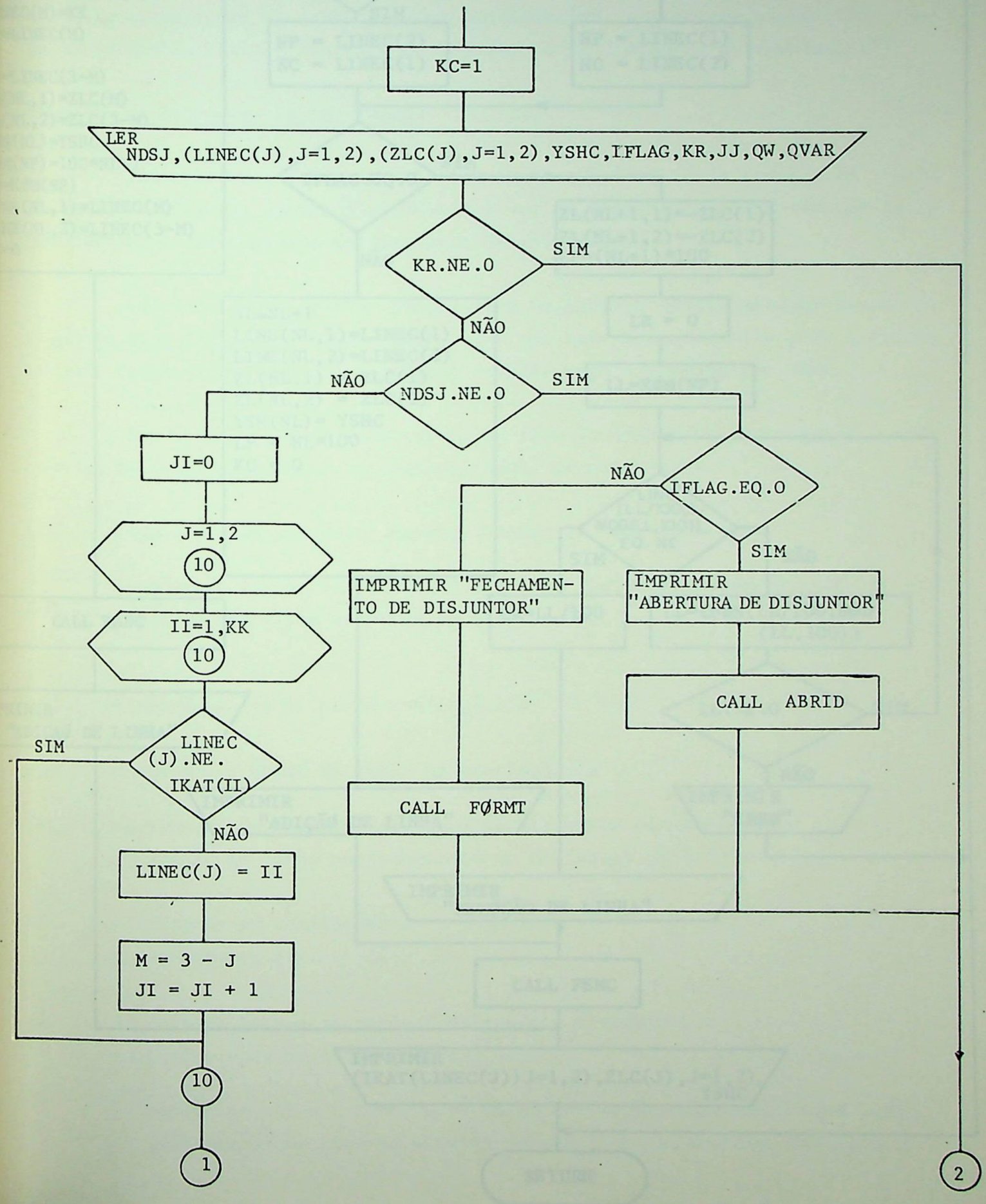
$$ZB\ (NF,\ NK) = REG$$

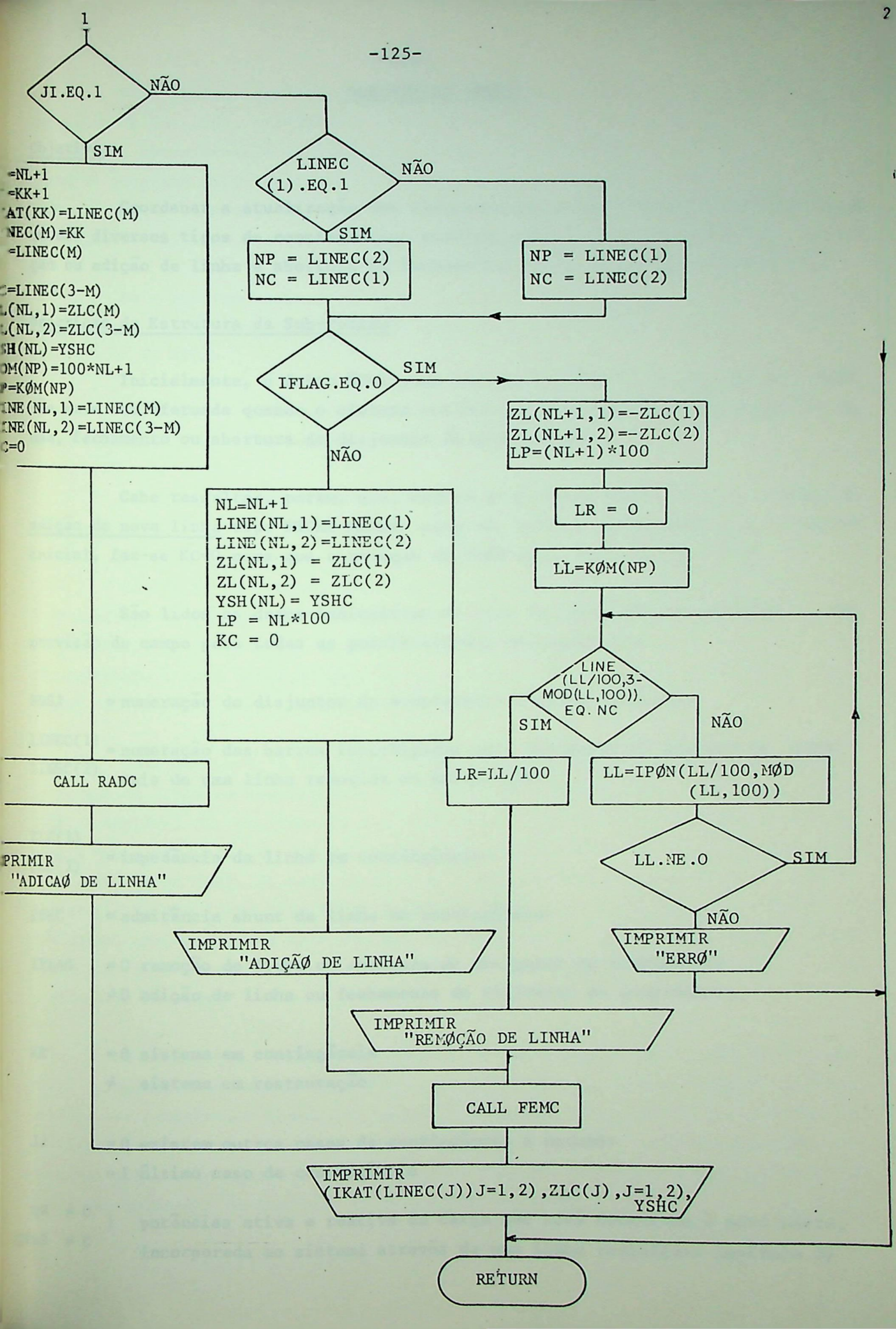
A seguir, a matriz ZB, já com o valor inserido, é transferida para o domínio de RAD ou FEM.

APÊNDICE III

SUB-ROTINAS PARA MODIFICAÇÃO DE Z-BARRA, APÓS OCORRER UMA CONTINGÊNCIA

SUBRØUTINE CONTI(KK,N1,KC,KS,NL,NU,IKAT,IDIS,ZB,ZL,T,LINE,YSH,KØM,KR,JJ,
JI,QW,QVAR,NC,YSHC,ZLC,LR,NP,IFLAG,IPØN)




1
2
JI.EQ.1
NÃO
SIM
=NL+1
=KK+1
AT(KK)=LINEC(M)
NEC(M)=KK
=LINEC(M)
=LINEC(3-M)
(NL,1)=ZLC(M)
(NL,2)=ZLC(3-M)
H(NL)=YSHC
M(NP)=100*NL+1
=KØM(NP)
NE(NL,1)=LINEC(M)
NE(NL,2)=LINEC(3-M)
=0
CALL RADC
PRIMIR
"ADICAØ DE LINHA"
LINEC
(1).EQ.1
NÃO
SIM
NP = LINEC(2)
NC = LINEC(1)
NP = LINEC(1)
NC = LINEC(2)
IFLAG.EQ.0
SIM
NÃO
NL=NL+1
LINE(NL,1)=LINEC(1)
LINE(NL,2)=LINEC(2)
ZL(NL,1) = ZLC(1)
ZL(NL,2) = ZLC(2)
YSH(NL)= YSHC
LP = NL*100
KC = 0
IMPRIMIR
"ADIÇÃØ DE LINHA"
ZL(NL+1,1)=-ZLC(1)
ZL(NL+1,2)=-ZLC(2)
LP=(NL+1)*100
LR = 0
LL=KØM(NP)
LINE
(LL/100,3-
MOD(LL,100)).
EQ. NC
SIM
NÃO
LR=LL/100
LL=IPØN(LL/100,MØD
(LL,100))
LL.NE.0
SIM
NÃO
IMPRIMIR
"ERRØ"
IMPRIMIR
"REMØÇÃO DE LINHA"
CALL FEMC
IMPRIMIR
(IKAT(LINEC(J))J=1,2),ZLC(J),J=1,2),
YSHC
RETURN

SUB-ROTINA CØNTI

Objetivo

Coordenar a atualização dos elementos de Z-barra após a ocorrência de um dos diversos tipos de contingências considerados no presente trabalho (remoção ou adição de linha e abertura ou fechamento de disjuntor de acoplamento).

Descrição da Estrutura da Sub-rotina

Inicialmente, é feito KC=1 para indicar à FEMC que a redução do KRØN não deve ser efetuada quando o sistema estiver em contingência com remoção de linha, fechamento ou abertura de disjuntor de acoplamento.

Cabe ressaltar, porém, que, dentro da própria CØNTI, para os casos de adição de nova linha tipo FECHA-MALHA, onde não haverá restauração para o estado inicial, faz-se KC=0 para que a redução de KRØN seja executada por FEMC.

São lidos os dados indicativos do tipo de contingência ocorrida, com previsão de campo para todas as possibilidades de ocorrência.

NDSJ = numeração do disjuntor de acoplamento fechado ou aberto

LINEC(1)
LINEC(2) = numeração das barras interligadas pelo disjuntor ou das barras terminais de uma linha removida ou adicionada

ZLC(1)
ZLC(2) = impedância da linha em contingência

YSHC = admitância shunt da linha em contingência

IFLAG = 0 remoção de linha ou abertura de disjuntor de acoplamento
≠ 0 adição de linha ou fechamento de disjuntor de acoplamento

KR = 0 sistema em contingência
≠ sistema em restauração

JJ = 0 existem outros casos de contingência a estudar
= 1 último caso de contingência

QW ≠ 0
QVAR ≠ 0 } potências ativa e reativa da carga que será conectada à nova barra, incorporada ao sistema através de uma linha radial(ver Capítulo 3)

Se o sistema estiver em restauração, isto é, KR ≠ 0 (por exemplo, a re-adição de uma linha previamente removida ou o re-fechamento de um disjuntor de acoplamento anteriormente aberto) a sub-rotina CØNTI simplesmente retorna ao domínio do programa principal, sem executar nenhuma instrução, e este valor de KR indicará que os elementos de Z-barra a considerar para o sistema restaurado estão intactos nas suas posições originais.

Se o sistema estiver em contingência, isto é, KR = 0, é verificado preliminarmente se há envolvimento de disjuntores de acoplamento, através do teste com o valor de NDSJ.

Caso NDSJ = 0, é verificado se a contingência corresponde à abertura ou ao fechamento do disjuntor através do valor de IFLAG.

Se IFLAG ≠ 0 (fechamento), é chamada a sub-rotina FØRMT, já referida anteriormente.

Se IFLAG = 0 (abertura), é chamada a sub-rotina ABRID, cuja descrição é apresentada em páginas posteriores. Estas sub-rotinas geram e armazenam no eiso provisório as informações necessárias para atualização dos elementos de Z-barra, referente à nova configuração, considerando o disjuntor de acoplamento "fechado" ou "aberto", respectivamente.

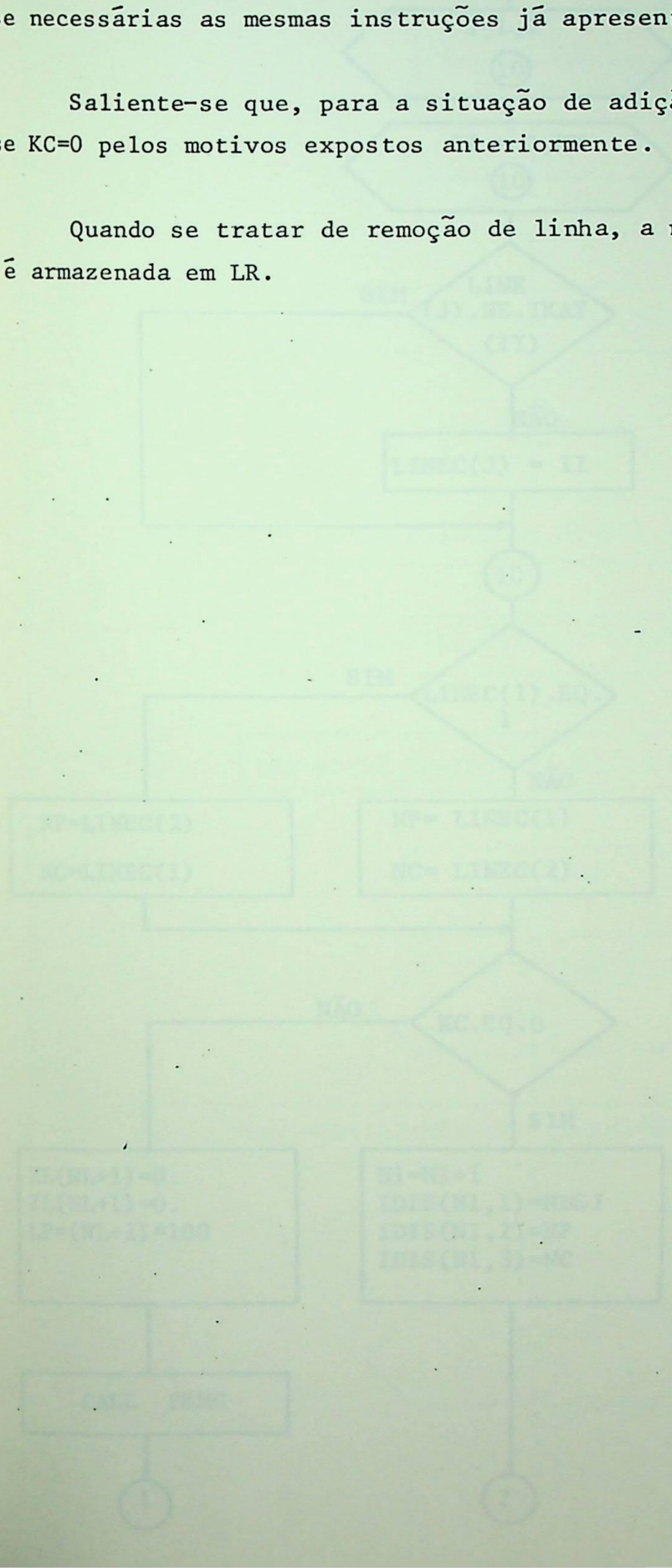
Caso NDSJ = 0, a contingência se refere à remoção ou adição de linha. As barras da linha em contingência são renumeradas em consulta ao vetor-catálogo IKAT. A variável JI, previamente com valor nulo, é incrementada de uma unidade, sempre que a numeração de uma das barras fôr localizada em IKAT. Se as duas barras estiverem em IKAT, JI será igual a 2, o que significa tratar-se de adição ou remoção de uma linha tipo FECHA-MALHA. Se JI = 1, a linha é do tipo RADIAL, já que apenas uma das barras está em IKAT, tratando-se de adição de linha. Para esse caso, a variável M, através de M=3-J, distingue qual das duas barras não pertence ao sistema.

A nova barra, então, é adequadamente inserida em IKAT e são utilizadas todas as demais informações necessárias ao processamento de RADC (Apêndice III). O vetor das admitâncias shunt das linhas é acrescido do valor da admitância da linha adicionada. Para esse caso, se a barra de referência estiver envolvida será igual a NC, o que garante o correto processamento das sub-rotinas de "TIRA" e "PØE" (apresentadas no Capítulo 1) utilizadas por RADC.

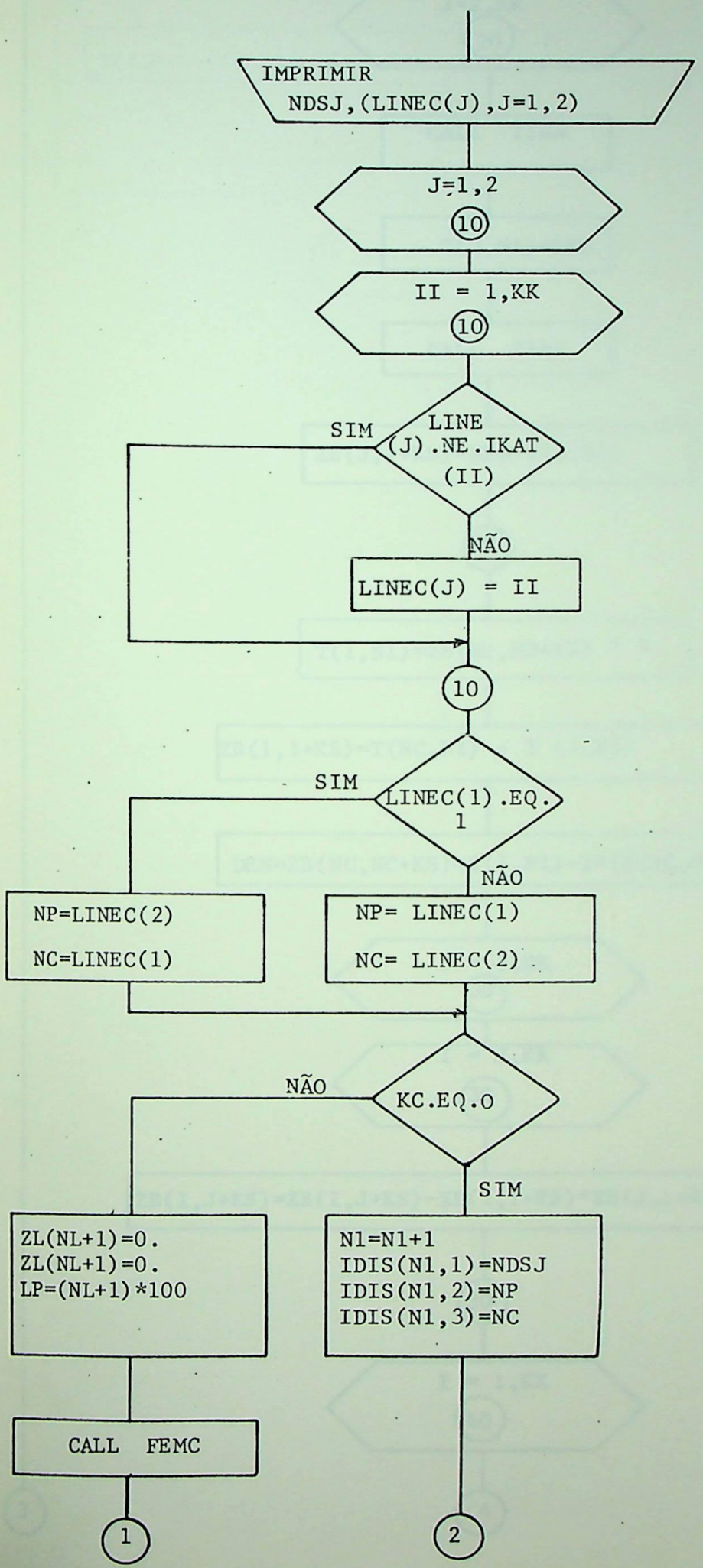
Quando JI=2 (JI≠1), as duas barras já pertencem ao sistema, cabendo apenas a definição entre remoção ou adição, que é feita por IFLAG (IFLAG=0, adição). De maneira análoga ao caso anterior, as informações necessárias ao processamento de FEMC são adequadamente utilizadas. Porém, como a barra de referência não pode ser "nó em processamento" (NP) tendo em vista as lógicas apresentadas no Apêndice II para as sub-rotinas "TIRA" e "PØE" que são utilizadas por FEMC, tornam-se necessárias as mesmas instruções já apresentadas em FØRMT.

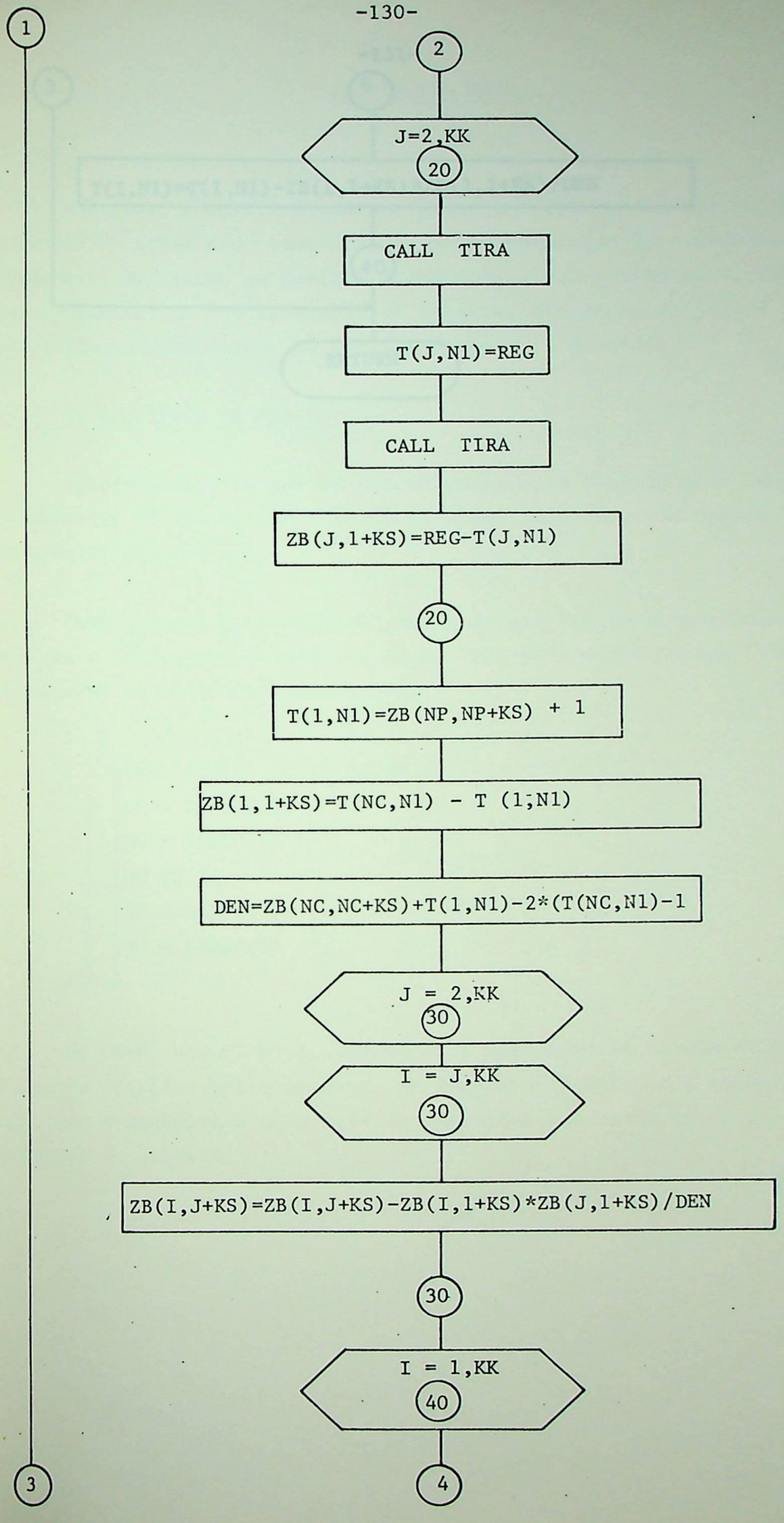
Saliente-se que, para a situação de adição da linha tipo FECHA-MALHA, faz-se KC=0 pelos motivos expostos anteriormente.

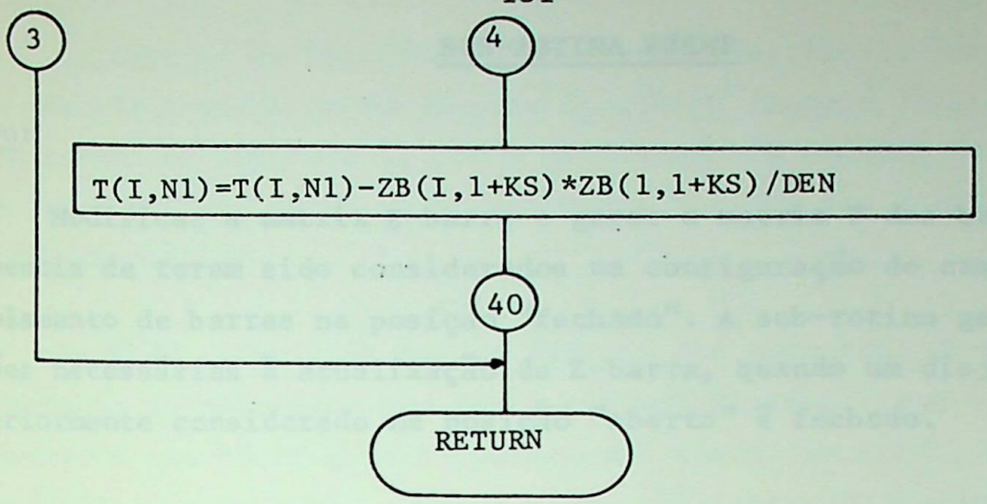
Quando se tratar de remoção de linha, a numeração de sua posição em LINE é armazenada em LR.



SUBROUTINE FORMT(NDSJ,KK,N1,KC,KS,NL,LINEC,IKAT,IDIS,ZB,ZL,T)




1
2
J=2,KK
20
CALL TIRA
T(J,N1)=REG
CALL TIRA
ZB(J,1+KS)=REG-T(J,N1)
20
T(1,N1)=ZB(NP,NP+KS) + 1
ZB(1,1+KS)=T(NC,N1) - T (1,N1)
DEN=ZB(NC,NC+KS)+T(1,N1)-2*(T(NC,N1)-1
J = 2,KK
30
I = J,KK
30
ZB(I,J+KS)=ZB(I,J+KS)-ZB(I,1+KS)*ZB(J,1+KS)/DEN
30
I = 1,KK
40
3
4


3
4
T(I,N1)=T(I,N1)-ZB(I,1+KS)*ZB(1,1+KS)/DEN
40
RETURN

SUB-RØTINA FØRMT

Objetivo:

Modificar a matriz Z-barra e gerar a matriz T das barras fictícias em consequencia de terem sido considerados na configuração do caso base disjuntores de acoplamento de barras na posição "fechado". A sub-rotina gera, também, as informações necessárias à atualização de Z-barra, quando um disjuntor de acoplamento anteriormente considerado na posição "aberto" é fechado.

Descrição da Estrutura da Sub-rotina

Inicialmente, as barras interligadas pelo disjuntor de acoplamento são renumeradas de acordo com o vetor catálogo IKAT, montado quando da construção de Z-barra do caso base.

Como a barra de referência não pode ser "nó em processamento" (NP) tendo em vista a lógica apresentada no Anexo III para a sub-rotina "TIRA", tornam-se necessárias as seguintes instruções:

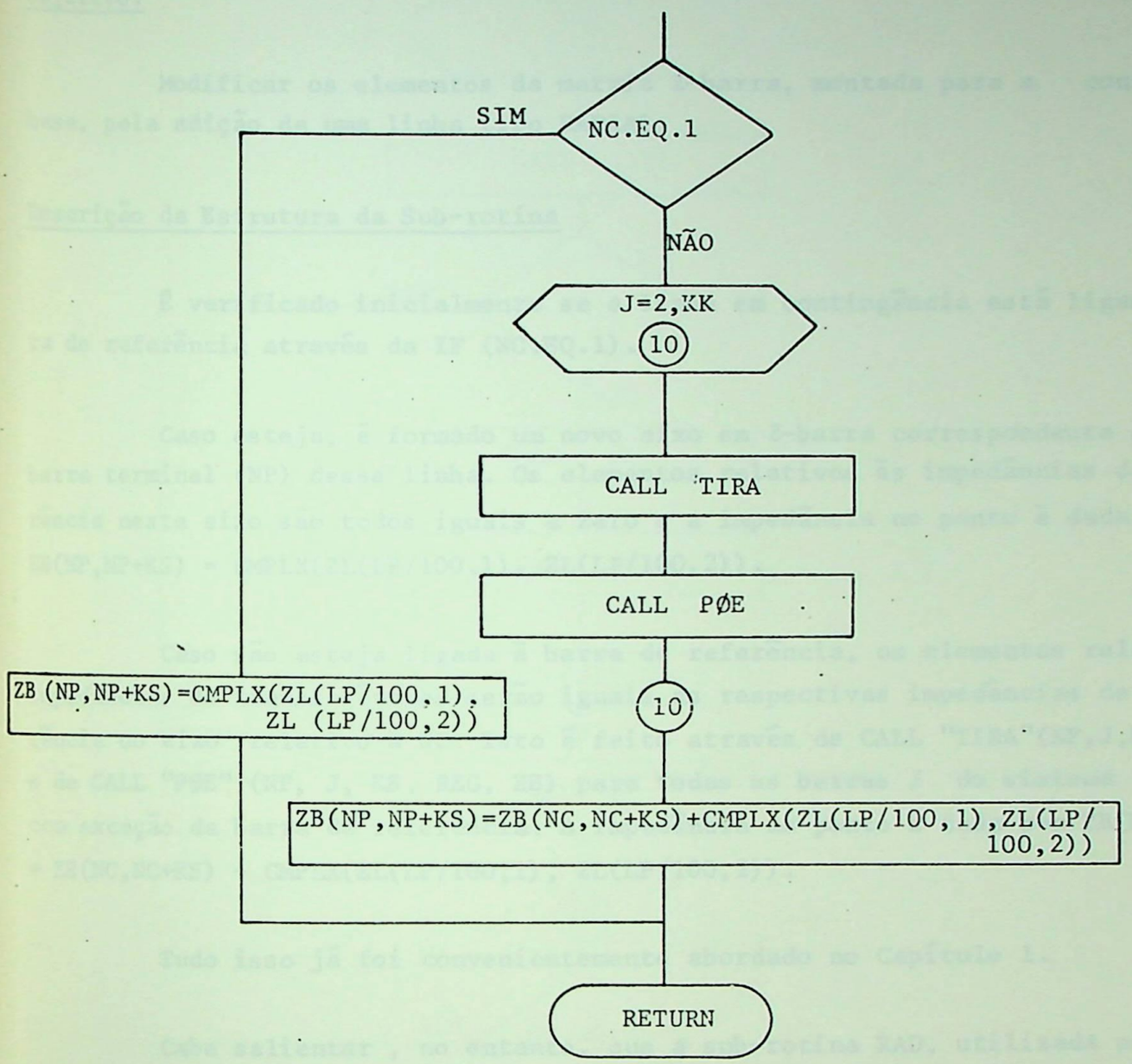
```
      6
      |  |IF(LINEC(1).EQ.1) GØ TØ 17
      |  |NP = LINEC(1)
      |  |NC = LINEC(2)
      |  |GØ TØ 18
     17  |NP = LINEC(2)
      |  |NC = LINEC(1)
     18  |...
```

Se KC=0, com N1=N1+1, defina-se a numeração da coluna na matriz T relativa à barra fictícia correspondente ao disjuntor fechado e a numeração da fila em IDIS, que armazenará a numeração do disjuntor e a forma que o mesmo foi ligado às barras do sistema.

Calcula-se as impedâncias no ponto e da transferência das barras do sistema (matriz Z-barra) e das barras fictícias (matriz T) através da metodologia apresentada no Capítulo 1, com a utilização da redução de KRØN. As impedâncias de transferência entre as barras fictícias não são calculadas por não terem interesse prático.

Se KC≠0, significa que os valores dos elementos de Z-barra referentes à configuração do caso-base não devem ser modificados, isto é, que o fechamento do disjuntor é uma contingência operacional e que, em breve, o sistema será restaurado à situação original. Desse modo, utiliza-se FEMC com a incorporação de uma linha tipo FECHA-MALHA de impedância nula entre as barras interligadas e armazena-se as informações (que proporcionam a atualização de Z-barra) no eixo provisório (coluna 1) sem alterar os valores dos seus elementos nas posições originais. Isto é possível tendo um vista que, sendo KC≠0, FEMC não processará a redução de KRØN., conforme abordado anteriormente.

SUBRØUTINE RADC (KS,NC, NP, ZB, ZL, LP, KK)



SUB-ROTINA RADC

Objetivo:

Modificar os elementos da matriz Z-barra, montada para a configuração base, pela adição de uma linha tipo RADIAL.

Descrição da Estrutura da Sub-rotina

É verificado inicialmente se a linha em contingência está ligada à barra de referência através da IF (NC.EQ.1).

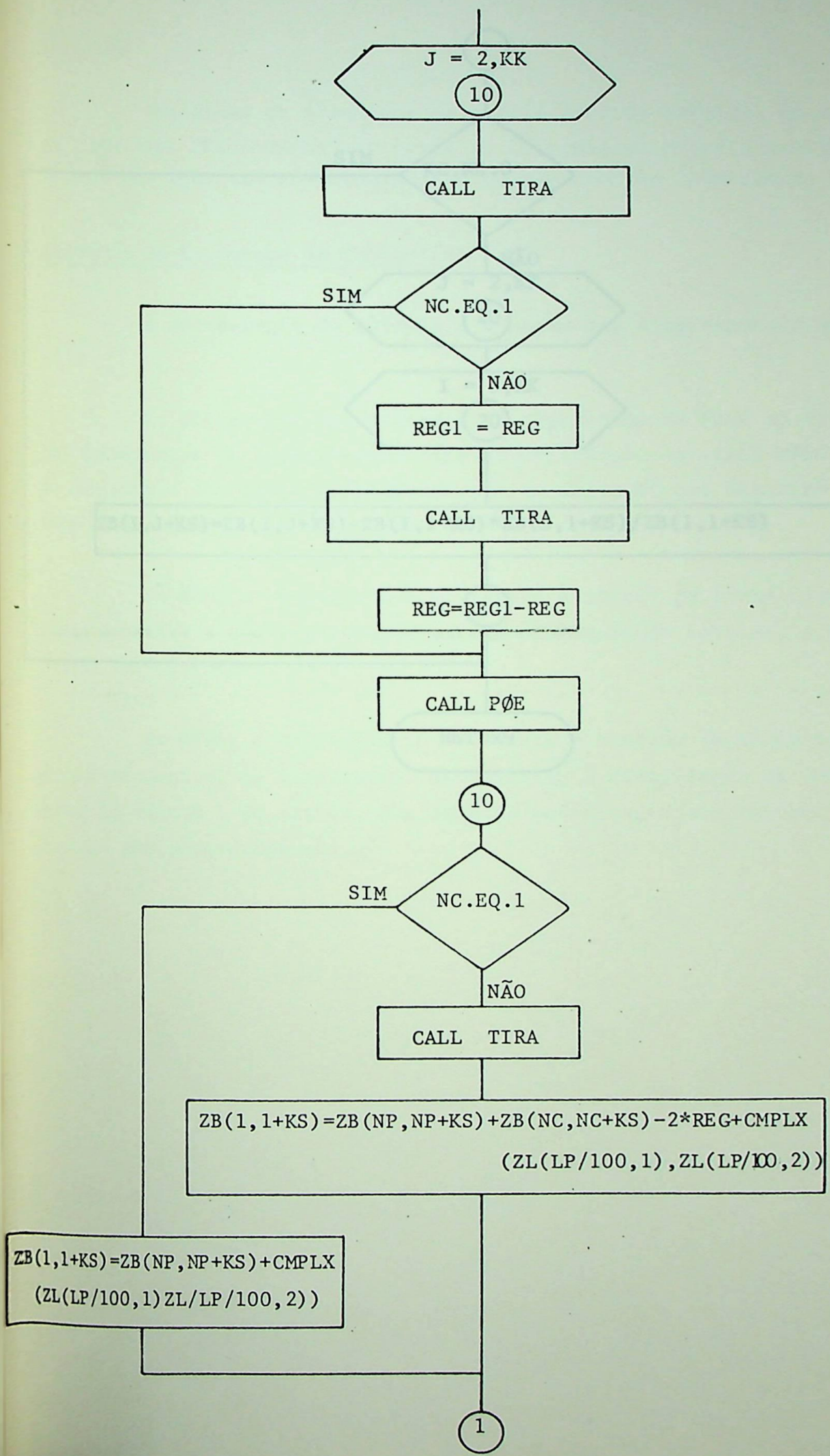
Caso esteja, é formado um novo eixo em Z-barra correspondente à outra barra terminal (NP) dessa linha. Os elementos relativos às impedâncias de transferência neste eixo são todos iguais a zero e a impedância no ponto é dada por ZB(NP,NP+KS) = CMPLX(ZL(LP/100,1), ZL(LP/100,2)).

Caso não esteja ligada à barra de referência, os elementos relativos às impedâncias de transferências serão iguais as respectivas impedâncias de transferência no eixo relativo à NC. Isto é feito através de CALL "TIRA"(NP,J,KS,REG,ZB) e de CALL "PØE" (NP, J, KS, REG, ZB) para todas as barras J do sistema montado, com exceção da barra de referência. A impedância no ponto é dada por ZB(NP,NP+KS) = ZB(NC,NC+KS) + CMPLX(ZL(LP/100,1), ZL(LP/100,2)).

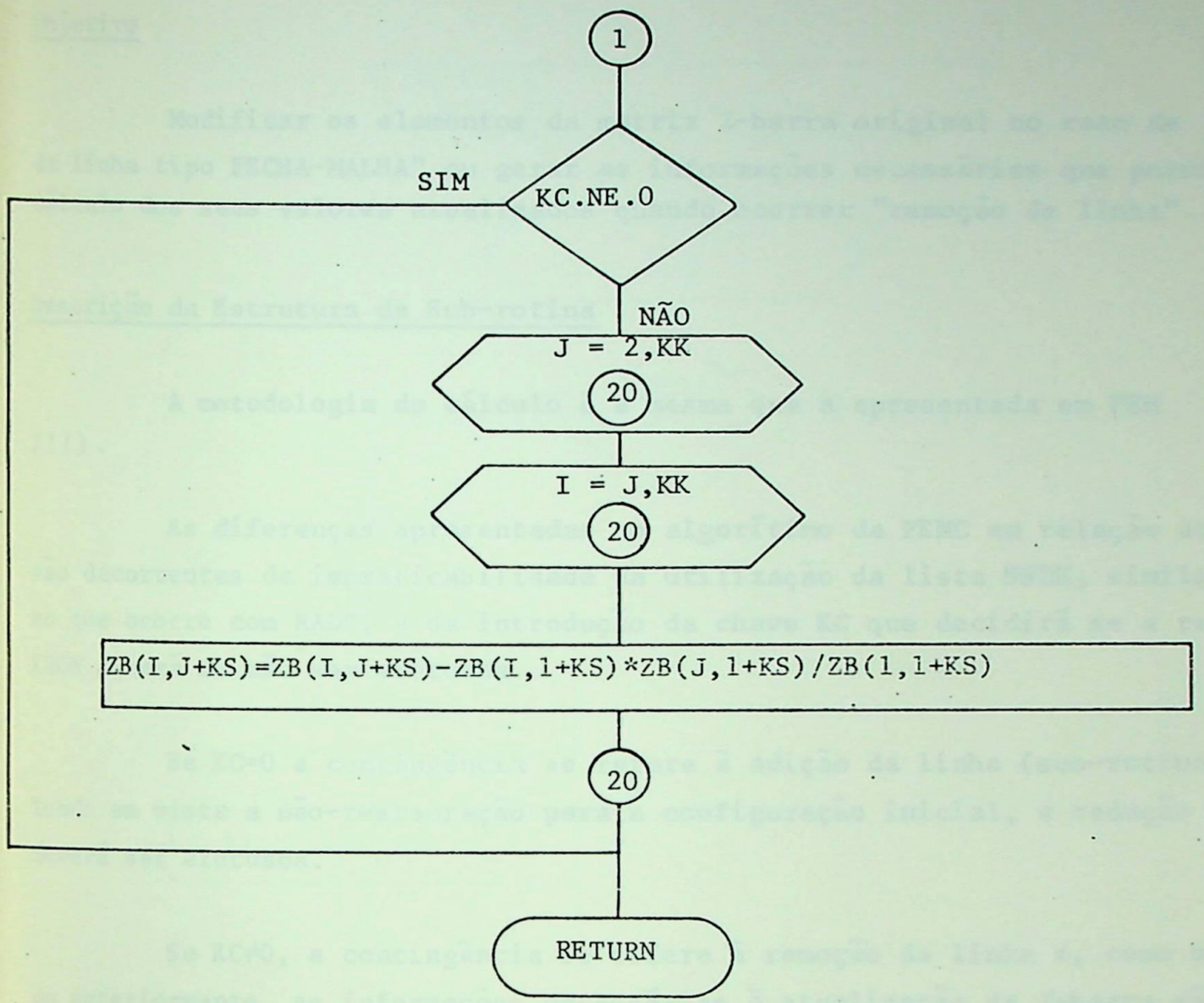
Tudo isso já foi convenientemente abordado no Capítulo 1.

Cabe salientar , no entanto, que a sub-rotina RAD, utilizada na montagem da matriz Z-barra original, não pode ser empregada para o caso de contingência tendo em vista a impraticabilidade da utilização da lista NØDE.

SUBRØUTINE FEMC(KS,NC,NP,ZB,ZL,LP,KC,KK)



Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ
Itajubá


1
SIM
KC.NE.0
NÃO
J = 2,KK
20
I = J,KK
20
ZB(I,J+KS)=ZB(I,J+KS)-ZB(I,1+KS)*ZB(J,1+KS)/ZB(1,1+KS)
20
RETURN

SUB-ROTINA FEMC

Objetivo

Modificar os elementos da matriz Z-barra original no caso de "adição da linha tipo FECHA-MALHA" ou gerar as informações necessárias que permitirão o cálculo dos seus valores atualizados quando ocorrer "remoção de linha".

Descrição da Estrutura da Sub-rotina

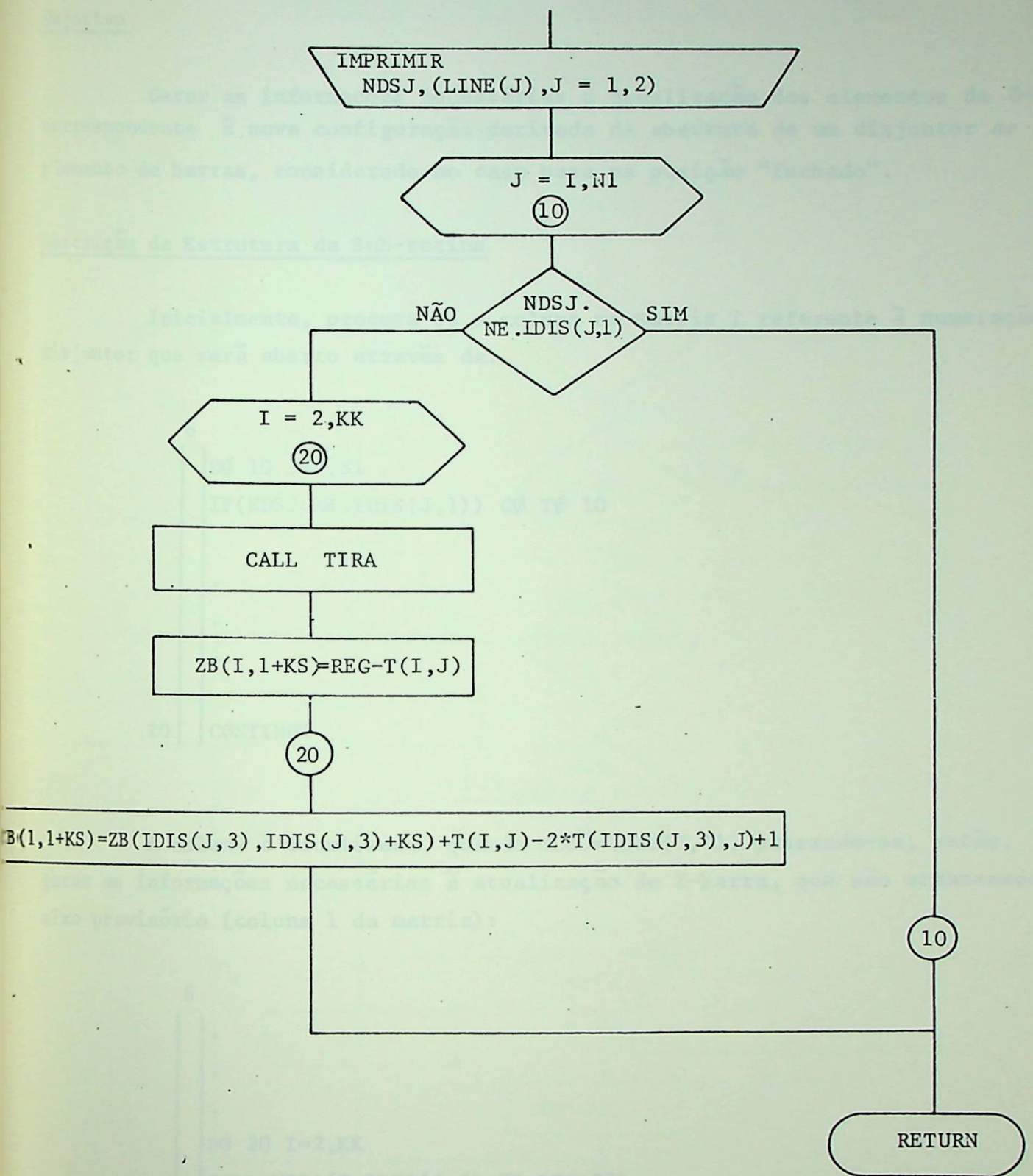
A metodologia do cálculo é a mesma que a apresentada em FEM (Anexo III).

As diferenças apresentadas no algorítimo da FEMC em relação ao de FEM são decorrentes da impraticabilidade da utilização da lista NØDE, similarmente ao que ocorre com RADC, e da introdução da chave KC que decidirá se a redução de KRON deverá ou não ser efetuada.

Sè KC=0 a contingência se refere à adição da linha (sub-rotina CØNTI). Tendo em vista a não-restauração para a configuração inicial, a redução de KRØN deverá ser efetuada.

Se KC≠0, a contingência se refere à remoção da linha e, como mencionado anteriormente, as informações necessárias à atualização da Z-barra são armazenadas na coluna 1 da matriz, não havendo modificação dos valores dos seus elementos nas posições originais.

SUBRØUTINE ABRID (NDSJ, KK, N1, KS, LINEC, IDIS, ZB, T)



SUB-ROTINA ABRID

Objetivo

Gerar as informações necessárias à atualização dos elementos de Z-barra correspondente à nova configuração derivada da abertura de um disjuntor de acoplamento de barras, considerado no caso base na posição "fechado".

Descrição da Estrutura da Sub-rotina

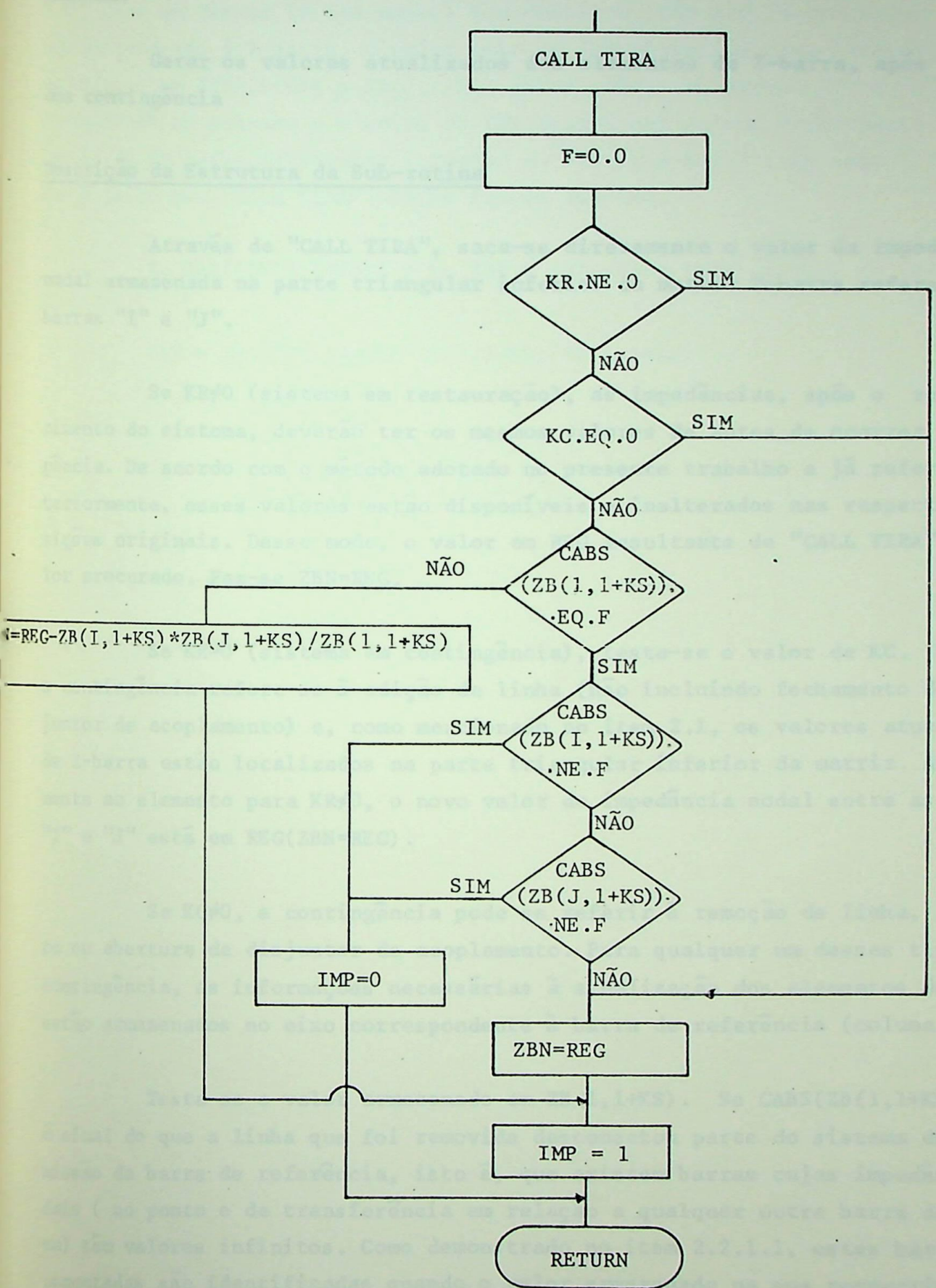
Inicialmente, procura-se a coluna na matriz T referente à numeração do disjuntor que será aberto através de:

```
      6
      |  DØ 10 J=1,N1
      |  IF(NDSJ.NE.IDIS(J,1)) GØ TØ 10
      |
      |  .
      |  .
      |  .
      |
10    |  CØNTINUE
```

A coluna é localizada, quando NDSJ=IDIS(J,1), passando-se, então, a gerar as informações necessárias à atualização de Z-barra, que são armazenadas no eixo provisório (coluna 1 da matriz):

```
      6
      |  .
      |  .
      |  .
      |  DØ 20 I=2,KK
      |  CALL TIRA(I,IDIS(J,3),KS,REG,ZB)
      |  ZB (I,1+KS)=REG-T(I,J)
20    |  CØNTINUE
      |  ZB(1,1+KS) = ZB(IDIS(J,3), IDIS(J,3) + KS) + T(I,J)-
    * |  2*T(IDIS(J,3), J) + 1
10    |  CØNTINUE
30    |  RETURN
```

SUBRØUTINE ZNØVØ (ZB, ZBN, KS, KR, I, J, IMP)



SUB-ROTINA ZNØVØ

Objetivo

Gerar os valores atualizados dos elementos de Z-barra, após ocorrida uma contingência

Descrição da Estrutura da Sub-rotina

Através de "CALL TIRA", saca-se diretamente o valor da impedância nodal armazenada na parte triangular inferior da matriz Z-barra referente às barras "I" e "J".

Se KR≠0 (sistema em restauração), as impedâncias, após o restabelecimento do sistema, deverão ter os mesmos valores de antes de ocorrer a contingência. De acordo com o método adotado no presente trabalho e já referido anteriormente, esses valores estão disponíveis e inalterados nas respectivas posições originais. Desse modo, o valor em REG resultante de "CALL TIRA" é o valor procurado. Faz-se ZBN=REG.

Se KR=0 (sistema em contingência), testa-se o valor de KC. Se KC=0, a contingência refere-se à adição de linha (não incluindo fechamento de disjuntor de acoplamento) e, como mencionado no item 2.1, os valores atualizados de Z-barra estão localizados na parte triangular inferior da matriz. Analogamente ao elemento para KR≠0, o novo valor da impedância nodal entre as barras "I" e "J" está em REG(ZBN=REG).

Se KC≠0, a contingência pode se referir à remoção de linha, fechamento ou abertura de disjuntor de acoplamento. Para qualquer um desses tipos de contingência, as informações necessárias à atualização dos elementos da matriz estão armazenados no eixo correspondente à barra de referência (coluna 1).

Testa-se o valor armazenado em ZB(1,1+KS). Se CABS(ZB(1,1+KS))=0.0 é sinal de que a linha que foi removida desconectou parte do sistema de transmissão da barra de referência, isto é, que existem barras cujas impedâncias nodais (no ponto e de transferência em relação a qualquer outra barra do sistema) têm valores infinitos. Como demonstrado no item 2.2.1.1, estas barras desconectadas são identificadas quando o valor armazenado na sua respectiva posição no eixo provisório fôr diferente de zero.

Ao se procurar, então o valor atualizado da impedância nodal entre as barras "I" a "J" (ZBN), é verificado se alguma dessas barras está desconectada da referência através da IF (CABS(ZB(I,1+KS)). NE.0.0) e IF(CABS(ZB(J,1+KS)).NE. 0.0). Caso um desses IF (ou ambos) fôr positivo, ZBN deverá ter valor infinito, não pertendendo à Z-barra. O valor nulo de IMP sintetiza esta informação. Caso os valores em ZB(I,1+KS) e ZB(J,1+KS) forem nulos, as barras "I" e "J" continuam pertencendo ao sistema e o valor de ZBN deverá ser sacado diretamente da posição (I,J) da parte triangular inferior da matriz z-barra (ver item 2.2.1.1), o que é feito por "CALL TIRA". Então faz-se ZBN=REG.

Se CABS(ZB(1,1+KS)) ≠ 0, ZBN é calculado pela fórmula da redução de KRØN:

ZBN = REG-ZB(I,1+KS)*ZB(J,1+KS)/ZB(1,1+KS)

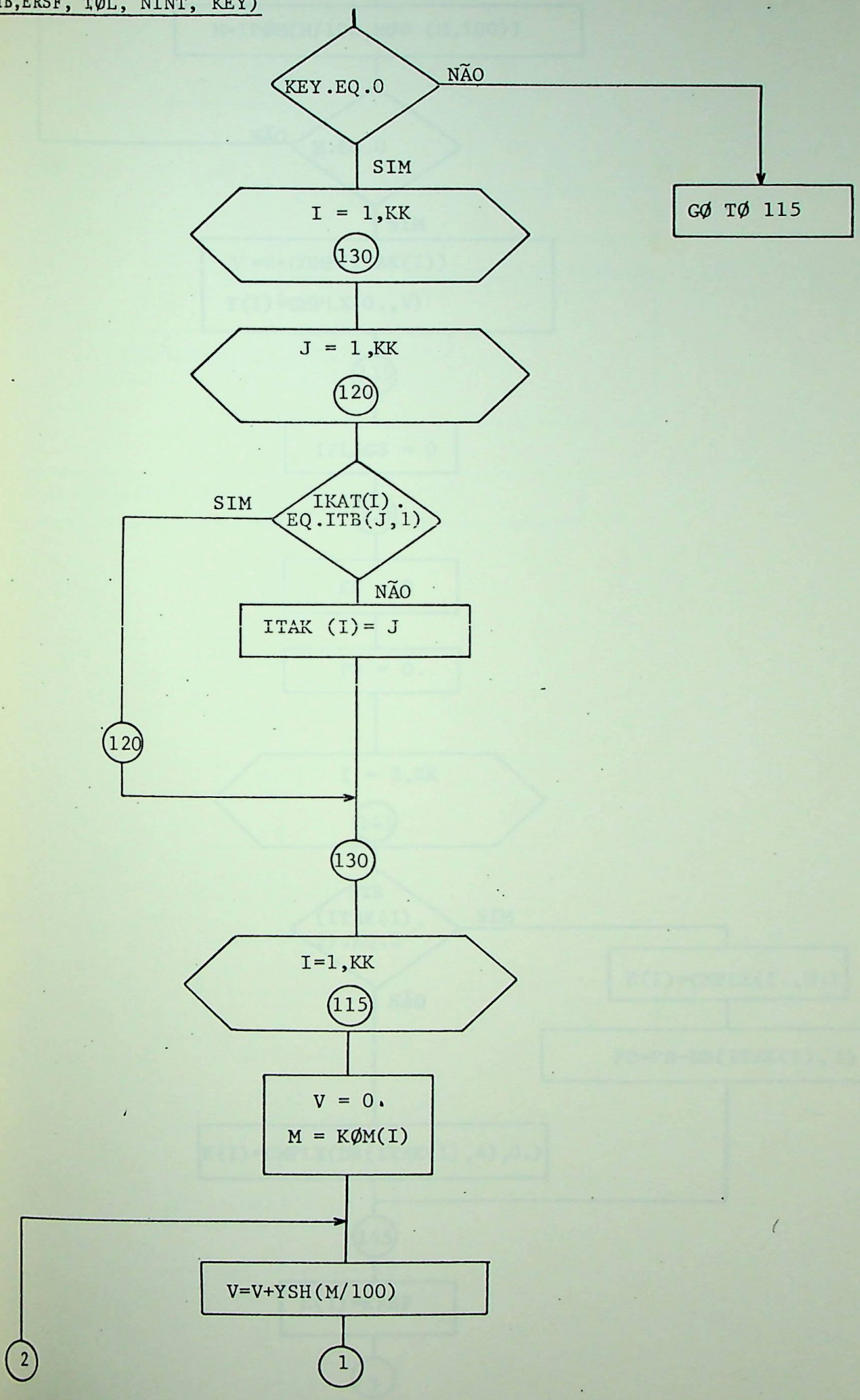
APÊNDICE IV

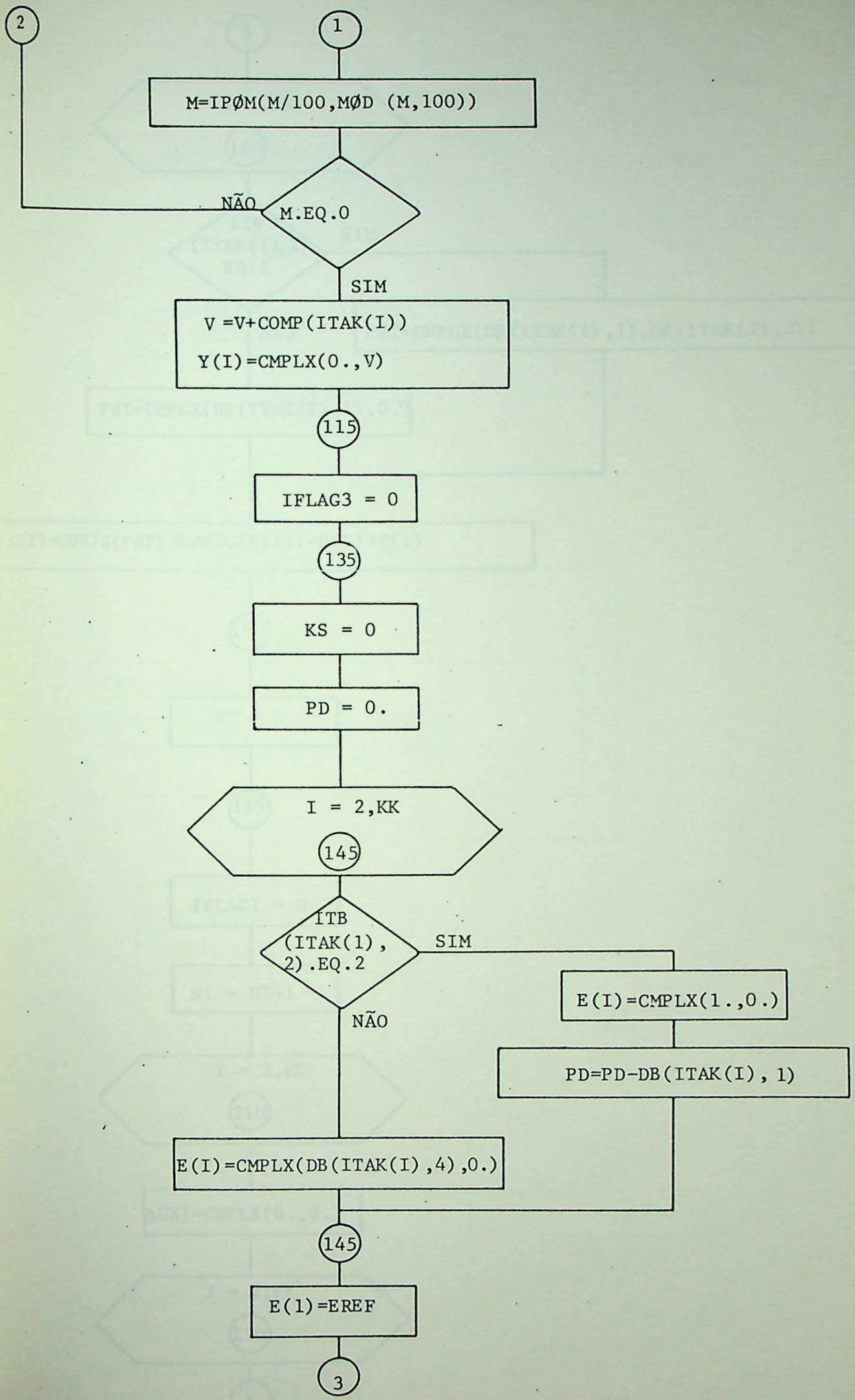
SUB-ROTINAS PARA CALCULAR OS FLUXOS DE CARGA

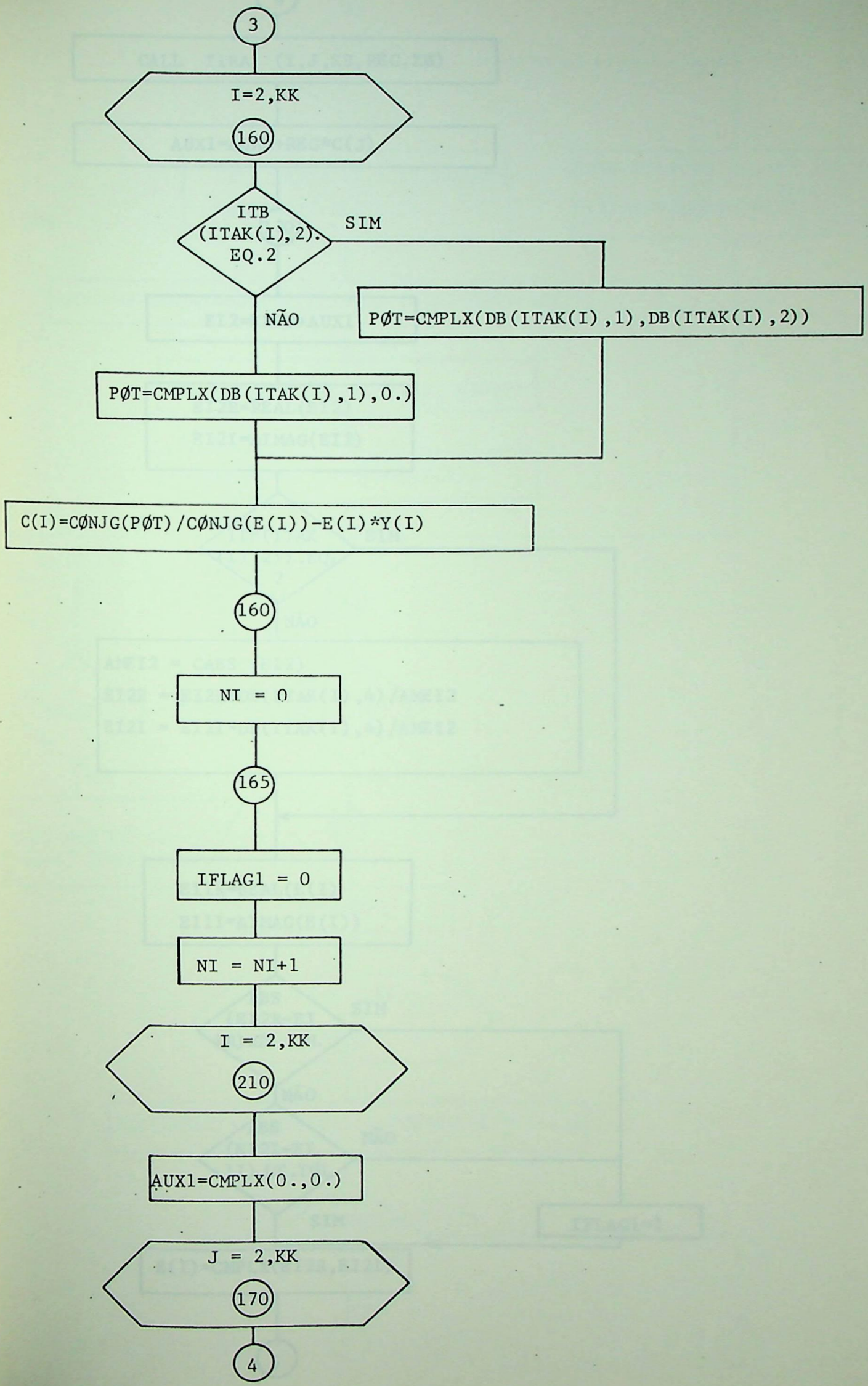
. COMPLETO (CASO-BASE)

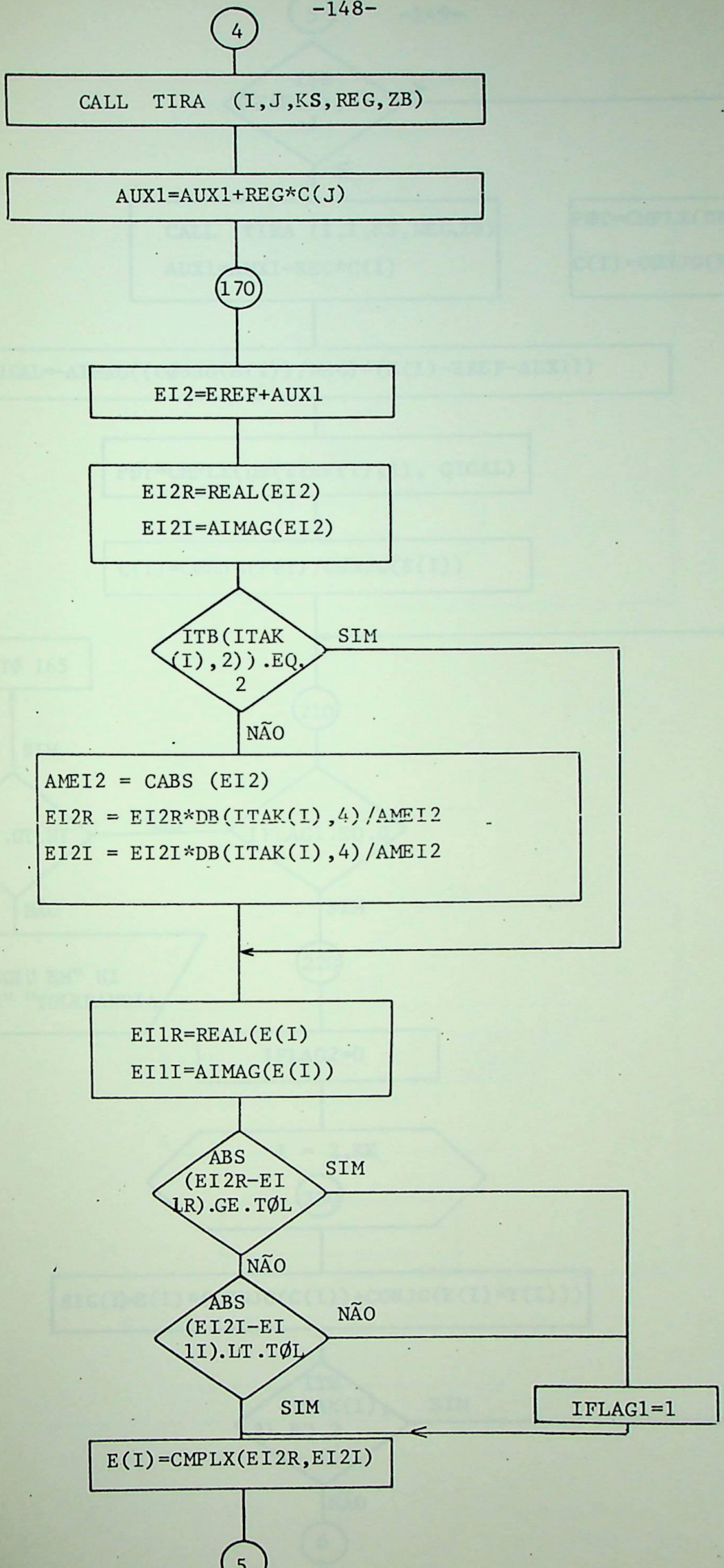
. APROXIMADO (SISTEMA EM CONTINGÊNCIA)

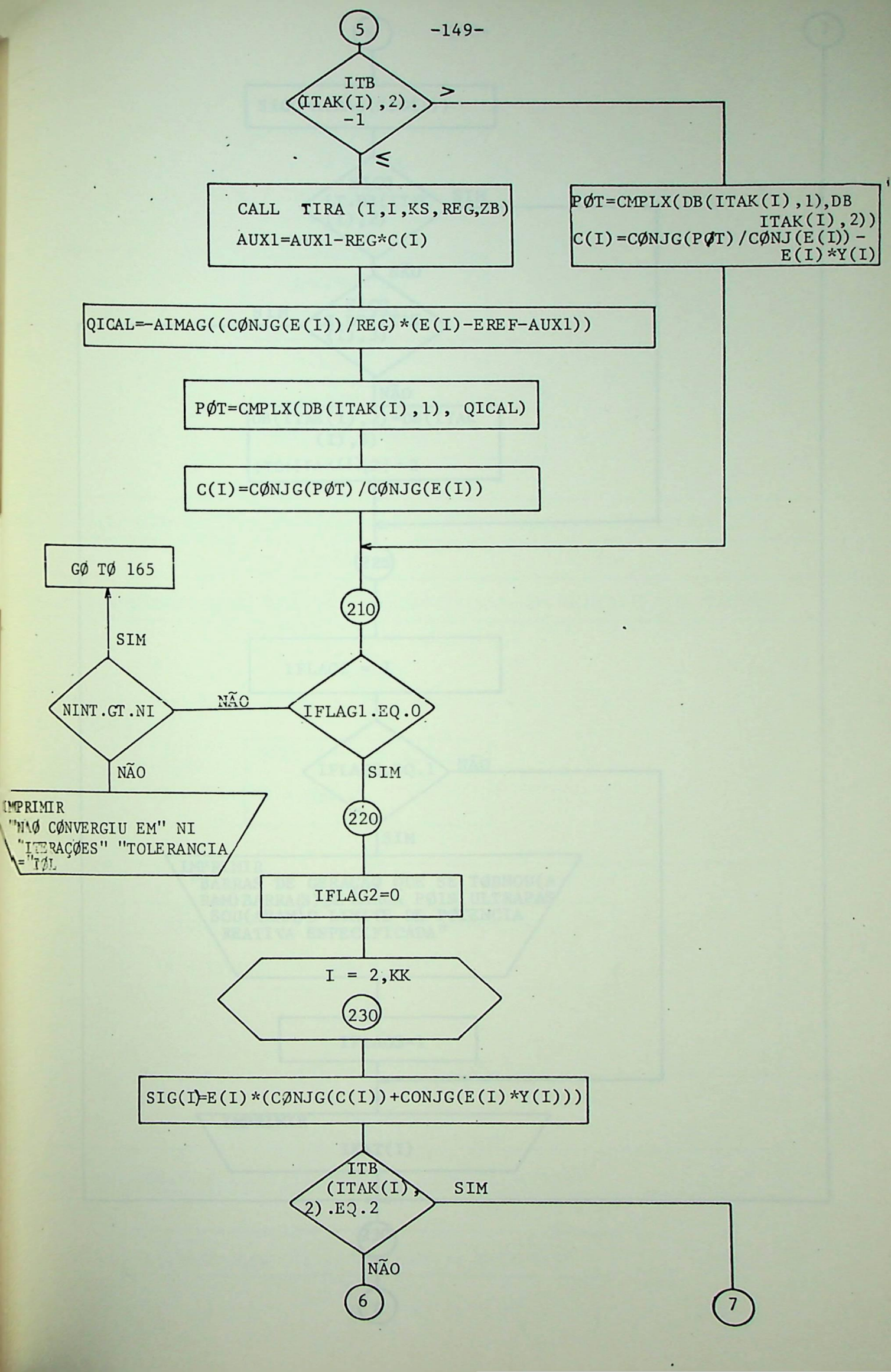
SUBRØUTINE FLUXC (LINE,ZL,YSH,CØMP,ITB,DB,IPØM,KØM,IKAT,ITAK,ZB,SIG,C,NL,KK,
TB,ERSF, TØL, NINT, KEY)

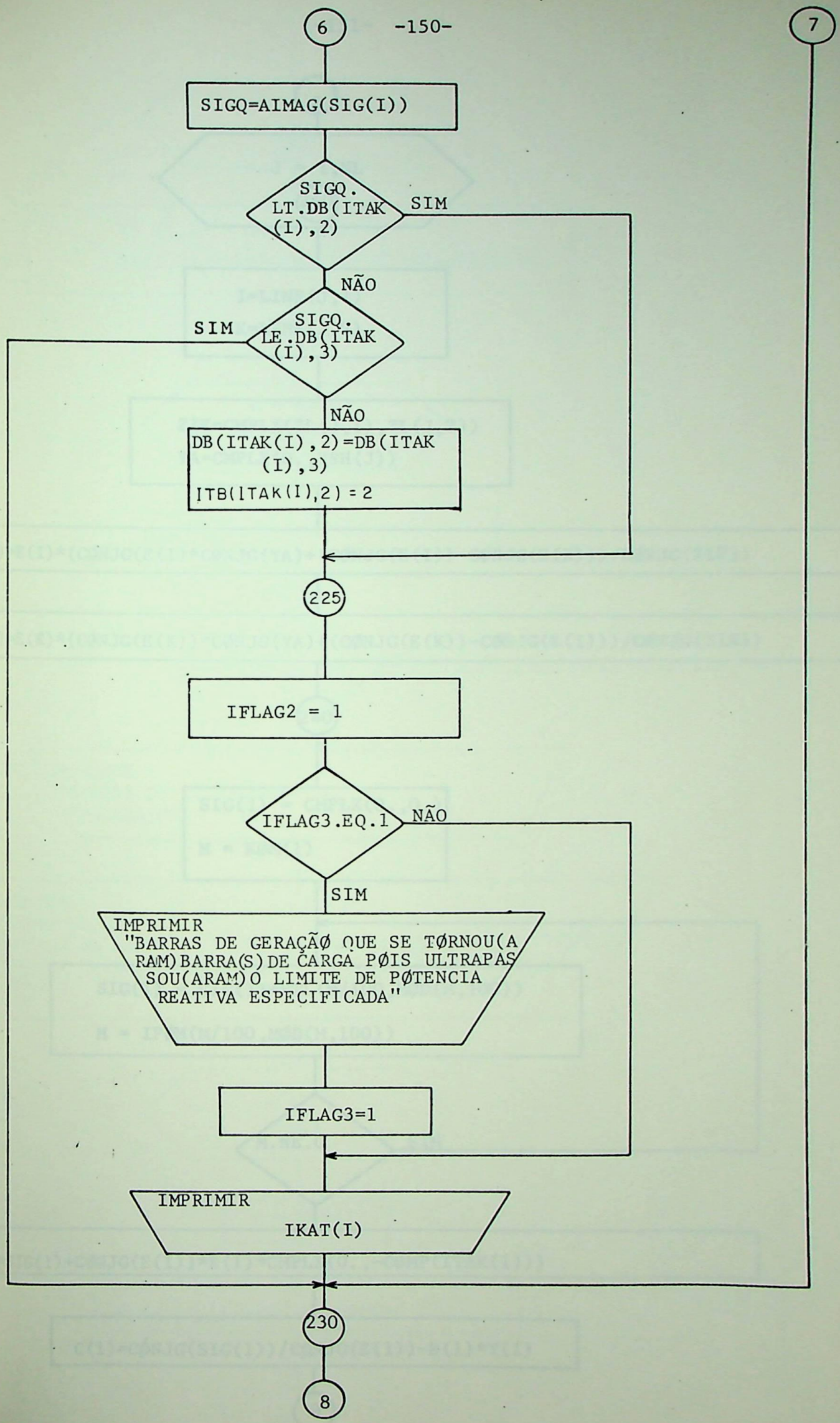


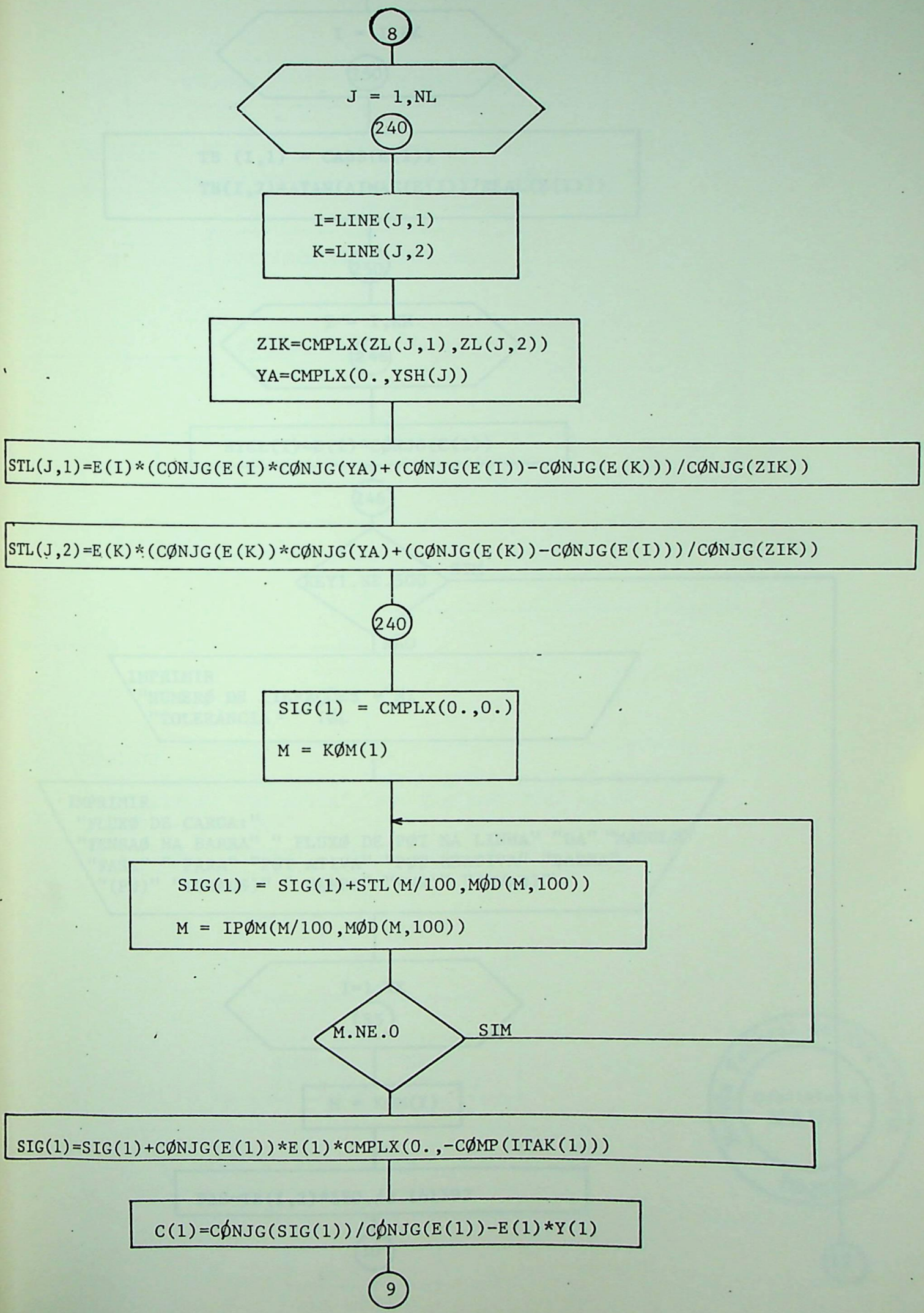

2
1
M=IPØM(M/100,MØD (M,100))
NÃO
M.EQ.0
SIM
V =V+COMP(ITAK(I))
Y(I)=CMPLX(0.,V)
115
IFLAG3 = 0
135
KS = 0
PD = 0.
I = 2,KK
145
ITB
(ITAK(1),
2).EQ.2
SIM
E(I)=CMPLX(1.,0.)
PD=PD-DB(ITAK(I), 1)
NÃO
E(I)=CMPLX(DB(ITAK(I),4),0.)
145
E(1)=EREF
3

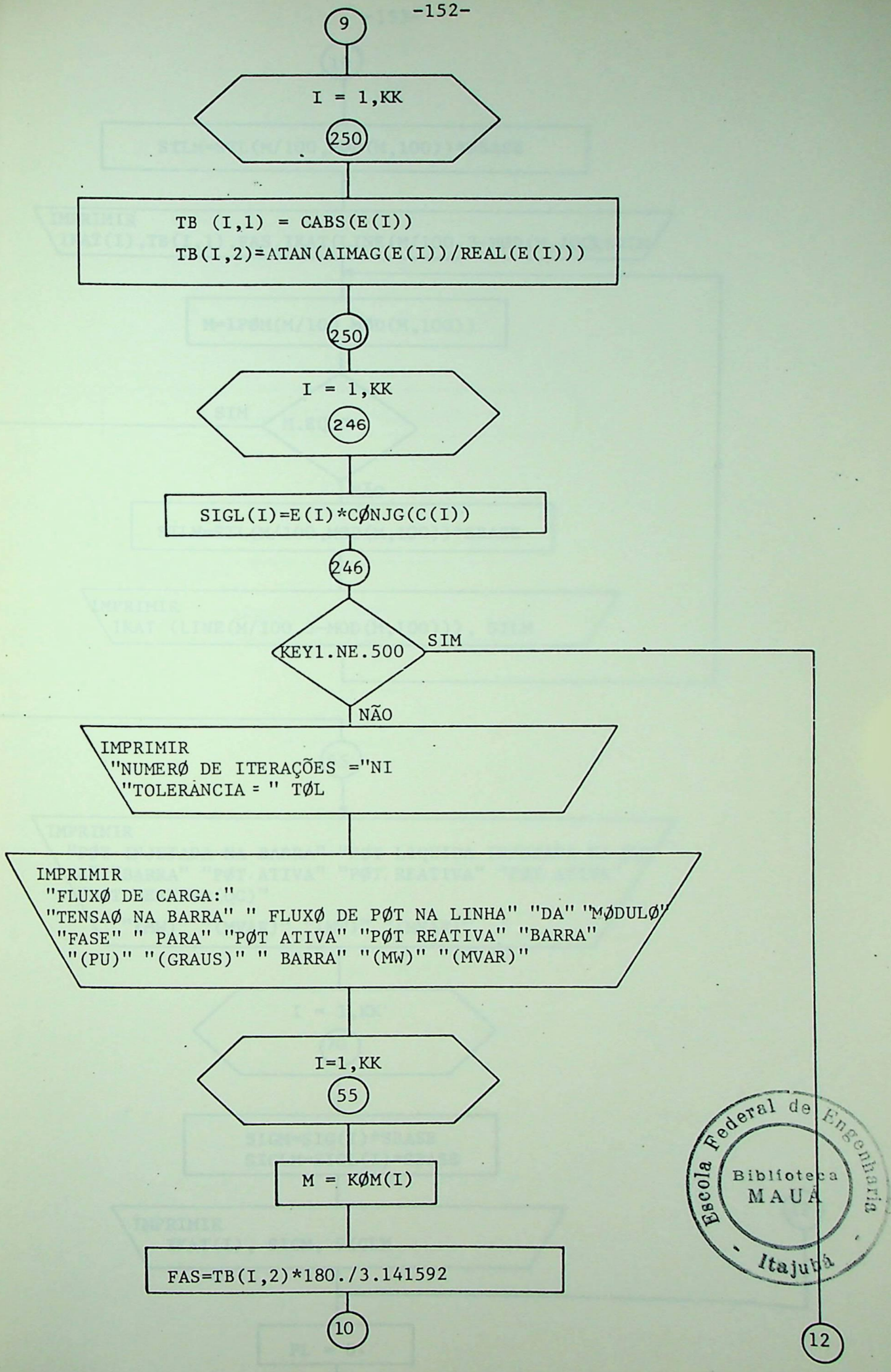

3
I=2,KK
160
ITB (ITAK(I),2). EQ.2
SIM
NÃO
PØT=CMPLX(DB(ITAK(I),1),DB(ITAK(I),2))
PØT=CMPLX(DB(ITAK(I),1),0.)
C(I)=CØNJG(PØT)/CØNJG(E(I))-E(I)*Y(I)
160
NI = 0
165
IFLAG1 = 0
NI = NI+1
I = 2,KK
210
AUX1=CMPLX(0.,0.)
J = 2,KK
170
4


4
CALL TIRA (I,J,KS,REG,ZB)
AUX1=AUX1+REG*C(J)
170
EI2=EREF+AUX1
EI2R=REAL(EI2)
EI2I=AIMAG(EI2)
ITB(ITAK (I),2)).EQ. 2
SIM
NÃO
AMEI2 = CABS (EI2)
EI2R = EI2R*DB(ITAK(I),4)/AMEI2
EI2I = EI2I*DB(ITAK(I),4)/AMEI2
EI1R=REAL(E(I)
EI1I=AIMAG(E(I))
ABS (EI2R-EI 1R).GE.TØL
SIM
NÃO
ABS (EI2I-EI 1I).LT.TØL
NÃO
SIM
IFLAG1=1
E(I)=CMPLX(EI2R,EI2I)
5

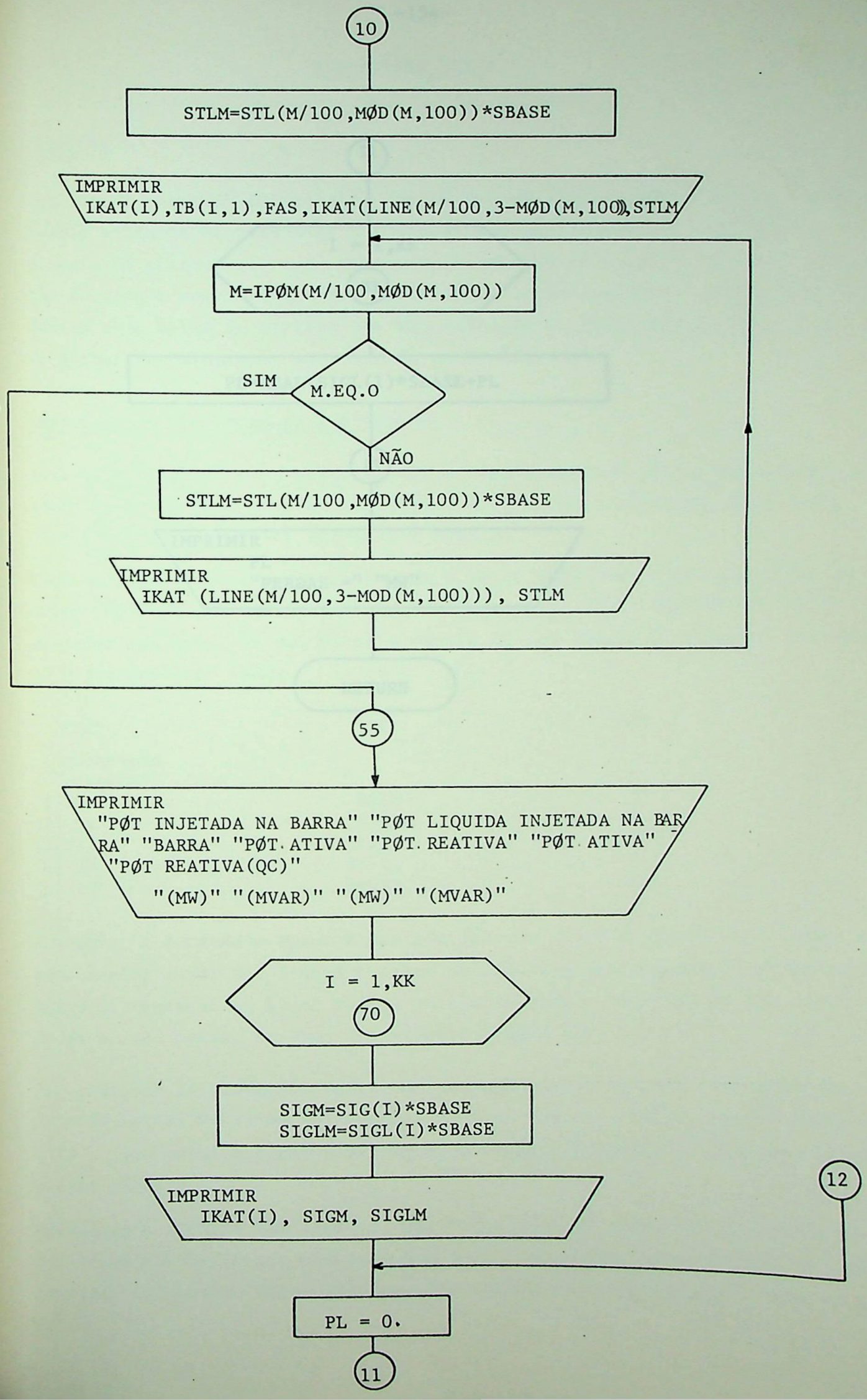

5
ITB (ITAK(I),2). -1
>
≤
CALL TIRA (I,I,KS,REG,ZB)
AUX1=AUX1-REG*C(I)
PØT=CMPLX(DB(ITAK(I),1),DB ITAK(I),2))
C(I)=CØNJG(PØT)/CØNJ(E(I))- E(I)*Y(I)
QICAL=-AIMAG((CØNJG(E(I))/REG)*(E(I)-EREF-AUX1))
PØT=CMPLX(DB(ITAK(I),1), QICAL)
C(I)=CØNJG(PØT)/CØNJG(E(I))
GØ TØ 165
210
SIM
NINT.GT.NI
NÃO
IFLAG1.EQ.0
NÃO
SIM
IMPRIMIR "NÃØ CØNVERGIU EM" NI "ITERAÇØES" "TOLERANCIA ="TØL
220
IFLAG2=0
I = 2,KK
230
SIG(I)=E(I)*(CØNJG(C(I))+CONJG(E(I)*Y(I)))
ITB (ITAK(I), 2).EQ.2
SIM
NÃO
6
7

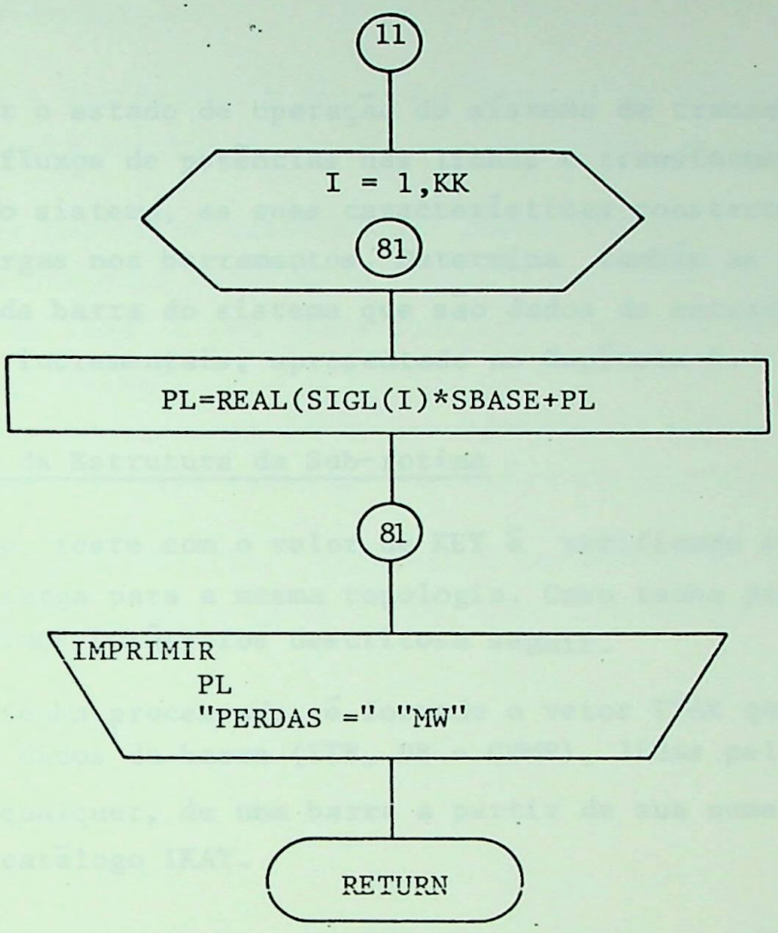

6
7
SIGQ=AIMAG(SIG(I))
SIGQ. LT.DB(ITAK (I),2)
SIM
NÃO
SIGQ. LE.DB(ITAK (I),3)
SIM
NÃO
DB(ITAK(I),2)=DB(ITAK (I),3)
ITB(ITAK(I),2)=2
225
IFLAG2 = 1
IFLAG3.EQ.1
NÃO
SIM
IMPRIMIR "BARRAS DE GERAÇÃØ QUE SE TØRNOU(A RAM) BARRA(S) DE CARGA PØIS ULTRAPAS SOU(ARAM) O LIMITE DE PØTENCIA REATIVA ESPECIFICADA"
IFLAG3=1
IMPRIMIR IKAT(I)
230
8


8
J = 1,NL
240
I=LINE(J,1)
K=LINE(J,2)
ZIK=CMPLX(ZL(J,1),ZL(J,2))
YA=CMPLX(0.,YSH(J))
STL(J,1)=E(I)*(CONJG(E(I)*CØNJG(YA)+(CØNJG(E(I))-CØNJG(E(K)))/CØNJG(ZIK))
STL(J,2)=E(K)*(CØNJG(E(K))*CØNJG(YA)+(CØNJG(E(K))-CØNJG(E(I)))/CØNJG(ZIK))
240
SIG(1) = CMPLX(0.,0.)
M = KØM(1)
SIG(1) = SIG(1)+STL(M/100,MØD(M,100))
M = IPØM(M/100,MØD(M,100))
M.NE.0
SIM
SIG(1)=SIG(1)+CØNJG(E(1))*E(1)*CMPLX(0.,-CØMP(ITAK(1)))
C(1)=CØNJG(SIG(1))/CØNJG(E(1))-E(1)*Y(1)
9



Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ
Itajubá


10
STLM=STL(M/100,MØD(M,100))*SBASE
IMPRIMIR
IKAT(I),TB(I,1),FAS,IKAT(LINE(M/100,3-MØD(M,100)),STLM
M=IPØM(M/100,MØD(M,100))
SIM
M.EQ.O
NÃO
STLM=STL(M/100,MØD(M,100))*SBASE
IMPRIMIR
IKAT (LINE(M/100,3-MOD(M,100))), STLM
55
IMPRIMIR
"PØT INJETADA NA BARRA" "PØT LIQUIDA INJETADA NA BAR
RA" "BARRA" "PØT. ATIVA" "PØT. REATIVA" "PØT ATIVA"
"PØT REATIVA(QC)"
"(MW)" "(MVAR)" "(MW)" "(MVAR)"
I = 1,KK
70
SIGM=SIG(I)*SBASE
SIGLM=SIGL(I)*SBASE
IMPRIMIR
IKAT(I), SIGM, SIGLM
12
PL = 0.
11


11
I = 1,KK
81
PL=REAL(SIGL(I)*SBASE+PL
81
IMPRIMIR
PL
"PERDAS =" "MW"
RETURN

SUB-ROTINA FLUXC

Objetivo

Determinar o estado de operação do sistema de transmissão (tensões em todas as barras e fluxos de potências nas linhas e transformadores) conhecendo-se a topologia do sistema, as suas características construtivas e uma dada configuração de cargas nos barramentos. Determina também as potências líquidas injetadas em cada barra do sistema que são dados de entrada para o cálculo do vetor de perdas incrementais, apresentado no Capítulo 4.

Descrição da Estrutura da Sub-rotina

Através do teste com o valor de KEY é verificado se já foi processado algum fluxo de carga para a mesma topologia. Caso tenha processado, deve pular os dois próximos parágrafos descritosa seguir.

Caso não tenha processado, é formado o vetor ITAK que indica a posição nas matrizes de dados da barra (ITB, DB e CØMP), lidas pelo programa principal em uma ordem qualquer, de uma barra a partir de sua numeração original armazenada no vetor-catálogo IKAT.

	IKAT	ITB		ITAK
	numeração original			
1	305	15	2	5
2	57	57	2	2
3	257	97	2	4
4	97	257	1	3
5	15	305	0	1

A seguir, é formado o vetor Y das admitâncias shunt de barra constituído pelas admitâncias shunt das linhas e pelas admitâncias de compensação de barras. Utilizou-se técnicas da busca rápida em listas para a localização das linhas conectadas a cada barra, através dos vetores IPØM e KØM.

As condições iniciais são definidas passando-se ao cálculo iterativo das tensões de barra, conforme apresentado no item 3.2.1. . Utilizou-se a sub-rotina TIRA que permite sacar diretamente na matriz Z-barra os elementos necessários a esse cálculo.

Após a convergência das tensões, são calculados as potências injetadas em todas as barras e é verificada,para as barras P-V, se foram ultrapassados os limites da potência reativa especificados. Caso tenha sido para alguma barra de geração,

esta se torna de carga e é alterado o código de identificação do tipo de barra reiniciando-se o processo iterativo do cálculo das tensões com a nova definição.

Após a convergência final das tensões da barra, verificados os limites de potência reativa de todas as barras P-V, calcula-se:

1. as potências transferidas pelas linhas
2. a potência e corrente injetada na barra "swing", utilizando dos vetores IPØM e KØM para localizar rapidamente as linhas conectadas à barra "swing".
3. os módulos e as fases das tensões de barras
4. as potências líquidas injetadas nas barras.

Após esses cálculos, passa-se à impressão dos resultados, caso a chave KEYI tenha valor igual a 500. Caso contrário, os resultados não são impressos.

SUB-ROTINA FLUCA

Objetivo

Estimar os novos valores das tensões de barra decorrentes de modificação na configuração do sistema, após ocorrer uma contingência simples. Calcula também os novos valores dos elementos das matrizes dos coeficientes ALFA e BETA, das perdas ativas totais e da potência ativa gerada na barra "swing" (detalhes no Capítulo 4).

Descrição da Estrutura da Sub-rotina

Inicialmente, é verificado se a contingência diz respeito à incorporação de linha radial através do teste com o valor de JI que é transferido da sub-rotina CØNTI.

Caso seja, aplica-se o algoritmo apresentado no item b.2 do capítulo 3 para o cálculo da tensão e da potência líquida injetada na nova barra incorporada e modifica-se o valor da carga ativa total conectada ao sistema.

Feito isto, passa-se ao cálculo das novas tensões das demais barras (em decorrências da adição da linha radial) através da equação:

EN(I) = E(I) + ZB(I,NC) * C(KK)

onde ZB(I,NC) é o elemento correspondente às barras "I" e "NC" na matriz Z-barra do sistema original, sendo NC o nó companheiro da nova barra incorporada ao sistema. C(KK) é a corrente líquida injetada na nova barra e E(I) a tensão da barra "I" no caso base.

Caso a contingência não seja adição de linha radial, as novas tensões das barras do sistema, como demonstrado no Capítulo 3, serão dadas por:

$$EN(I) = \sum_{J=2}^{kk} ZBN(I,J) * C(J) + EREF$$

onde ZBN (I,J) é o elemento correspondente às barras "I" e "J" na matriz Z-barra modificada. C(J) é a corrente líquida injetada na barra "J" no caso base e EREF, a tensão na barra "swing".

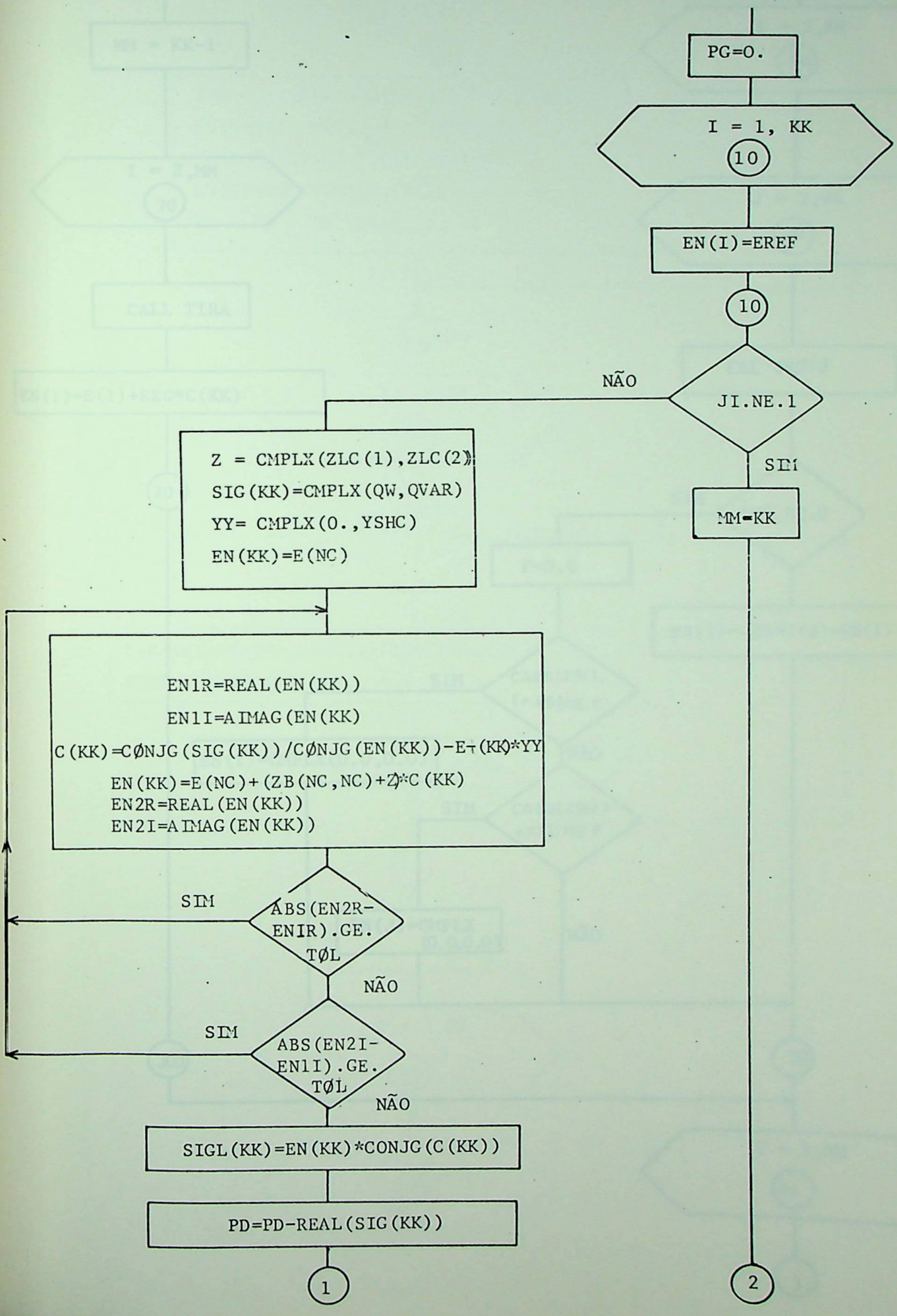
Observa-se que apenas são calculadas as novas tensões para as barras que continuam conectadas à referência após ocorrida a contingência. Para as barras que ficaram desconectadas da referência, as novas tensões terão valor nulo, operação que é feita através do teste com o valor da chave IMP.

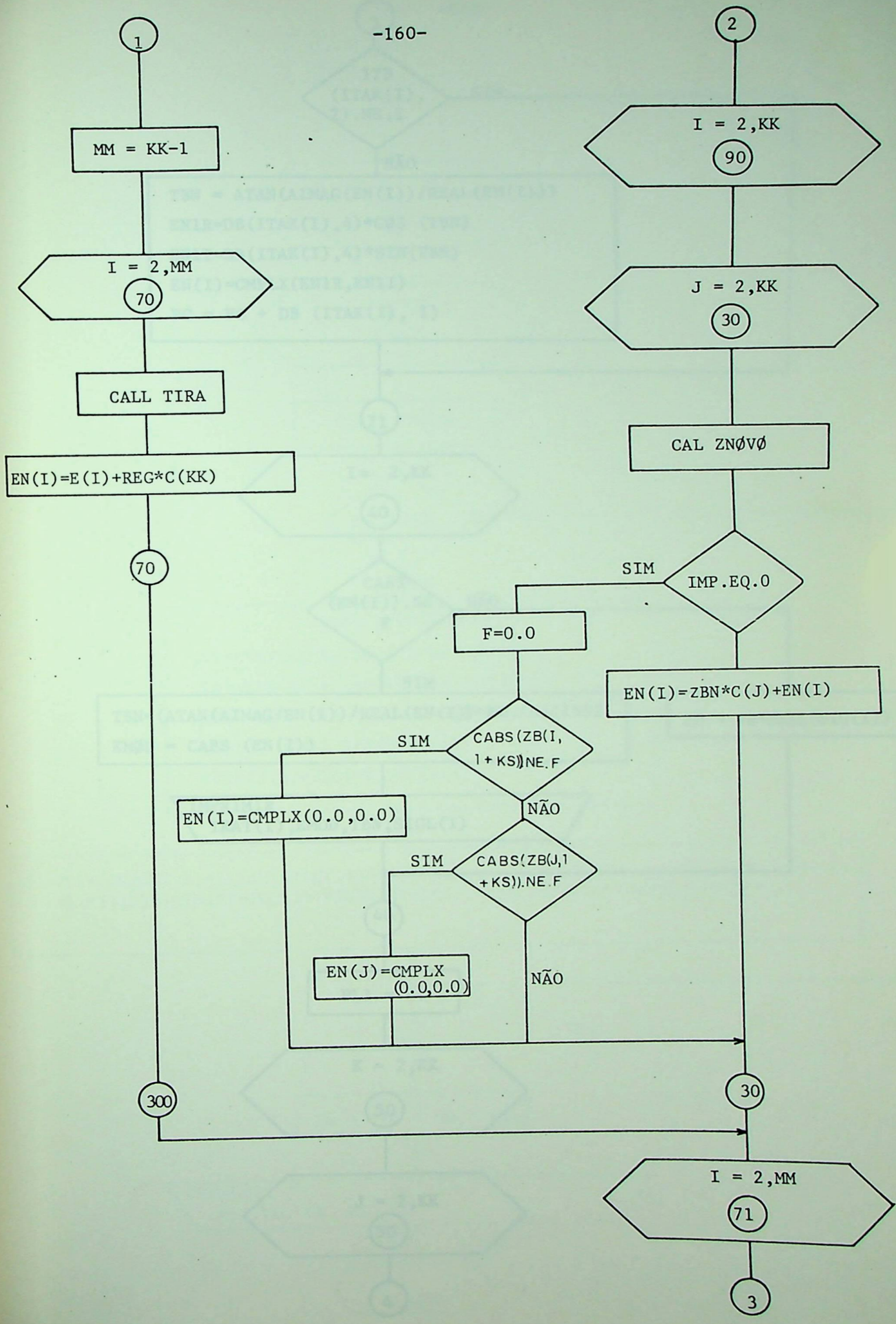
Após definido o novo perfil das tensões para todas as barras, os módulos das novas tensões das barras P-V são então modificados para os valores que foram especificados no caso base e calcula-se a potência ativa total gerada pelas mesmas.

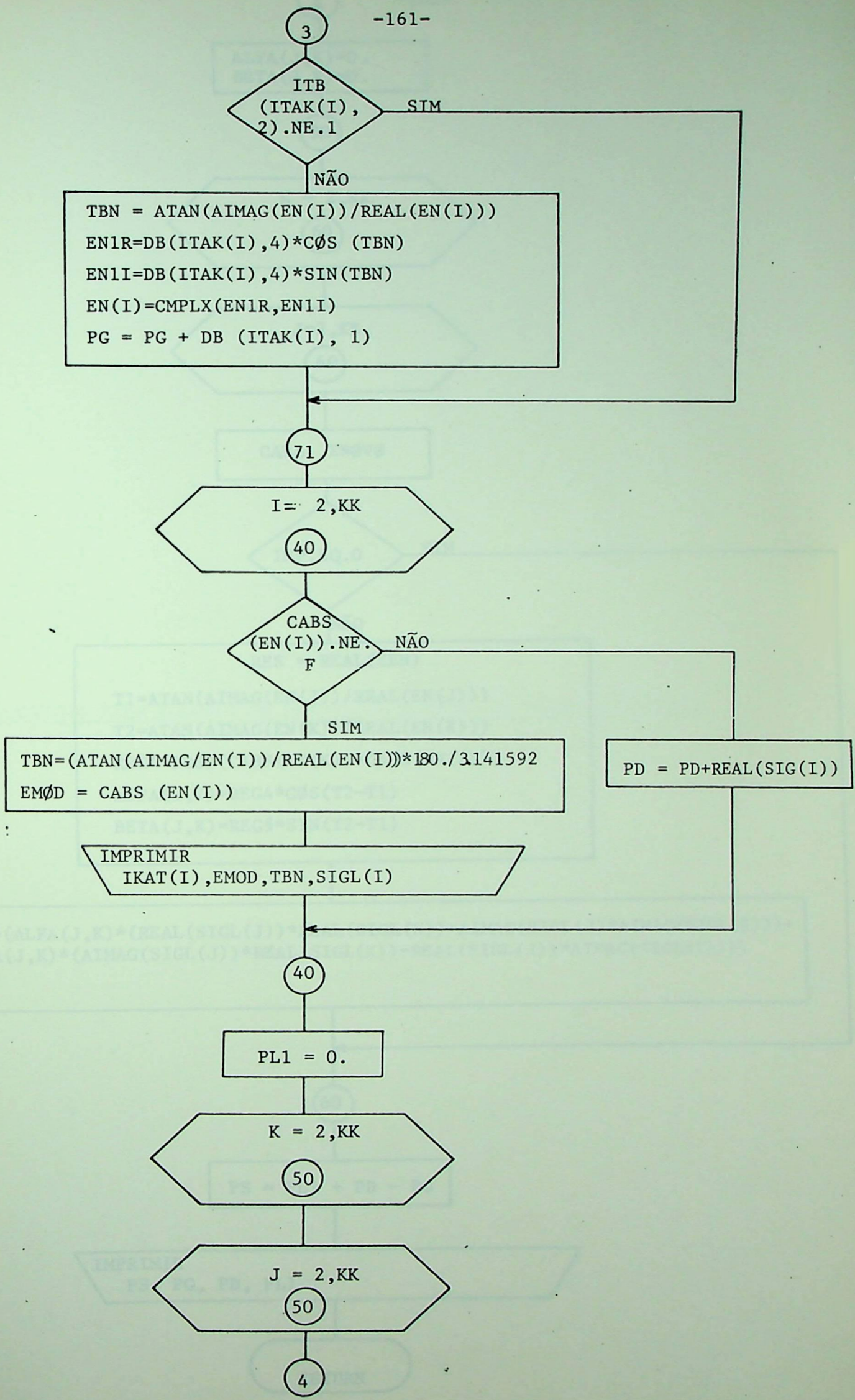
Feito isto, passa-se o cálculo da matriz dos coeficientes ALFA e BETA e ao valor das perdas ativas totais do sistema (ver Capítulo 4).

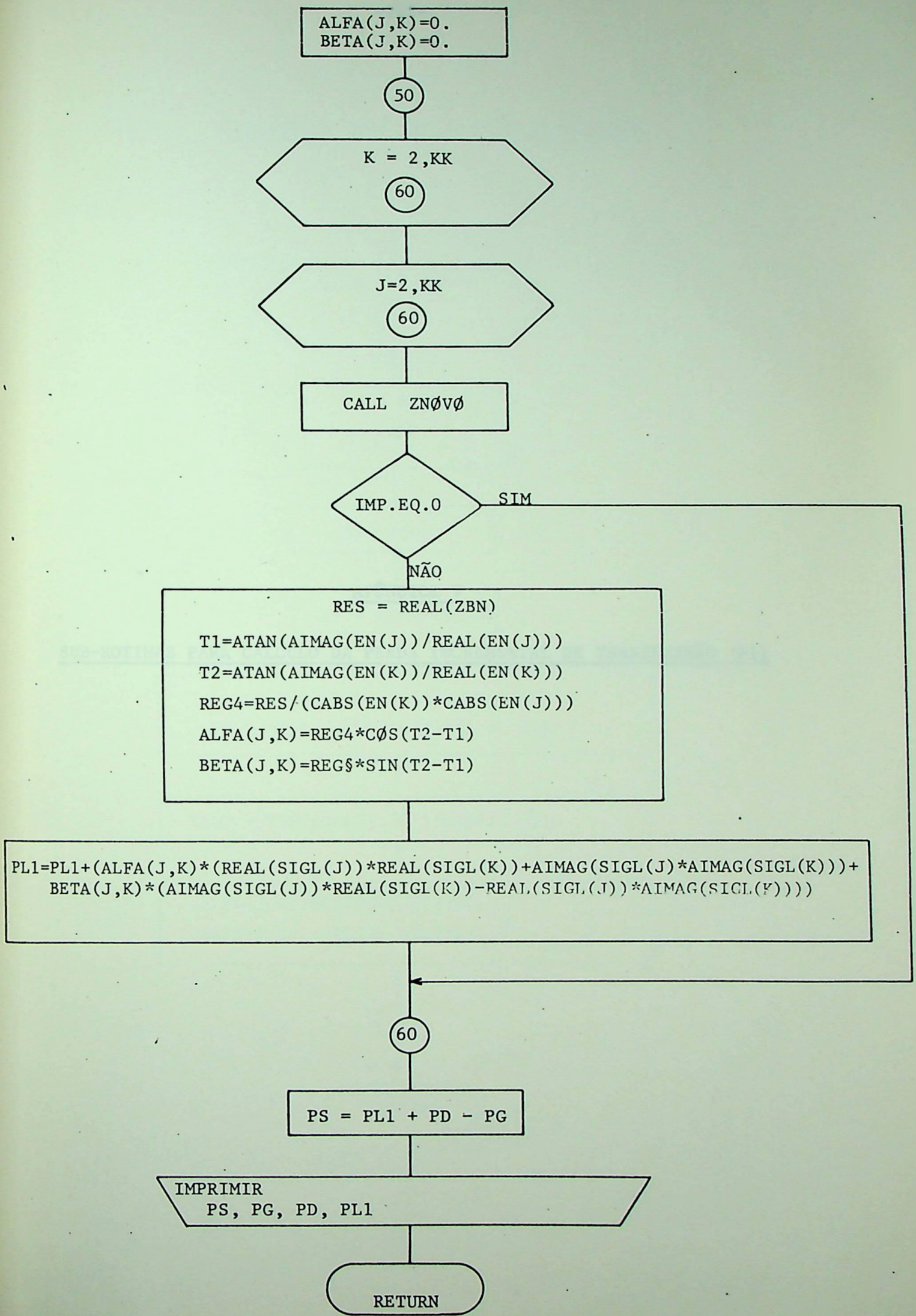
A nova potência ativa gerada pela barra "swing" é então calculada levando-se em conta o novo valor das perdas ativas totais.

SUBROUTINE FLUCA (KK,EREF,ZB,C,PD,SIG,ITB,ITAK,DB,SIGL,KS,KK,KC,PS,PG,PL1,EN,ALFA,
PL1,EN,ALFA,BETA,IKAT,QW,QVAR,NC,YSHC,ZLC,TØL,JI,E)




1
MM = KK-1
I = 2,MM
70
CALL TIRA
EN(I)=E(I)+REG*C(KK)
70
300
2
I = 2,KK
90
J = 2,KK
30
CAL ZNØVØ
IMP.EQ.0
SIM
F=0.0
EN(I)=ZBN*C(J)+EN(I)
CABS(ZB(I,
1+KS))NE.F
SIM
EN(I)=CMPLX(0.0,0.0)
NÃO
CABS(ZB(J,1
+KS)).NE.F
SIM
EN(J)=CMPLX
(0.0,0.0)
NÃO
30
I = 2,MM
71
3

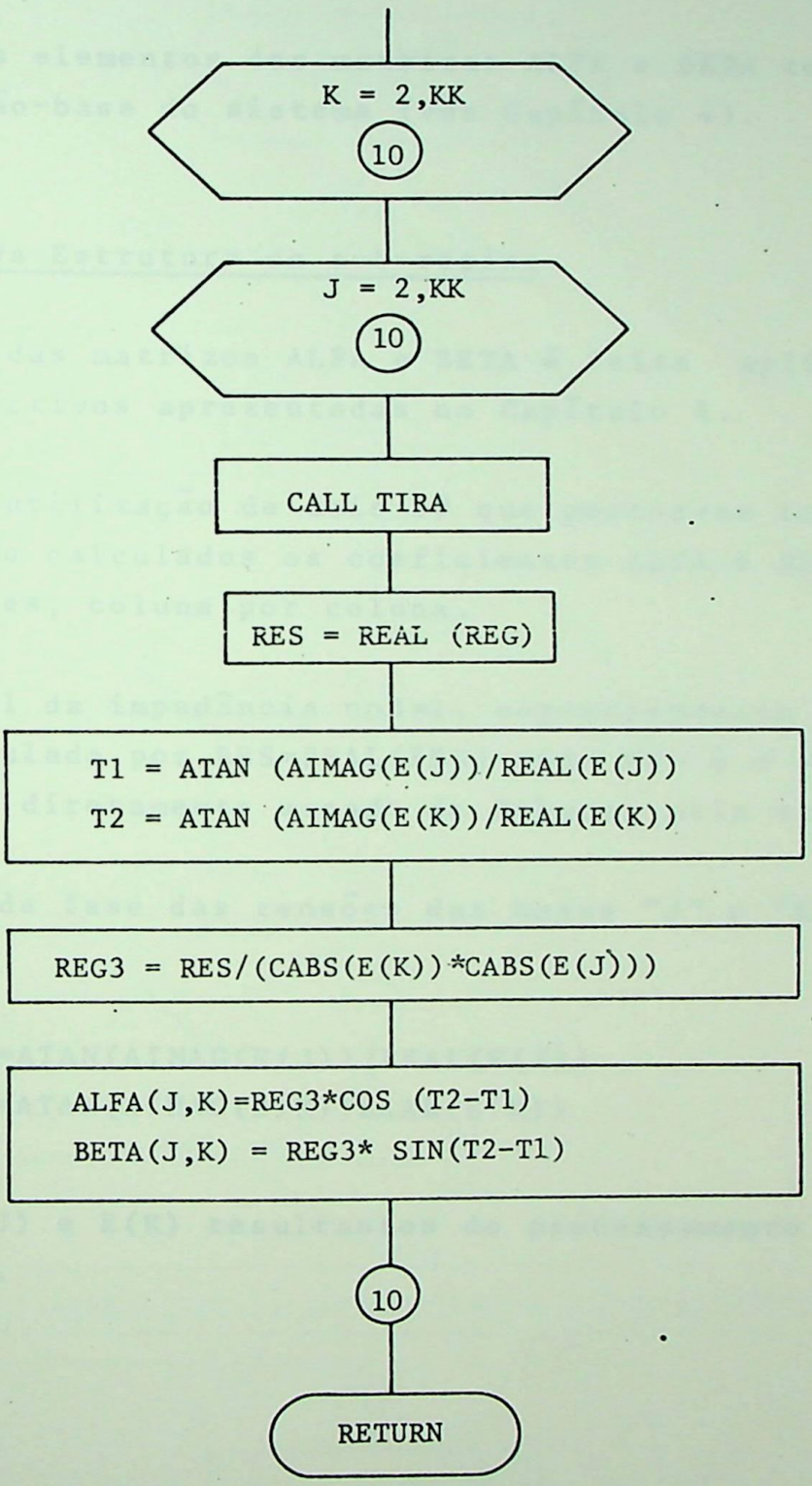

3
ITB (ITAK(I), 2).NE.1
SIM
NÃO
TBN = ATAN(AIMAG(EN(I))/REAL(EN(I)))
EN1R=DB(ITAK(I),4)*CØS (TBN)
EN1I=DB(ITAK(I),4)*SIN(TBN)
EN(I)=CMPLX(EN1R,EN1I)
PG = PG + DB (ITAK(I), 1)
71
I= 2,KK
40
CABS (EN(I)).NE. F
NÃO
SIM
TBN=(ATAN(AIMAG/EN(I))/REAL(EN(I)))*180./3.141592
EMØD = CABS (EN(I))
PD = PD+REAL(SIG(I))
IMPRIMIR IKAT(I),EMOD,TBN,SIGL(I)
40
PL1 = 0.
K = 2,KK
50
J = 2,KK
50
4


ALFA(J,K)=0.
BETA(J,K)=0.
50
K = 2,KK
60
J=2,KK
60
CALL ZNØVØ
IMP.EQ.0
SIM
NÃO
RES = REAL(ZBN)
T1=ATAN(AIMAG(EN(J))/REAL(EN(J)))
T2=ATAN(AIMAG(EN(K))/REAL(EN(K)))
REG4=RES/(CABS(EN(K))*CABS(EN(J)))
ALFA(J,K)=REG4*CØS(T2-T1)
BETA(J,K)=REG§*SIN(T2-T1)
PL1=PL1+(ALFA(J,K)*(REAL(SIGL(J))*REAL(SIGL(K))+AIMAG(SIGL(J)*AIMAG(SIGL(K)))+
BETA(J,K)*(AIMAG(SIGL(J))*REAL(SIGL(K))-REAL(SIGL(J))*AIMAG(SIGL(K))))
60
PS = PL1 + PD - PG
IMPRIMIR
PS, PG, PD, PL1
RETURN

APÊNDICE V

SUB-ROTINAS PARA CÁLCULO DA PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSÃO (PI)

SUBROUTINE CØEF (KK,KS,E,ZB,ALFA,BETA)



SUB-RØTINA CØEF

Objetivo:

Calcular os elementos das matrizes ALFA e BETA correspondentes à configuração-base do sistema (ver Capítulo 4).

Descrição da Estrutura da sub-rotina.

A montagem das matrizes ALFA e BETA é feita aplicando-se as fórmulas respectivas apresentadas no Capítulo 4.

Através da utilização de dois DØ que percorrem todas as barras do sistema, são calculados os coeficientes ALFA e BETA os quais preencham matizes, coluna por coluna.

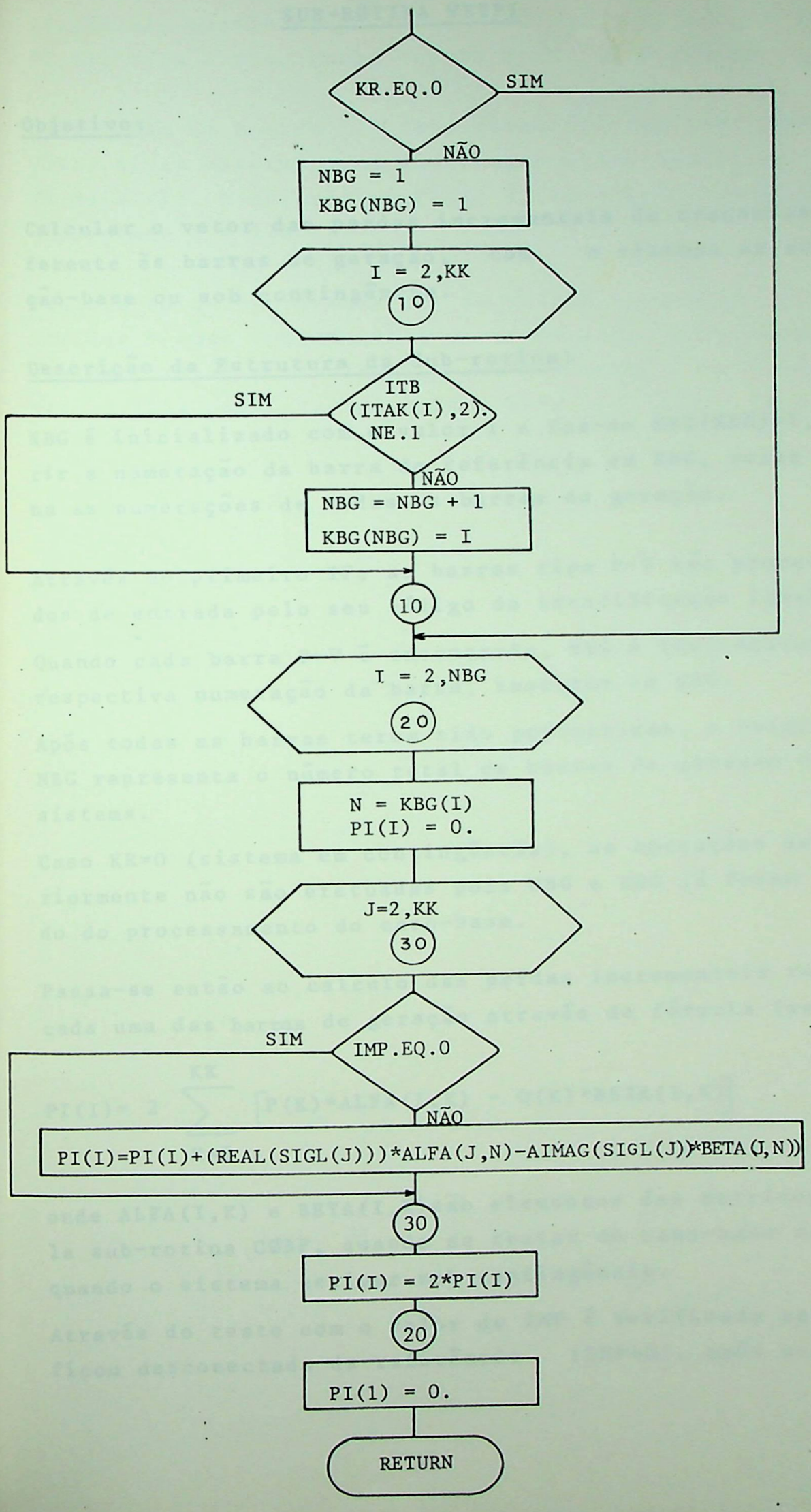
A parte real da impedância nodal, correspondente às barras "J" e "K", é calculada por RES=REAL(REG) onde REG é o valor complexo de impedância, diretamente sacado de Z-barra pela sub-rotina TIRA.

Os ângulos da fase das tensões das bases "J" e "K" são calculados por:

```
T1=ATAN(AIMAG(E(J))/REAL(E(J))
TZ=ATAN(AIMAG(E(K))REAL(E(K))
```

Sendo: E(J) e E(K) resultantes do processamento do fluxo de carga completo.

SUBROUTINE VETPI(KK,ITB,ITAK,ZB,KS,IMP,KC,KBG,PI,NBG,SIGL,ALFA,BETA,KR)



SUB-RØTINA VETPI

Objetivo:

Calcular o vetor das perdas incrementais de transmissão (PI) referente às barras de geração, com o sistema na sua configuração-base ou sob contingência.

Descrição da Estrutura da Sub-rotina:

NBG é inicializado com o valor 1 e faz-se KBG(NBG)=1, para inserir a numeração da barra de referência em KBG, vetor que armazena as numerações de todas as barras de geração.

Através do primeiro IF, as barras tipo P-V são procuradas nos dados de entrada pelo seu código de identificação igual a 1.

Quando cada barra P-V é encontrada, NBG é incrementado de 1 e a respectiva numeração da barra, inserida em KBG.

Após todas as barras terem sido percorridas, o valor final de NBG representa o número total de barras de geração existentes no sistema.

Caso KR=0 (sistema em contingência), as operações descritas anteriormente não são efetuadas pois NBG e KBG já foram formados quando do processamento do caso-base.

Passa-se então ao cálculo das perdas incrementais referentes a cada uma das barras de geração através da fórmula (ver Capítulo 4):

$$PI(I) = 2 \sum_{K=2}^{KK} \left[P(K)*ALFA(I,K) - Q(K)*BETA(I,K)\right] \qquad (1)$$

onde ALFA(I,K) e BETA(I,K) são elementos das matrizes formados pela sub-rotina CØBF, quando se tratar de caso-base ou por FLUCA, quando o sistema estiver sob contingência.

Através do teste com o valor de IMP é verificado se a barra "J" ficou desconectada da referência (IMP=0), após ocorrida a con-

tingência, quando então não deverá ser considerada no cálculo das PI(I). Para o caso base, faz-se IMP=1 no programa principal.

Após todas as barras "J" do sistema tiverem sido processadas, as PI(I) ficam determinadas duplicando o seu valor, de acordo com a fórmula (1). O cálculo de PI(I) é feito para todas as barras KBG (I), sendo I = 1 a NBG.

Observa-se que a fórmula (1) se refere apenas aos elementos do vetor das perdas incrementais de transmissão correspondentes às barras de geração controlável. Para a "swing", tendo em vista que os respectivos coeficientes ALFA e BETA são nulos, faz-se PI(1)=0..

APÊNDICE VI

MODIFICAÇÃO DO PERFIL DAS TENSÕES DE BARRAS, DO VALOR DAS PERDAS ATIVAS TOTAIS E DOS COEFICIENTES "ALFA" E "BETA", A PARTIR DA VARIAÇÃO DAS POTÊNCIAS ATIVAS GERADAS NAS BARRAS TIPO P-V

Cálculo dos valores modificados de E, de PL e de PI(I) a partir da variação das potências geradas nas barras P-V.

1) Cálculo do novo perfil das tensões de barras em função da variação das potências ativas geradas pelas barras P-V.

Considerando que:

$$\underline{E} = \underline{ZB} * \underline{C} + \underline{EREF}$$

onde:

ZB - matriz das impedâncias nodais tomando a barra "swing" como referência

C - vetor das correntes injetadas nas barra, sem considerar a referência

EREF- vetor com todos os elementos iguais à tensão da barra de referência.

E - vetor das tensões de barra.

logo:

$$\underline{E} = \underline{ZB} * \frac{CØNJG\ (S)}{CONJG\ (E)} + \underline{EREF}$$

Onde:

$$E = \underline{(R+jX)} * \underline{(dg(CØNJG(E)))}^{-1} = \underline{(P-jQ)} + \underline{EREF}$$

Onde:

$$(dg(CØNJG(E))^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{CØNJG\ (E(2))} & 0 & 0 \cdots \\ 0 & \frac{1}{CØNJG(E(3))} & 0 \cdots \\ 0 & 0 & \frac{1}{CØNJG(E(4))} \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

Fazendo $(dg(CØNJG(E))^{-1} = M$, vem:

$$\underline{E} = \underline{(R+jX)} * \underline{M} * \underline{(P-jQ)} + \underline{EREF}$$

$$\underline{E} = \underline{M} * \left[(RP + XQ) + j(XP - RQ)\right] + \underline{EREF}$$

Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ

Mas:

$$\underline{M} = M_r + jM_I \qquad M = \frac{e^{j\theta}}{|E|} \quad , \quad M_R = \frac{\cos\theta}{|E|}$$

$$M_I = \frac{\operatorname{sen}\theta}{|E|}$$

logo:

$$\text{IMAG E} = M_R * (XP - RQ) + M_I * (RP + XQ)$$

$$\text{IMAG E} = \frac{\cos\theta}{|E|} * (XP - RQ) + \frac{\operatorname{sen}\theta}{|E|} * (RP + XQ)$$

Fazendo θ (rad) = IMAG E (para ângulos "θ" pequenos e(E) $\cong$ 1,0 pu), tem-se:

$$\theta = \frac{\cos\theta}{|E|} * (XP - RQ) + \frac{\operatorname{sen}\theta}{|E|} * (RP + XQ)$$

Então:

$$\frac{\partial\theta}{\partial P} = \frac{\cos\theta}{|E|} X + \frac{\operatorname{sen}\theta}{|E|}$$

Logo:

$$\Delta\theta \text{ (rad)} = \left[\frac{\cos\theta}{E} X + \frac{\operatorname{sen}\theta}{E} R\right] \Delta P$$

Considerando:

$$\frac{\cos\theta}{|E|} X \gg \frac{\operatorname{sen}\theta}{|E|} R$$

Resulta:

$$\Delta\theta \text{ (rad)} = \frac{\cos\theta}{|E|} * X * \Delta P$$

Tendo em vista que somente as barras P-V terão valores de ΔP diferentes de zero em consequência dos ciclos iterativos do despacho econômico, pode-se calcular as

variações dos ângulos de fase das tensões de barras de sistema através de:

$$\underset{(rad)}{\Delta\theta\ (I)} = \sum_{J} \frac{\cos\ \theta(J)}{|E(J)|} * X\ (I,J)\ *\Delta P(J)$$

onde:

I = barras do sistema (exceto a referência)

J = barras tipo P-V

θ(J) - ângulo de fase da tensão da barra P-V "J" na iteração anterior

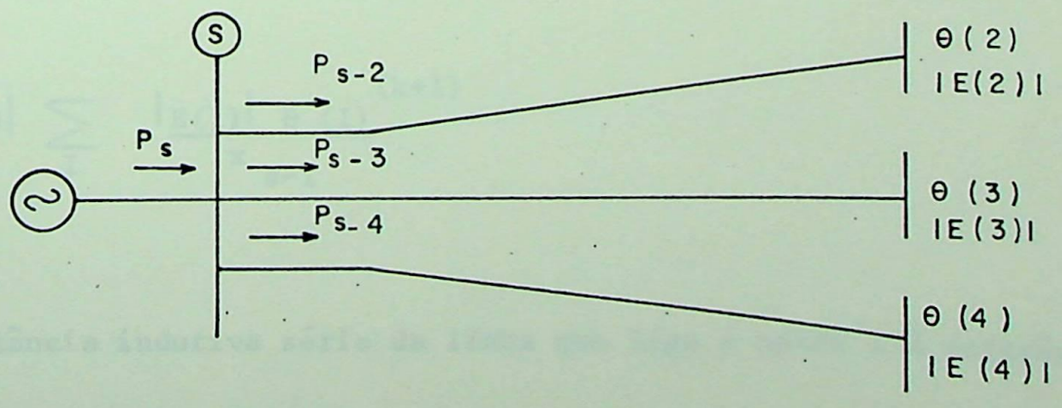
X(I,J) - parte imaginária da impedância nodal correspondente às barras "I" e "J"

Logo, os ângulos de fase das tensões de barra na iteração k seriam:

$$\theta^{(k)}\ (I) = \theta^{(k-1)}\ (I) + \sum_{J} \frac{\cos\ \theta^{(k-1)}\ (J)}{|E(J)|} * X\ (I,J) * \Delta P(J)$$

Considera-se que os módulos da tensão permanecem constantes quando há variações nas potências ativas geradas pela barras P-V, tendo em vista a fraca dependência entre as duas grandezas.

2) Cálculo da potência ativa gerada na barra "swing" em função dos ângulos da fase das tensões dos barramentos a ela conectados.



I = barras conectadas a "swing"

$$P_s = \sum_I Ps\text{-}I$$

$$P_{s-I} = Re\left\{E(S) * CØNJG\ (C(S,I))\right\} = Re\left\{E(S) * \frac{CØNJG\ (E(S)) - CØNJG\ (E(I))}{CØNJG\ (z_{s-I})}\right\}$$

$$= Re\left\{\frac{E(S) * CØNJG\ (E(S)) - E(S) * CØNJG\ (E(I))}{r_{s-I} - jx_{s-I}}\right\}$$

$$= Re\left\{\frac{|E(S)|^2 - |E(S)| * |E(I)| \cos\theta\ (I) + j\,|E(S)||E(I)|\,\text{sen}\,\theta(I)}{r_{s-I} - jx_{s-I}}\right\}$$

Admitindo $r_{s-I} \ll x_{s-I}$, vem:

$$P_{s-I} = Re\left\{-j\,\frac{|E(S)|^2 - |E(S)||E(I)| \cos\theta\ (I) + j\,|E(S)||E(I)|\,\text{sen}\,\theta\ (I)}{-x_{s-I}}\right\}$$

logo:

$$P_{s-I} = \frac{|E(S)||E(I)|\,\text{sen}\,\theta(I)}{-x_{s-I}}$$

Admitindo sen θ (I) = θ (I) (rad), tem-se

$$P_{s-I} = \frac{|E(S)|\,|E(I)|\,\theta\ (I)}{-x_{s-I}}$$

logo:

$$P_s = -\,|E(S)| \sum_I \frac{|E(I)|\,\theta\ (I)}{x_{s-I}}^{(k+1)}$$

onde:

x_{s-I} = reatância indutiva série da linha que liga a barra "I" à referência.

E(I) = módulo da tensão na barra "I"

E(S) = módulo da tensão na barra "swing", igual a |EREF|

3) Cálculo do novo valor das perdas ativas totais (PL):

É dado por:

$$PL^{(k)} = P_s^{(k)} + \sum_J PG(J)^{(k)} + PD$$

onde:

J = barras tipo P-V

PD = somatório das potências ativas demandadas pelas cargas

$$PG(J)^k = PG(J)^k + \Delta PG(J)$$

4) Cálculo dos novos valores de ALFA e BETA

Considerando que:

$$ALFA\ (J,K) = \frac{R(J,K)}{|E(J)||E(K)|} \cos\ (\theta(J) - \theta\ (K))$$

$$BETA\ (J,K) = \frac{R(J,K)}{|E(J)||E(K)|} \text{sen}\ (\theta(J) - \theta\ (K))$$

Sendo J = barras tipo P-V e admitindo que mudanças nas potências ativas geradas pelas barras P-V alteram apenas os ângulos de fase das tensões dos barramentos permanecendo os módulos com valores constantes, pode-se escrever:

$$\frac{R(J,K)}{|E(J)||E(K)|} = \text{cte.} = k1$$

$$ALFA\ (J,K) = k1 \cos\ (\theta(J)-\theta(k)) = k1 \cos\ \theta_{jk}$$

$$BETA\ (J,K) = k1 \text{ sen } (\theta(J) - \theta\ (K)) = k1 \text{ sen } \theta_{jk}$$

logo:

$$\frac{\partial ALFA(J,K)}{\partial \theta_{jk}} = - k1 \text{ sen } \theta_{jk} \quad e \quad \frac{\partial BETA(J,K)}{\partial \theta_{jk}} = k_1 \cos\ \theta_{jk}$$

logo:

$$\Delta(ALFA(J,K)) = - k1 \text{ sen } \theta_{jk} * \Delta\theta_{jk}$$

$$\Delta(BETA(J,K)) = k1 \cos\ \theta_{jk} * \Delta\theta_{jk}$$

resultando:

$$ALFA(J,K)^{(k)} = ALFA(J,K)^{(k-1)} - BETA(J,K)^{(k-1)}\left[(\theta(J)-\theta(k))^{(k)} - (\theta(J)-\theta(k))^{(k-1)}\right]$$

$$BETA(J,K)^{(k)} = BETA(J,K)^{(k-1)} + ALFA(J,K)^{(k-1)}\left[(\theta(J)-\theta(k))^{(k)} - (\theta(J)-\theta(k))^{(k-1)}\right]$$

Com ALFA e BETA modificados, calcula-se os novos valores do vetor da perda incremental (PI) do acordo com a fórmula apresentada no Capítulo 4.

APÊNDICE VII

SUB-ROTINAS PARA A DEFINIÇÃO DO DESPACHO ECONÔMICO REFERENTE AO CASO-BASE E RE-DESPACHO ECONÔMICO PARA O SISTEMA SOB CONTINGÊNCIA

SUB-ROTINA DESPB

Objetivo:

Calcular o despacho econômico das usinas termelétricas existentes no sistema considerando as perdas na transmissão.

Descrição da Estrutura da Sub-Rotina:

Inicialmente, faz-se todos os valores de NEX iguais a zero, para indicar que todos os geradores estão livres para programação. O vetor NEX identifica, no decorrer do despacho, os geradores que ficaram bloqueados em um dos limites das respectivas faixas de operação permissível, quando então NEX(I) é feito igual a 1. A dimensão de NEX é definida pelo número de barras geradoras existentes no sistema (NBG).

Os registros VET1 e VET2, integrantes da fórmula (16) apresentada no Capítulo 5, são calculados através das expressões:

$$VET1 = \sum_{I=1}^{NBG} \frac{B1(I)}{A1(I)} \quad e \quad VET2 = \sum_{I=1}^{NBG} \frac{1 - PI(I)}{A1(I)}$$

Utilizando esses valores de VET1 e VET2 na referida fórmula (16) é calculado o custo incremental do sistema CINC1. Verifica-se se o valor absoluto de diferença entre o recém-encontrado valor CINC1 e o calculado na iteração anterior (CINC) é menor que uma tolerância especificada (TØL5).

Se fôr, o processo de otimização convergiu e CINC1 é o valor final do custo incremental do sistema. No programa principal, CINC é inicializado com o valor zero.

Se não fôr, armazena-se o valor de CINC1 em CINC e, utilizando-se CINC1 na fórmula (10) Capítulo 5), é calculada a potência ativa gerada (PV), para a barra em questão que, assim sendo, terá o mesmo custo incremental do sistema.

É verificado então se um dos limites da faixa de operação permissível foi violado.

Se não foram, insere-se diretamente o valor calculado para PV em DB(ITAK(KBG (I)),1), modificando o respectivo valor de potência ativa especificada.

Se um dos limites foi ultrapassado, o gerador fica bloqueado, faz-se PV igual a esse valor e soma-se ao armazenado em PLIM, que representa a soma total dos valores das potências ativas de todos os geradores bloqueados. Faz-se NEX(I) igual a 1 para indicar que o gerador "I" está bloqueado em uma das potências limites de sua faixa de operação, e modifica-se a respectiva potência ativa especificada.

Considerando os valores modificados das potências ativas especificadas para as barras P-V, é então processado o fluxo de carga completo (FLUXC) para a definição do novo perfil de tensões e cálculo das perdas.

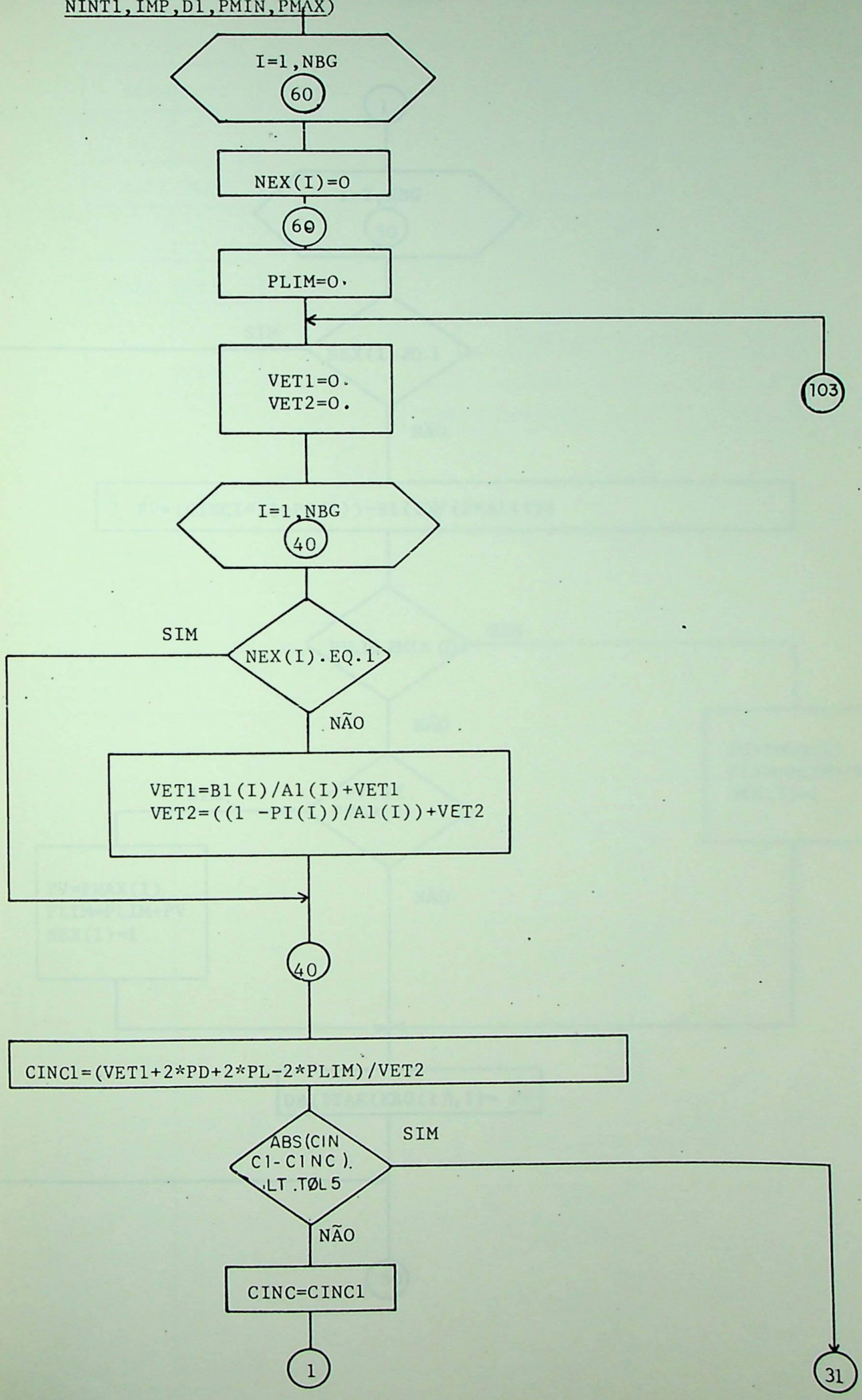
Com esses valores, os elementos das matrizes dos coeficientes ALFA e BETA são recalculados através de CØEF e,posteriormente, a nova perda incremental de transmissão, utilizando VETPI.

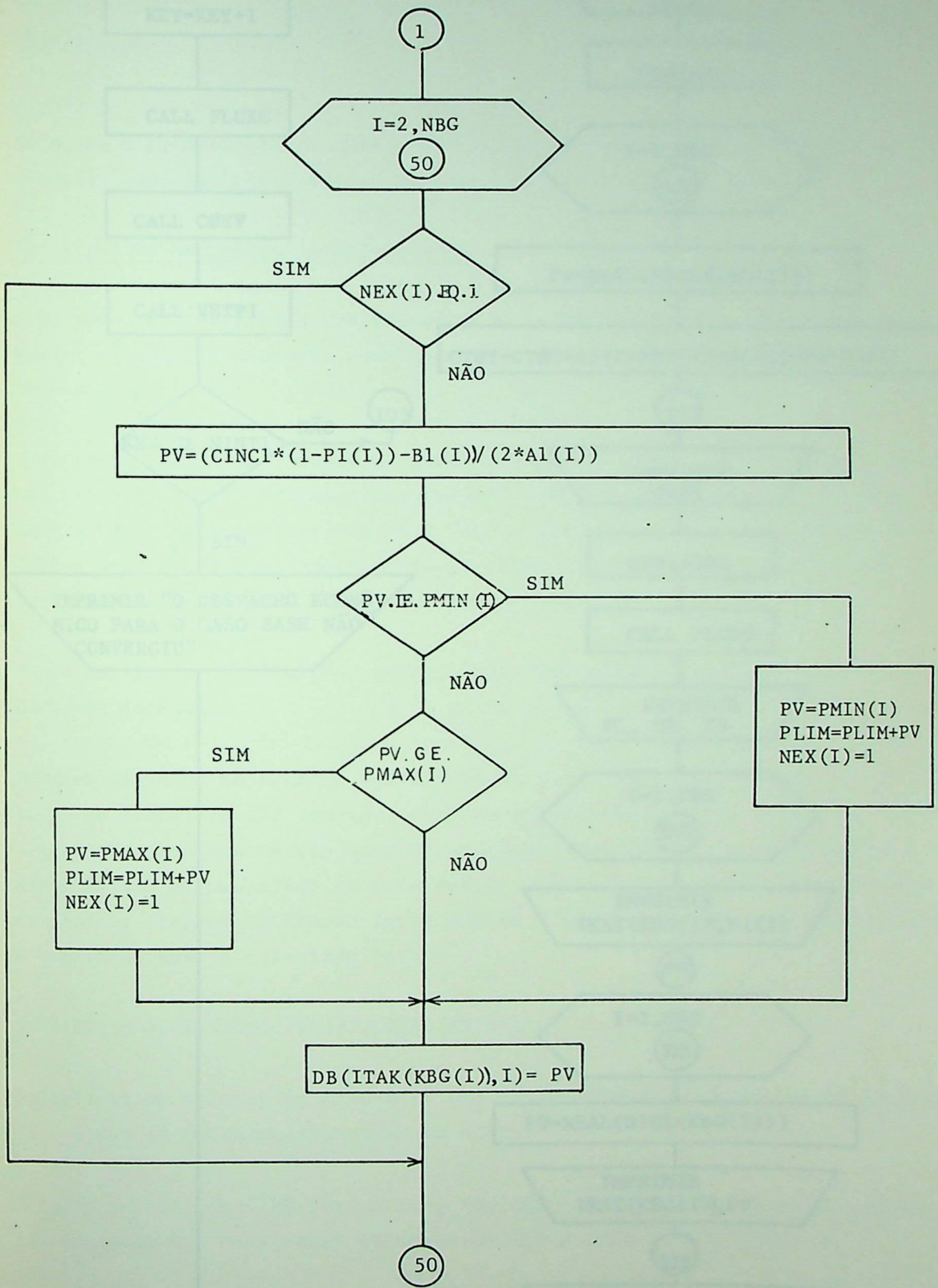
Feito isto, retorna-se ao cálculo de VET1 e VET2, seguindo-se os mesmos passos descritos anteriormente.

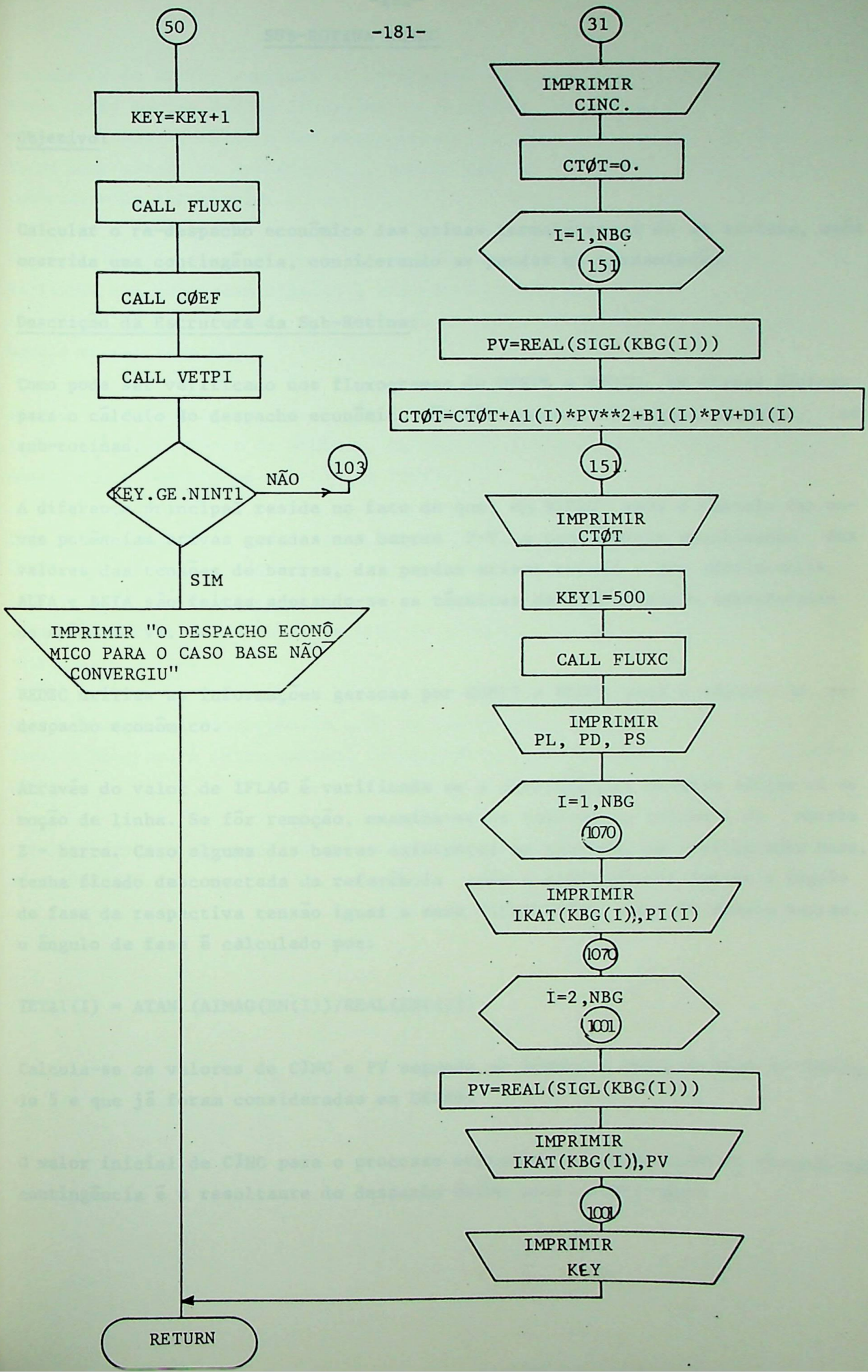
Esse ciclo é repetido até que ocorra a convergência do valor de CINC1($|$CINC1-CINC$|$<TØL5), quando então passa-se ao cálculo do custo total horário de geração (CTØT) e à impressão dos resultados. Se, após um número máximo expecificado de iterações, o processo não convergir, o programa é interrompido e impressa a informação de " NÃO CONVERGÊNCIA".

Cabe salientar que, como apresentado no Capítulo 5, quando um gerador fica bloqueado, os seus valores não são considerados no cálculo de VET1 e VET2, o que é feito através de verificação do respectivo valor em NEX. O mesmo ocorre com relação ao cálculo de PV, que é calculado apenas para os geradores livres para programação, pois o custo incremental dos geradores bloqueados não é mais igual ao do sistema.

UTINE DESPB(KEY,NBG,A1,B1,PI,PD,PL,TØL5,CINC,DB,KBG,IKAT,ITB,ITAK,ZB,KS,KR,KC,ALFA,BET
KK,SIGL,IPØN,KØM,LINE,ZL,YSH,CØMP,TB,EREF,TØL,SBASE,NINT,E,SIG,C,NL,KEY1,
NINT1,IMP,D1,PMIN,PMAX)




1
I=2,NBG
50
NEX(I).EQ.1
SIM
NÃO
PV=(CINC1*(1-PI(I))-B1(I))/(2*A1(I))
PV.LE.PMIN(I)
SIM
NÃO
PV=PMIN(I)
PLIM=PLIM+PV
NEX(I)=1
PV.GE.
PMAX(I)
SIM
NÃO
PV=PMAX(I)
PLIM=PLIM+PV
NEX(I)=1
DB(ITAK(KBG(I)),I)= PV
50


50
KEY=KEY+1
CALL FLUXC
CALL CØEF
CALL VETPI
KEY.GE.NINT1
NÃO
103
SIM
IMPRIMIR "O DESPACHO ECONÔMICO PARA O CASO BASE NÃO CONVERGIU"
RETURN
31
IMPRIMIR CINC.
CTØT=O.
I=1,NBG
151
PV=REAL(SIGL(KBG(I)))
CTØT=CTØT+A1(I)*PV**2+B1(I)*PV+D1(I)
151
IMPRIMIR CTØT
KEY1=500
CALL FLUXC
IMPRIMIR PL, PD, PS
I=1,NBG
1070
IMPRIMIR IKAT(KBG(I)),PI(I)
1070
I=2,NBG
1001
PV=REAL(SIGL(KBG(I)))
IMPRIMIR IKAT(KBG(I)),PV
1001
IMPRIMIR KEY

SUB-ROTINA REDEC

Objetivo:

Calcular o re-despacho econômico das usinas termelétricas de um sistema, após ocorrida uma contingência, considerando as perdas na transmissão.

Descrição da Estrutura da Sub-Rotina:

Como pode ser verificado nos fluxogramas de DESPB e REDEC, as etapas básicas para o cálculo do despacho econômico são bàsicamente as mesmas em ambas as sub-rotinas.

A diferença principal reside no fato de que, em REDEC, após o cálculo das novas potências ativas geradas nas barras P-V, a consequente atualização dos valores das tensões de barras, das perdas ativas totais e dos coeficientes ALFA e BETA são feitas adotando-se as técnicas de linearização apresentadas no Apêndice VI.

REDEC utiliza as informações geradas por CONTI-e FLUCA para o cálculo do re-despacho econômico.

Através do valor de IFLAG é verificada se a contingência envolve adição ou remoção de linha. Se fôr remoção, examina-se os valores da coluna 1 da matriz Z - barra. Caso alguma das barras existentes no sistema, na configuração base, tenha ficado desconectada da referência após a contingência faz-se o ângulo de fase da respectiva tensão igual a zero (TETA1(I)=0. Para as demais barras, o ângulo de fase é calculado por:

TETA1(I) = ATAN .(AIMAG(EN(I))/REAL(EN(I)))

Calcula-se os valores de CINC e PV segundo as fórmulas apresentadas no Capítulo 5 e que já foram consideradas em DESPB.

O valor inicial de CINC para o processo etirativo de otimização do sistema sob contingência é o resultante do despacho ótimo para o caso-base.

Os valores em DEP(I) exprimem as diferenças ocorridas nas potências ativas geradas pelas barras P-V em iterações consecutivas ($AP(I)= P(I)^{k} - P(I)^{k-1}$) e são empregados no cálculo dos novos ângulos de fase das tensões de barra(conforme apresentado no Apêndice VI), exceto para as barras que resultaram desconectadas da referência.

Com a utilização de técnicas de busca rápida em listas, são encontrados todas as linhas que continuam ligadas à referência após a contingência, quando, então, é calculada a potência ativa gerada na barra "swing" e, em decorrência, as perdas ativas totais.

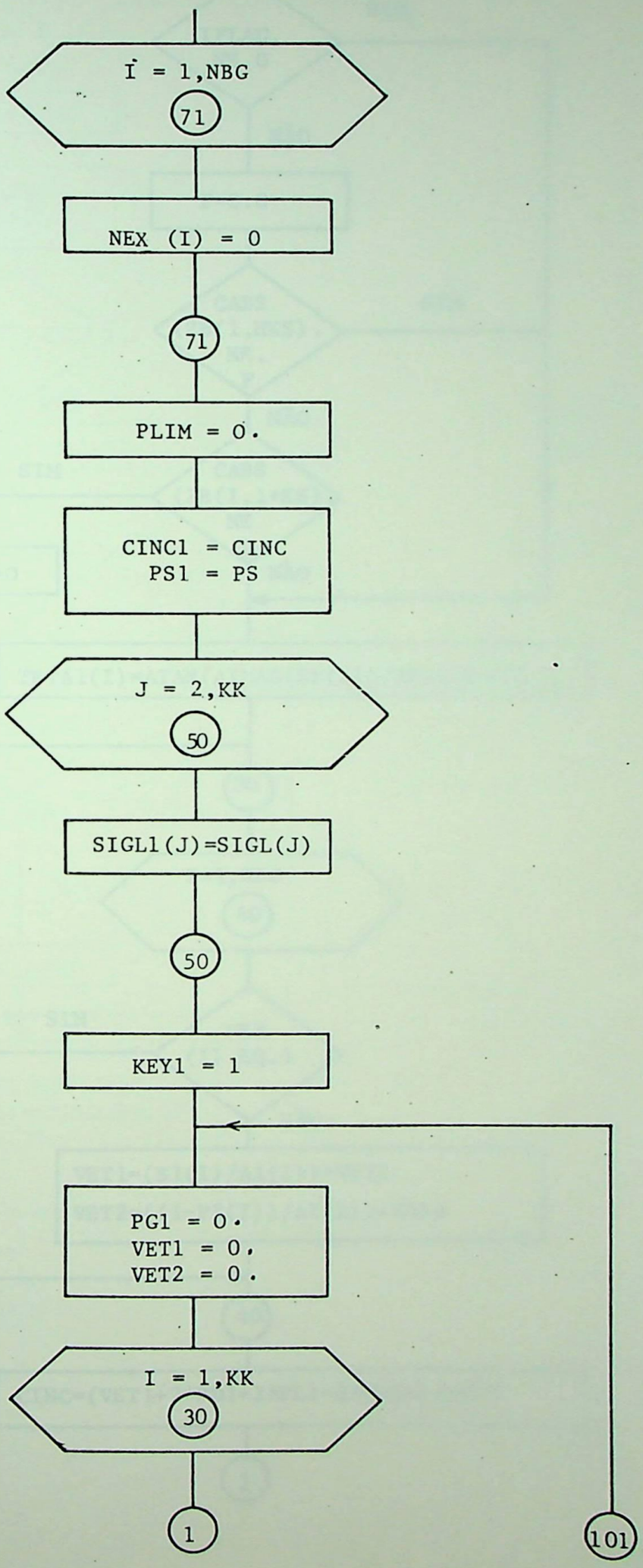
Através da metodologia apresentada no Apêndice VI, os valores de ALFA e BETA são atualizados dentro de REDEC e, em seguida, a perda incremental de transmissão com o emprego de sub-rotina VETPI.

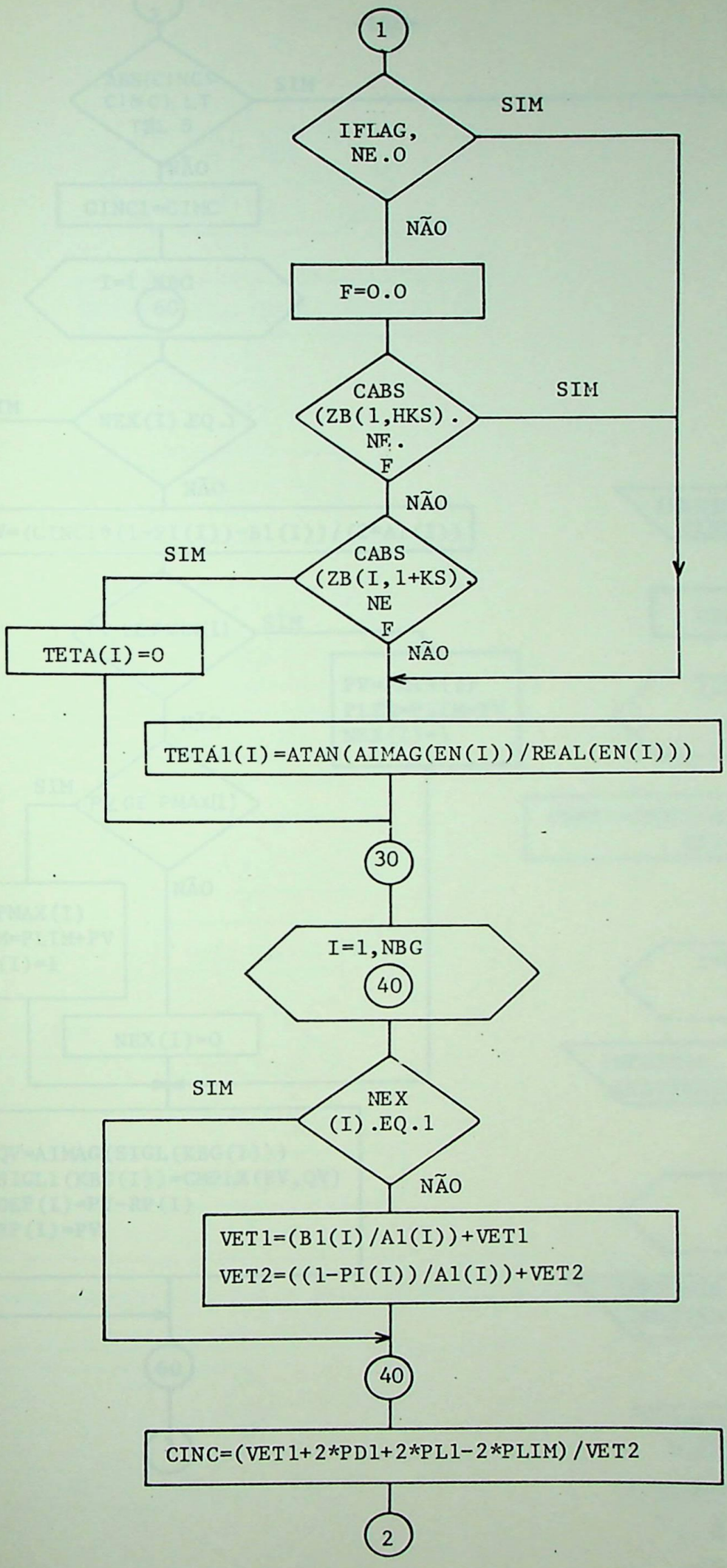
Após a atualização de todos esses valores, da mesma forma que apresentada em DESPB, uma nova iteração é re-iniciada. Quando ocorrer a convergência do valor de custo incremental do sistema, o processo iterativo terminou, passando-se ao cálculo do custo total horário de geração (CTØT1) e à impressão dos resultados.

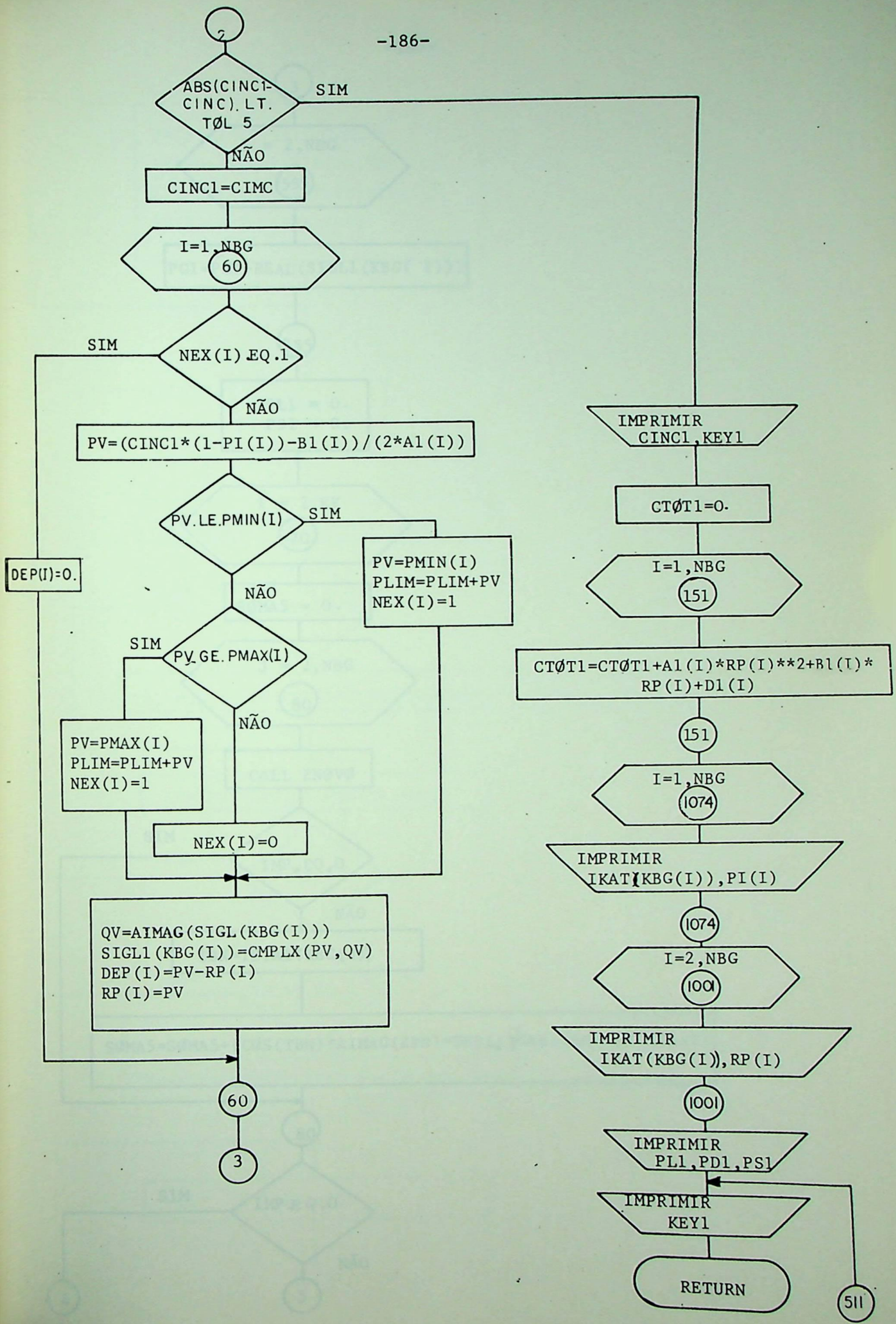
Caso não ocorra a convergência após um número máximo especificado de iterações, o programa é interrompido, imprimindo-se a informação de "NÃO CONVERGÊNCIA" .

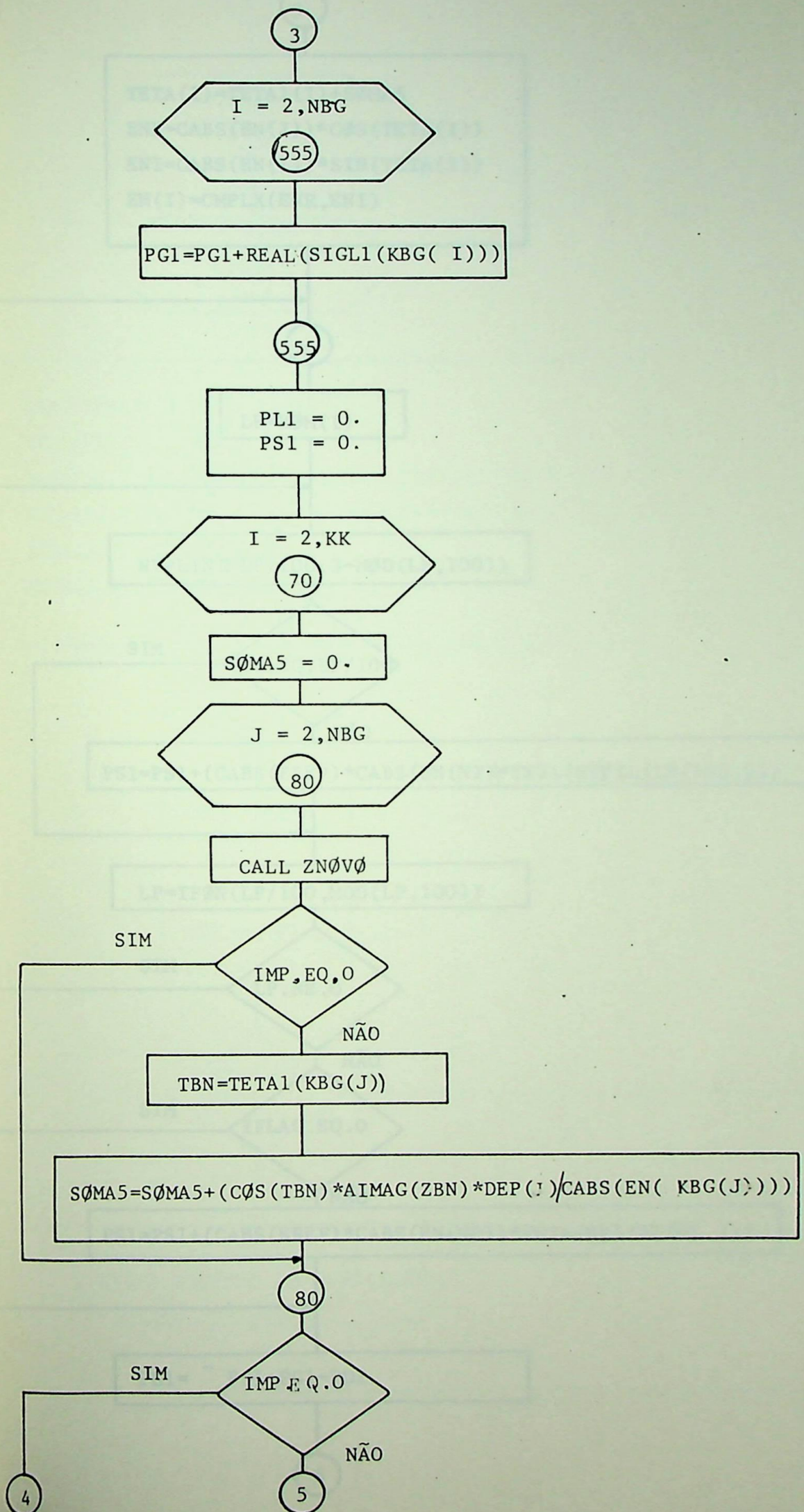
Para as barras bloqueadas, é adotada em REDEC a mesma metodologia considerada em DESPB.

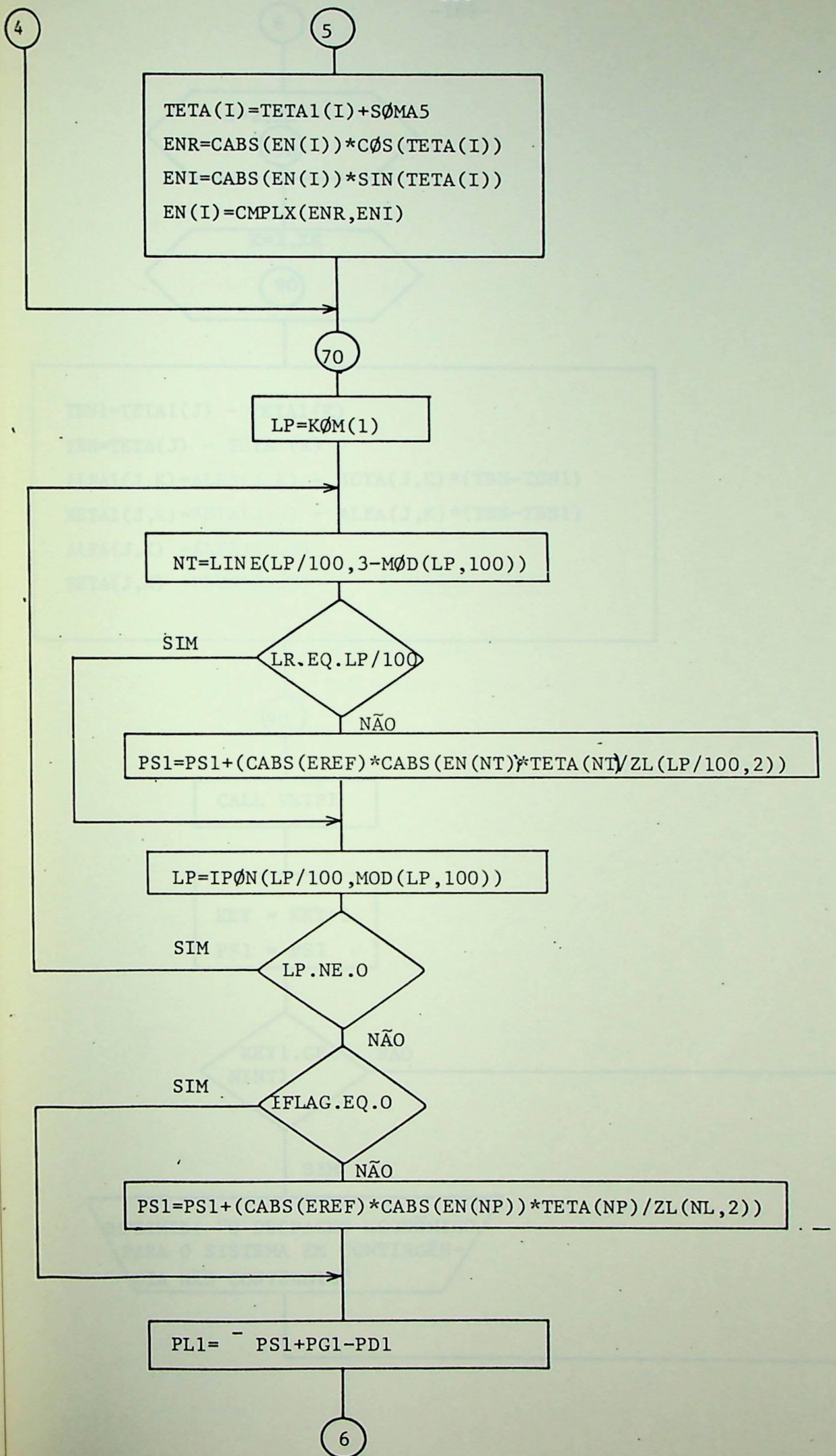
UTINE REDEC(KK,KS,KR,KC,EN,B1,A1,PI,PD1,PL1,CINC,TØL5,SIGL,NBG,KBG,RP,ZB,EREF,ZL,IPØN,
IKAT,ALFA,BETA,LINE,ITB,ITAK,LR,KØM,IFLAG,NP,NC,NL,PS,NINT1,D1,SBASE,PMIN,
PMAX)

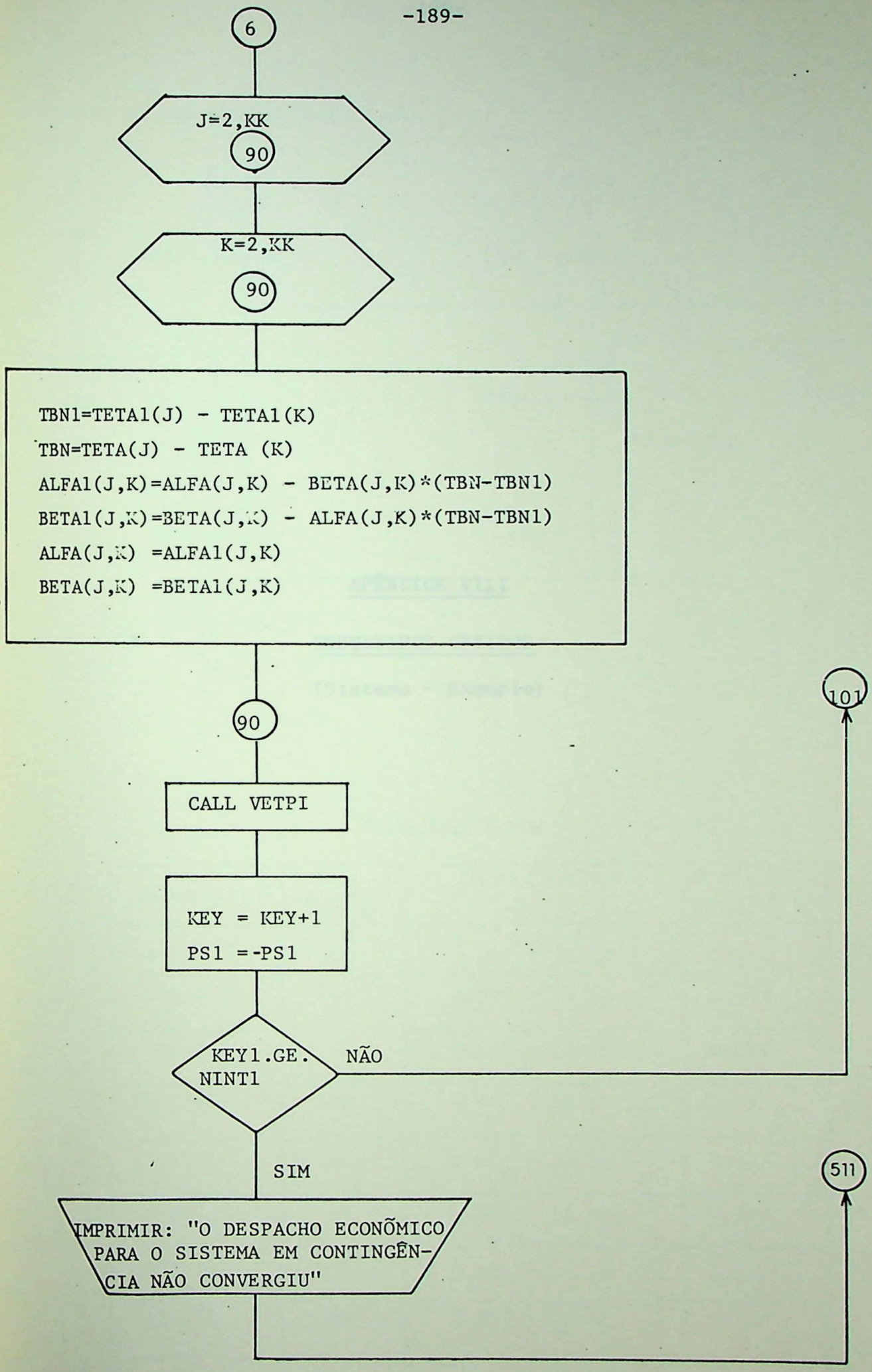



1
IFLAG, NE.0
SIM
NÃO
F=0.0
CABS (ZB(1,HKS). NE. F
SIM
NÃO
CABS (ZB(I,1+KS). NE F
SIM
TETA(I)=0
NÃO
TETA1(I)=ATAN(AIMAG(EN(I))/REAL(EN(I)))
30
I=1,NBG
40
NEX (I).EQ.1
SIM
NÃO
VET1=(B1(I)/A1(I))+VET1
VET2=((1-PI(I))/A1(I))+VET2
40
CINC=(VET1+2*PD1+2*PL1-2*PLIM)/VET2
2


2
ABS(CINC1-CINC).LT.TØL 5
SIM
NÃO
CINC1=CIMC
I=1,NBG
60
NEX(I).EQ.1
SIM
NÃO
PV=(CINC1*(1-PI(I))-B1(I))/(2*A1(I))
PV.LE.PMIN(I)
SIM
PV=PMIN(I)
PLIM=PLIM+PV
NEX(I)=1
DEP(I)=0.
NÃO
PV.GE.PMAX(I)
SIM
PV=PMAX(I)
PLIM=PLIM+PV
NEX(I)=1
NÃO
NEX(I)=0
QV=AIMAG(SIGL(KBG(I)))
SIGL1(KBG(I))=CMPLX(PV,QV)
DEP(I)=PV-RP(I)
RP(I)=PV
60
3
IMPRIMIR CINC1,KEY1
CTØT1=0.
I=1,NBG
151
CTØT1=CTØT1+A1(I)*RP(I)**2+B1(I)*RP(I)+D1(I)
151
I=1,NBG
1074
IMPRIMIR IKAT(KBG(I)),PI(I)
1074
I=2,NBG
1001
IMPRIMIR IKAT(KBG(I)),RP(I)
1001
IMPRIMIR PL1,PD1,PS1
IMPRIMIR KEY1
RETURN
511


3
I = 2,NBG
555
PG1=PG1+REAL(SIGL1(KBG(I)))
555
PL1 = 0.
PS1 = 0.
I = 2,KK
70
SØMA5 = 0.
J = 2,NBG
80
CALL ZNØVØ
SIM
IMP,EQ,0
NÃO
TBN=TETA1(KBG(J))
SØMA5=SØMA5+(CØS(TBN)*AIMAG(ZBN)*DEP(I)/CABS(EN(KBG(J))))
80
SIM
IMP.EQ.0
NÃO
4
5


4
5
TETA(I)=TETA1(I)+SØMA5
ENR=CABS(EN(I))*CØS(TETA(I))
ENI=CABS(EN(I))*SIN(TETA(I))
EN(I)=CMPLX(ENR,ENI)
70
LP=KØM(1)
NT=LINE(LP/100,3-MØD(LP,100))
SIM
LR.EQ.LP/100
NÃO
PS1=PS1+(CABS(EREF)*CABS(EN(NT))*TETA(NT)/ZL(LP/100,2))
LP=IPØN(LP/100,MOD(LP,100))
SIM
LP.NE.O
NÃO
SIM
IFLAG.EQ.O
NÃO
PS1=PS1+(CABS(EREF)*CABS(EN(NP))*TETA(NP)/ZL(NL,2))
PL1= - PS1+PG1-PD1
6


6
J=2,KK
90
K=2,KK
90
TBN1=TETA1(J) - TETA1(K)
TBN=TETA(J) - TETA (K)
ALFA1(J,K)=ALFA(J,K) - BETA(J,K)*(TBN-TBN1)
BETA1(J,K)=BETA(J,K) - ALFA(J,K)*(TBN-TBN1)
ALFA(J,K) =ALFA1(J,K)
BETA(J,K) =BETA1(J,K)
90
CALL VETPI
KEY = KEY+1
PS1 =-PS1
KEY1.GE. NINT1
NÃO
101
SIM
IMPRIMIR: "O DESPACHO ECONÔMICO PARA O SISTEMA EM CONTINGÊNCIA NÃO CONVERGIU"
511

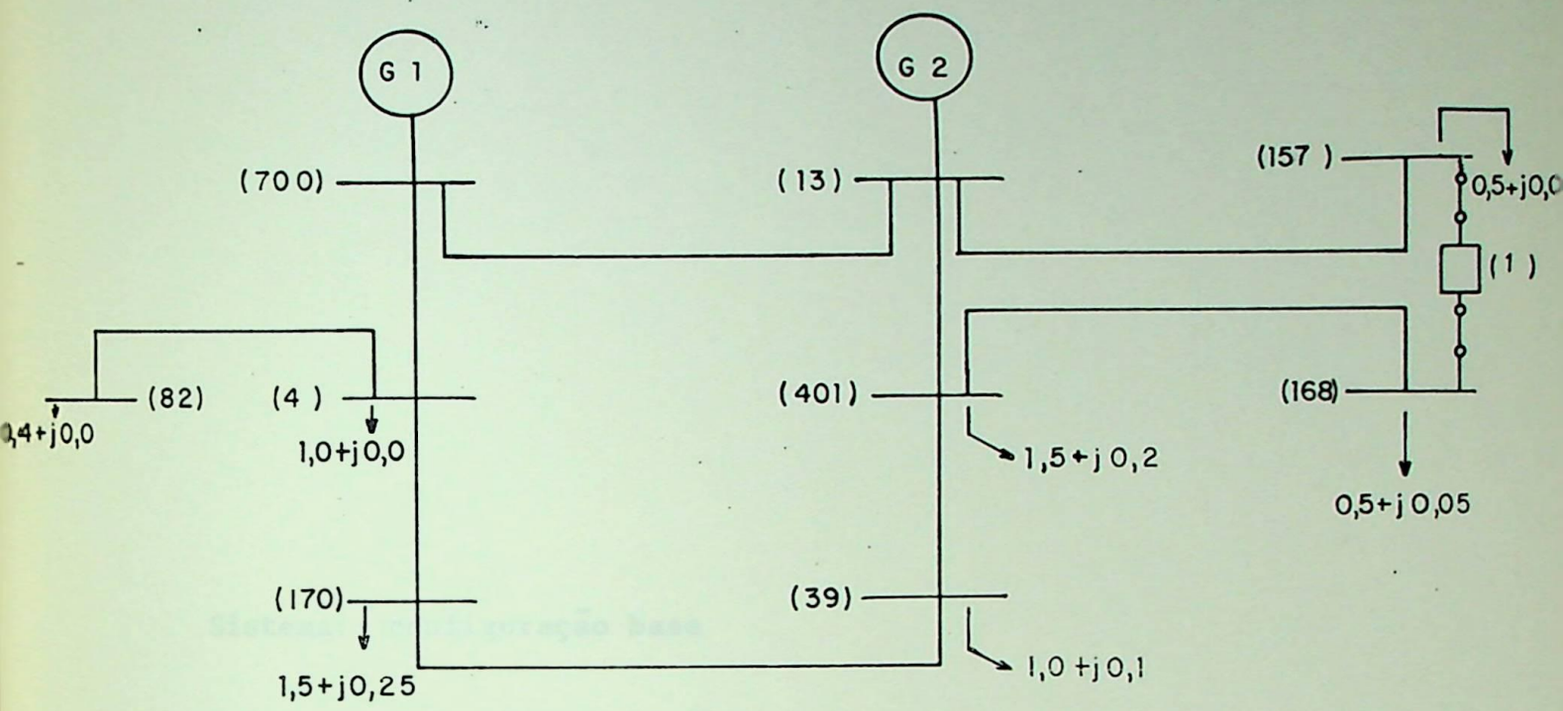
APÊNDICE VIII

RESULTADOS OBTIDOS

(Sistema - Exemplo)

Exemplo de Cálculo:

Seja o sistema na sua configuração base.



Dados das linhas:

LINHA	EXTENSÃO (milhas)	IMPEDÂNCIA r + j x (p.u.)	ADMITÂNCIA SHUNT (p.u)
4-170	50	0.007 + j0.07	0.075
700-4	50	0.007 + j0.07	0.075
401-39	50	0.007 + j0.07	0.075
170-39	100	0.014 + j0.14	0.15
13-157	100	0.014 + j0.14	0.15
4-82	50	0.007 + j0.07	0.075
401-168	100	0.014 + j0.14	0.15
13-401	50	0.007 + j0.07	0.075
13-700	100	0.014 + j0.14	0.15

OBS.:

1) disjuntor de acoplamento nº 1 na posição "fechado".

2) barra 700-"swing", barra 13-P-V.

Sistema: configuração base

Faixas de Operação Permissível:

Gerador 700: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

Gerador 13: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

POTENCIA BASE DO SISTEMA = 100.0 MVA

NO DE REFERENCIA PARA MONTAGEM DA
MATRIZ DE IMPEDANCIAS NODAIS ZB+ : 700

PARAMETROS DOS RAMOS
****

DE	PARA	IMPEDANCIA DE SEQUENCIA POSITIVA RESISTENCIA	REATANCIA	ADMITANCIA SHUNT
4	170	0.00700	0.07000	0.07500
13	700	0.01400	0.14000	0.15000
700	4	0.00700	0.07000	0.07500
170	39	0.01400	0.14000	0.15000
401	39	0.00700	0.07000	0.07500
13	157	0.01400	0.14000	0.15000
82	4	0.00700	0.07000	0.07500
401	168	0.01400	0.14000	0.15000
13	401	0.00700	0.07000	0.07500

NUMERO DE DISJUNTOR (NDSJ)	BARRA	BARRA
1	168	157

DADOS DE ENTRADA DE BARRA
****

BARRA	TIPO DE BARRA 0 SWING 1 GERACAO 2 CARGA	P ESPECIF.	Q ESPECIF. OU Q MIN.	Q MAX.	V ESPECIF. (MODULO)
700	0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	1	3.00000	-0.50000	1.00000	1.05000
4	2	-1.00000	0.0	0.0	0.0
97	2	-0.40000	0.0	0.0	0.0
170	2	-1.50000	-0.25000	0.0	0.0
401	2	-1.50000	-0.20000	0.0	0.0
39	2	-1.00000	-0.10000	0.0	0.0
157	2	-0.50000	-0.05000	0.0	0.0
168	2	-0.50000	-0.05000	0.0	0.0

TENSAO ESPECIFICADA NA BARRA DE REFERENCIA
MODULO (EM PU) = 1.05000
FASE (EM GRAUS) = 0.0

****
* MATRIZ Z-BAPRA *
* *
* (SISTEMA BASE) *
****

BARRAS		REAL	IMAGINARIO
4	4	0.00610	0.06103
170	4	0.00521	0.05205
13	4	0.00179	0.01795
39	4	0.00341	0.03410
401	4	0.00251	0.02513
157	4	0.00215	0.02154
82	4	0.00610	0.06103
168	4	0.00215	0.02154
170	170	0.01041	0.10410
13	170	0.00359	0.03590
39	170	0.00682	0.06821
401	170	0.00503	0.05026
157	170	0.00431	0.04308
82	170	0.00521	0.05205
168	170	0.00431	0.04308
13	13	0.01041	0.10410
39	13	0.00718	0.07179
401	13	0.00897	0.08974
157	13	0.00969	0.09692
82	13	0.00179	0.01795
168	13	0.00969	0.09692
39	39	0.01364	0.13641
401	39	0.01005	0.10051
157	39	0.00862	0.08615

82	39	0.00341	0.03410
168	39	0.00862	0.08615
401	401	0.01256	0.12564
157	401	0.01077	0.10769
82	401	0.00251	0.02513
168	401	0.01077	0.10769
157	157	0.01723	0.17231
82	157	0.00215	0.02154
168	157	0.01723	0.17231
82	82	0.01310	0.13103
168	82	0.00215	0.02154
168	168	0.01723	0.17231

****
* CASO BASE *
****

NUMERO DE ITERACOES = 6
TOLERANCIA = 0.00010

FLUXO DE CARGA :

TENSAO NA BARRA			FLUXO DE POTENCIA NA LINHA		
DA BARRA	MODULO (PU)	FASE (GRAUS)	PARA BARRA	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
700	1.05000	0.0	13	0.56408	-0.20129
			4	2.97429	0.26540
4	1.02586	-11.013	170	1.51625	0.00478
			700	-2.91735	0.14235
			82	0.40112	-0.14713
170	1.01503	-15.831	4	-1.50091	-0.00759
			39	0.00102	-0.24217
13	1.05000	-4.134	700	-0.56003	-0.08389
			157	1.12295	-0.15577
			401	2.43681	0.12017
39	1.02710	-16.906	170	-0.00091	-0.06957
			401	-0.99922	-0.03058
401	1.03287	-13.107	39	1.00586	-0.06214
			168	-0.10681	-0.23460
			13	-2.39884	0.09677
157	1.04451	-12.368	13	-1.10694	-0.01311
82	1.02815	-12.564	4	-0.40002	-0.00007
168	1.04451	-12.368	401	0.10703	-0.03685

BARRA	POTENCIA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)	POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (QC) (PU)
700	3.53837	0.06411	3.53837	0.31217
4	-1.00000	0.0	-1.00000	0.23679
170	-1.50000	-0.25000	-1.50000	-0.01819
13	3.00000	-0.12443.	3.00000	0.28900
39	-1.00000	-0.10000	-1.00000	0.13736
401	-1.50000	-0.20000	-1.50000	0.12005
157	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11365
82	-0.40000	0.00000	-0.40000	0.07928
168	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11365

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 0.13837 PU

CARGA ATIVA TOTAL = 6.40000 PU

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (PU/PU) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.01422

*** DESPACHO ECONOMICO ***

IDENTIFICACAO NUMERO	BARRA	COEFICIENTES DOS POLINOMIOS QUADRAT. (US$/PU**2)	LINEAR (US$/PU)	INDEP. (US$)	FAIXA DE OPERACAO PERMISSIVEL POT. MIN. (PU)	POT. MAX. (PU)
GER 2	13	2.40000	-2.20000	0.80000	0.0	4.00000
GER 1	700	2.40000	-2.00000	0.65000	0.0	4.00000

NUMERO DE ITERACOES = 20
TOLERANCIA = 0.00001

PERIODO DE VALIDADE : 19 A 20 HORAS

DESPACHO OTIMO (CASO BASE) :

CUSTO INCREMENTAL DO SISTEMA : 0.13526 US$/MW.H

CUSTO DE GERACAO DO SISTEMA : 38.96889 US$/HORA

NUMERO DE ITERACOES = 6
TOLERANCIA = 0.00010

FLUXO DE CARGA :

TENSAO NA BARRA			FLUXO DE POTENCIA NA LINHA		
DA BARRA	MODULO (PU)	FASE (GRAUS)	PARA BARRA	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
700	1.05000	0.0	13	0.33650	-0.19172
			4	2.89804	0.23759
4	1.02725	-10.719	170	1.44297	0.00726
			700	-2.84407	0.14034
			82	0.40113	-0.14759
170	1.01624	-16.238	4	-1.42911	-0.02525
			39	-0.07078	-0.22453
13	1.05000	-2.468	700	-0.33506	-0.12457
			157	1.13825	-0.15143
			401	2.49677	0.13291
39	1.02685	-15.748	170	0.07092	-0.03720
			401	-1.07103	-0.01293
401	1.03226	-11.667	39	1.07867	-0.06963
			168	-0.12161	-0.23360
			13	-2.45689	0.10324
157	1.04403	-10.816	13	-1.12179	-0.01290
82	1.02956	-12.267	4	-0.40003	-0.00007
168	1.04403	-10.817	401	0.12188	-0.08707

BARRA	POTENCIA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)	POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (QC) (PU)
700	3.23455	0.04588	3.23455	0.29394
4	-1.00000	0.00000	-1.00000	0.23743
170	-1.50000	-0.25000	-1.50000	-0.01763
13	3.30019	-0.14305	3.30019	0.27039
39	-1.00000	-0.10000	-1.00000	0.13724
401	-1.50000	-0.20000	-1.50000	0.11967
157	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11350
82	-0.40000	0.00000	-0.40000	0.07950
168	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11350

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 13.474 MW CARGA ATIVA TOTAL = 640.000 MW

POTENCIA ATIVA GERADA NA BARRA SWING = 323.455 MW

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (DESPACHO OTIMO) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0 MW/MW

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.00851 MW/MW

REGULAGEM OTIMA DAS POTENCIAS ATIVAS NAS BARRAS DE GERACAO CONTROLAVEL :

GERADOR DA BARRA 13 : 330.019 MW

NUMERO DE ITERACOES PARA CALCULO DO DESPACHO ECONOMICO = 4

Contingência: adição da 2ª LT 700-4 (fecha-malha)

Faixas de Operação Permissível:

Gerador 700: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

Gerador 13: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

CONTINGÊNCIA : ADIÇÃO DE LINHA FECHA-MALHA

LINHA		IMPEDANCIA		ADMITANCIA SHUNT
		R	X	YSHC
700	4	0.007	0.070	0.075

MATRIZ Z-BARRA

(SISTEMA EM CONTINGENCIA)

BARRAS		REAL	IMAGINARIO
4	4	0.00326	0.03260
170	4	0.00278	0.02781
13	4	0.00096	0.00959
39	4	0.00182	0.01822
401	4	0.00134	0.01342
157	4	0.00115	0.01151
82	4	0.00326	0.03260
168	4	0.00115	0.01151
170	170	0.00834	0.08342
13	170	0.00288	0.02877
39	170	0.00547	0.05466
401	170	0.00403	0.04027
157	170	0.00345	0.03452
82	170	0.00278	0.02781
168	170	0.00345	0.03452
13	13	0.01016	0.10164
39	13	0.00671	0.06712
401	13	0.00863	0.08630
157	13	0.00940	0.09397
82	13	0.00096	0.00959
168	13	0.00940	0.09397
39	39	0.01275	0.12753
401	39	0.00940	0.09397
157	39	0.00805	0.08055
82	39	0.01822	0.01822
168	39	0.00805	0.08055

401	401	0.01208	0.12082
157	401	0.01036	0.10356
82	401	0.00134	0.01342
168	401	0.01036	0.10356
157	157	0.01688	0.16877
82	157	0.00115	0.01151
168	157	0.01688	0.16877
82	82	0.01026	0.10260
168	82	0.00115	0.01151
168	168	0.01688	0.16877

SISTEMA EM CONTINGENCIA
****

BARRA	TENSAO		POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA	
	MODULO (PU)	FASE (GRAU)	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
4	1.03332	-5.069	-1.000	0.237
170	1.01348	-11.859	-1.500	-0.018
13	1.05000	-1.034	3.300	0.270
39	1.02480	-12.910	-1.000	0.137
401	1.03316	-9.589	-1.500	0.120
157	1.04519	-9.057	-0.500	0.113
82	1.03318	-7.215	-0.400	0.079
168	1.04519	-9.057	-0.500	0.113

POTENCIA ATIVA GERADA (PU)		CARGA ATIVA TOTAL (PU)	PERDAS ATIVAS TOTAIS (PU)
BARRA SWING	BARRAS P-V		
3.22058	3.30019	6.40000	0.12077

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (PU/PU) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.00256

DESPACHO OTIMO (SISTEMA EM CONTINGENCIA) :

CUSTO INCREMENTAL DO SISTEMA : 0.13499 US$/Mw.H

CUSTO DE GERACAO DO SISTEMA : 38.64015 US$/HORA

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (DESPACHO OTIMO) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 7CC = 0.0 Mw/MW

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.00387 Mw/Mw

REGULAGEM OTIMA DAS POTENCIAS ATIVAS NAS BARRAS DE GERACAO CONTROLAVEL :

GERADOR DA BARRA 13 : 328.157 Mw

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 11.051 Mw CARGA ATIVA TOTAL = 640.000 Mw

POTENCIA ATIVA GERADA NA BARRA SWING = 322.894 Mw

NUMERO DE ITERACOES PARA CALCULO DO DESPACHO ECONOMICO = 4

Sistema Base: inclui a 2ª LT 700-4

Faixas de Operação Permissível:

Gerador 700: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

Gerador 13: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

POTÊNCIA BASE DO SISTEMA = 100.0 MVA

NO DE REFERÊNCIA PARA MONTAGEM DA
MATRIZ DE IMPEDÂNCIAS NODAIS ZBR : 700

PARAMETROS DOS RAMOS
****

DE	PARA	IMPEDÂNCIA DE SEQUÊNCIA POSITIVA RESISTÊNCIA	REATÂNCIA	ADMITÂNCIA SHUNT
4	170	0.00700	0.07000	0.07500
13	700	0.01400	0.14000	0.15000
170	39	0.01400	0.14000	0.15000
700	4	0.00700	0.07000	0.07500
401	39	0.00700	0.07000	0.07500
13	157	0.01400	0.14000	0.15000
700	4	0.00700	0.07000	0.07500
82	4	0.00700	0.07000	0.07500
401	168	0.01400	0.14000	0.15000
13	401	0.00700	0.07000	0.07500

Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ

NUMERO DO DISJUNTOR (NDSJ)	BARRA	BARRA
1	168	157

DADOS DE ENTRADA DE BARRA
****

BARRA	TIPO DE BARRA 0 SWING 1 GERACAO 2 CARGA	P ESPECIF.	Q ESPECIF. OU Q MIN.	Q MAX.	V ESPECIF. (MODULO)
700	0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	1	3.00000	-0.50000	1.00000	1.05000
4	2	-1.00000	0.0	0.0	0.0
82	2	-0.40000	0.0	0.0	0.0
170	2	-1.50000	-0.25000	0.0	0.0
401	2	-1.00000	-0.20000	0.0	0.0
39	2	-1.00000	-0.10000	0.0	0.0
157	2	-0.50000	-0.05000	0.0	0.0
168	2	-0.90000	-0.05000	0.0	0.0

TENSAO ESPECIFICADA NA BARRA DE REFERENCIA
MODULO (EM PU) = 1.05000
FASE (EM GRAUS) = 0.0

****
* MATRIZ Z-BARRA *
* *
* (SISTEMA BASE) *
****

BARRAS		REAL	IMAGINARIO
4	4	0.00326	0.03260
170	4	0.00278	0.02781
13	4	0.00096	0.00959
39	4	0.00182	0.01822
401	4	0.00134	0.01342
157	4	0.00115	0.01151
82	4	0.00326	0.03260
168	4	0.00115	0.01151
170	170	0.00834	0.08342
13	170	0.00288	0.02877
39	170	0.00547	0.05466
401	170	0.00403	0.04027
157	170	0.00345	0.03452
82	170	0.00278	0.02781
168	170	0.00345	0.03452
13	13	0.01016	0.10164
39	13	0.00071	0.00712
401	13	0.00063	0.00630
157	13	0.00040	0.00357
82	13	0.00096	0.00959
168	13	0.00040	0.00357
39	39	0.01275	0.12753
401	39	0.00940	0.09357
157	39	0.00805	0.08053

82	39	0.00182	0.01822
168	39	0.00805	0.08055
401	401	0.01208	0.12082
157	401	0.01036	0.10356
82	401	0.00134	0.01342
168	401	0.01036	0.10356
157	157	0.01688	0.16877
82	157	0.00115	0.01151
168	157	0.01688	0.16877
82	82	0.01026	0.10260
168	82	0.00115	0.01151
168	168	0.01688	0.16877

****
* CASO BASE *
****

NUMERO DE ITERACOES = 6
TOLERANCIA = 0.00010

FLUXO DE CARGA :

DA BARRA	TENSAO NA BARRA MODULO (PU)	FASE (GRAUS)	PARA BARRA	FLUXO DE POTENCIA NA LINHA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
700	1.05000	0.0	13	0.34522	-0.19220
			4	1.58034	-0.05523
			4	1.58034	-0.05523
4	1.04245	-5.786	170	1.72732	0.05572
			700	-1.58444	0.04958
			700	-1.58444	0.04958
			82	0.40103	-0.15284
170	1.02373	-12.210	4	-1.70656	-0.02135
			56	0.20554	-0.22856
13	1.05000	-2.532	700	-0.34370	-0.12332
			157	1.07840	-0.13158
			401	2.26520	0.05232
39	1.03540	-13.855	170	-0.26800	-0.10472
			401	-0.47720	-0.01554
401	1.03816	-10.455	39	0.76017	-0.10475
			100	-0.06530	-0.22601
			13	-2.42354	0.13079
157	1.04772	-10.452	13	-1.06365	-0.00075
82	1.04540	-7.265	4	-0.40031	-0.00005

168	1.04772	-10.452	401	0.06367	-0.09925

BARRA	POTENCIA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)	POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (QCI) (PU)
700	3.50591	-0.39266	3.50591	0.02809
4	-1.00000	0.00000	-1.00000	0.32632
170	-1.50000	-0.25000	-1.50000	-0.01189
13	3.00000	-0.27257	3.00000	0.14037
39	-1.00000	-0.10000	-1.00000	0.14140
401	-1.50000	-0.20000	-1.50000	0.12353
157	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11466
82	-0.40000	0.00000	-0.40000	0.05196
168	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11466

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 0.10591 PU CARGA ATIVA TOTAL = 3.40000 PU

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (PU/PU) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.00873

Eletrobrás

*** DESPACHO ECONOMICO ***

IDENTIFICACAO NUMERO	BARRA	COEFICIENTES DOS POLINOMIOS COUADRAT. (US$/PU**2)	LINEAR (US$/PU)	INDEP. (US$)	FAIXA DE OPERACAO PERMISSIVEL POT. MIN. (PU)	POT. MAX. (PU)
GER 2	13	2.40000	-2.20000	0.80000	0.0	4.00000
GER 1	700	2.40000	-2.00000	0.65000	0.0	4.00000

NUMERO DE ITERACOES = 20
TOLERANCIA = 0.00001

PERIODO DE VALIDADE : 19 A 20 HORAS

Eletrobrás

DESPACHO OTIMO (CASO BASE) :

CUSTO INCREMENTAL DO SISTEMA : 0.13486 US$/Mw.H

CUSTO DE GERACAO DO SISTEMA : 38.55360 US$/HORA

NUMERO DE ITERACOES = 6
TOLERANCIA = 0.00010

FLUXO DE CARGA :

	TENSAO NA BARRA		FLUXO DE POTENCIA NA LINHA		
DA BARRA	MODULO (PU)	FASE (GRAUS)	PARA BARRA	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
700	1.05000	0.0	13	0.14163	-0.17624
			4	1.54228	-0.06456
			4	1.54228	-0.06498
4	1.04360	-5.648	170	1.05331	0.04974
			700	-1.52717	0.05166
			700	-1.52717	0.05166
			82	0.40108	-0.15306
170	1.02359	-11.782	4	-1.05553	-0.05413
			39	0.13568	-0.21577
13	1.05000	-1.040	700	-0.14163	-0.14594
			157	1.04573	-0.17781
			401	2.52548	0.04269
39	1.03554	-12.645	170	-0.13540	-0.10127
			401	-0.86469	0.00121
401	1.03755	-9.586	39	0.86957	-0.11318
			166	-0.07646	-0.22457
			13	-2.29109	0.13807
157	1.04750	-9.053	13	-1.07656	-0.05015
82	1.[illegible]	-7.148	4	-0.40002	-0.03003
166	1.04753	-9.[illegible]	401	0.07659	-0.03984

BARRA	POTENCIA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	 POT. REATIVA (PU)	POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	 POT. REATIVA (GC) (PU)
700	3.22619	-0.30820	3.22619	0.02255
4	-1.00000	0.00000	-1.00000	0.32673
170	-1.50000	-0.25000	-1.50000	-0.01149
13	3.27794	-0.28490	3.27794	0.12853
39	-1.00000	-0.10000	-1.00000	0.14133
401	-1.50000	-0.20000	-1.50000	0.12301
157	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11453
82	-0.40000	0.00000	-0.40000	0.08207
168	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11453

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 10.414 MW CARGA ATIVA TOTAL = 640.000 MW

POTENCIA ATIVA GERADA NA BARRA SWING = 322.619 MW

. PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (DESPACHO OTIMO) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0 MW/MW

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.00359 MW/MW

REGULAGEM OTIMA DAS POTENCIAS ATIVAS NAS BARRAS DE GERACAO CONTROLAVEL :

GERADOR DA BARRA 13 : 327.794 MW

NUMERO DE ITERACOES PARA CALCULO DO DESPACHO ECONOMICO = 4

Eletrobrás

Contingência: abertura do disj.de acopl. nº 1

Faixas de Operação Permissível:

Gerador 700: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

Gerador 13: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

CONTINGENCIA : ABERTURA DE DISJUNTOR

NUMERO DO DISJUNTOR	BARRA	BARRA
1	168	157

****
* MATRIZ Z-BARRA *
* *
* (SISTEMA EM CONTINGENCIA) *
****

BARRAS		REAL	IMAGINARIO
4	4	C.C0612	0.06125
170	4	C.C0525	0.05250
13	4	0.C0175	0.01750
39	4	0.C0350	0.03500
401	4	0.00262	0.02625
157	4	C.C0175	0.01750
32	4	0.00612	0.06125
108	4	C.C0262	0.02625
170	170	0.01050	0.10500
13	170	C.C0350	0.03500
39	170	0.C0700	0.07000
401	170	C.C0525	0.05250
157	170	0.C0350	0.03500
32	170	0.C0525	0.05250
108	170	0.C0525	0.05250
13	13	C.C1050	0.10500
39	13	C.C0700	0.07000
401	13	0.C0375	0.03750
157	13	C.C1050	0.10500
32	13	C.C0175	0.01750
108	13	0.C0375	0.03750
39	39	C.C1400	0.14000
401	39	C.C1050	0.10500
157	39	C.C0700	0.07000
32	39	C.C0350	0.03500
108	39	C.C1050	0.10500

401	401	0.01312	0.13125
157	401	0.00875	0.08750
82	401	0.00262	0.02625
166	401	0.01312	0.13125
157	157	0.02450	0.24500
82	157	0.00175	0.01750
166	157	0.00875	0.08750
82	82	0.01312	0.13125
166	82	0.00262	0.02625
166	166	0.02713	0.27125

SISTEMA EM CONTINGENCIA

BARRA	TENSAO		POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA	
	MODULO (PU)	FASE (GRAU)	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
4	1.02704	-11.012	-1.000	0.237
170	1.01666	-10.829	-1.500	-0.018
13	1.05000	-1.906	3.300	0.270
39	1.02803	-10.916	-1.000	0.137
401	1.03192	-13.123	-1.500	0.120
157	1.03265	-5.670	-0.500	0.116
82	1.02949	-12.559	-0.400	0.079
168	1.04542	-10.362	-0.500	0.113

POTENCIA ATIVA GERADA (PU)		CARGA ATIVA TOTAL (PU)	PERDAS ATIVAS TOTAIS (PU)
BARRA SWING	BARRAS P-V		
3.26569	3.30019	6.40000	0.16568

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (PU/PU) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.00618

DESPACHO OTIMO (SISTEMA EM CONTINGENCIA) :

CUSTO INCREMENTAL DO SISTEMA : 0.13513 US$/Mw.H

CUSTO DE GERACAO DO SISTEMA : 38.81823 US$/HORA

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (DESPACHO OTIMO) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0 Mw/Mw

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.00654 Mw/Mw

REGULAGEM OTIMA DAS POTENCIAS ATIVAS NAS BARRAS DE GERACAO CONTROLAVEL :

GERADOR DA BARRA 13 : 325.147 Mw

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 12.849 Mw CARGA ATIVA TOTAL = 640.000 Mw

POTENCIA ATIVA GERADA NA BARRA SWING = 328.196 Mw

NUMERO DE ITERACOES PARA CALCULO DO DESPACHO ECONOMICO = 5

Sistema Base: considera o disj.de acopl. nº 1 aberto

Faixas de Operação Permissível:

Gerador 700: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

Gerador 13: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

POTENCIA BASE DO SISTEMA = 100.0 MVA

NO DE REFERÊNCIA PARA EQUILÍBRIO DA
POTÊNCIA DE FREQÜÊNCIAS NOMINAIS 60.0 = 700

PARÂMETROS DOS RAMOS

DE	PARA	IMPEDÂNCIA DE SEQÜÊNCIA POSITIVA RESISTÊNCIA	REATÂNCIA	ADMITÂNCIA SHUNT
4	170	0.00700	0.07000	0.07500
13	700	0.01400	0.14000	0.15000
170	33	0.01400	0.14000	0.15000
401	33	0.00700	0.07000	0.07500
13	157	0.01400	0.14000	0.15000
700	4	0.00700	0.07000	0.07500
32	4	0.00700	0.07000	0.07500
401	168	0.01400	0.14000	0.15000
13	401	0.00700	0.07000	0.07500

NUMERO DO DESLIGATOR (NDES) BARRA BARRA

DADOS DE ENTRADA DE BARRA
****

BARRA	TIPO DE BARRA 0 SWING 1 GERACAO 2 CARGA	P ESPECIF.	Q ESPECIF. OU Q MIN.	Q MAX.	V ESPECIF. (MODULO)
700	0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	1	3.50000	-0.50000	1.00000	1.05000
4	2	-1.00000	0.0	0.0	0.0
22	2	-0.40000	0.0	0.0	0.0
170	2	-1.50000	-0.25000	0.0	0.0
401	2	-1.50000	-0.20000	0.0	0.0
39	2	-1.00000	-0.10000	0.0	0.0
157	2	-0.50000	-0.05000	0.0	0.0
168	2	-0.50000	-0.05000	0.0	0.0

TENSAO ESPECIFICADA NA BARRA DE REFERENCIA
MODULO (EM PU) = 1.05000
FASE (EM GRAUS) = 0.0

****
* MATRIZ Z-BARRA *
*
* (SISTEMA BASE) *
****

BARRAS		REAL	IMAGINARIO
4	4	0.00612	0.06125
170	4	0.00525	0.05250
13	4	0.00175	0.01750
39	4	0.00350	0.03500
401	4	0.00262	0.02625
157	4	0.00175	0.01750
32	4	0.00612	0.06125
168	4	0.00262	0.02625
170	170	0.01050	0.10500
13	170	0.00350	0.03500
39	170	0.00700	0.07000
401	170	0.00525	0.05250
157	170	0.00350	0.03500
32	170	0.00525	0.05250
168	170	0.00525	0.05250
13	13	0.01050	0.10500
39	13	0.00700	0.07000
401	13	0.00875	0.08750
157	13	0.01050	0.10500
32	13	0.00175	0.01750
168	13	0.00875	0.08750
39	39	0.01400	0.14000
401	39	0.01050	0.10500
157	39	0.00700	0.07000

82	39	0.00350	0.03500
168	39	0.01050	0.10500
401	401	0.01312	0.13125
157	401	0.00875	0.08750
82	401	0.00262	0.02625
168	401	0.01312	0.13125
157	157	0.02450	0.24500
82	157	0.00175	0.01750
168	157	0.00875	0.03750
82	82	0.01312	0.13125
168	82	0.00262	0.02625
168	168	0.02712	0.27125

****
*   *
* CASO BASE *
*   *
****

NUMERO DE ITERACOES = 6
TOLERANCIA = 0.00010

FLUXO DE CARGA :

	TENSAO NA BARRA			FLUXO DE POTENCIA NA LINHA	
DA BARRA	MODULO (PU)	FASE (GRAUS)	PARA BARRA	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
700	1.05000	0.0	13	0.49231	-0.19868
			4	3.06007	0.33598
4	1.02170	-11.358	170	1.59833	0.03700
			700	-2.66550	0.10872
			82	0.40104	-0.14584
170	1.00872	-17.545	4	-1.58111	-0.01940
			59	0.08116	-0.23036
13	1.05000	-3.609	700	-0.48922	-0.10084
			157	0.50216	-0.24988
			401	2.98565	0.30836
39	1.01346	-16.240	170	-0.03048	-0.07012
			401	-0.61913	-0.02407
401	1.02300	-14.679	4	0.62435	-0.07502
			168	0.50341	-0.28115
			13	-2.52208	0.10614
157	1.03679	-7.410	13	-0.49217	-0.04655
82	1.02300	-12.372	4	-0.39999	0.00001
168	1.03179	-14.679	401	-0.49999	-0.04999

BARRA	POTENCIA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	 POT. REATIVA (PU)	POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	 POT. REATIVA (CC) (PU)
700	3.55237	0.13699	3.55237	0.38505
4	-1.00000	0.0	-1.00000	0.23487
170	-1.50000	-0.25000	-1.50000	-0.02106
13	3.00000	-0.04223	3.00000	0.37121
35	-1.00000	-0.10000	-1.00000	0.13338
401	-1.50000	-0.20000	-1.50000	0.11400
157	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11751
82	-0.40000	0.00000	-0.40000	0.07864
168	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.10873

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 0.15237 PU

CARGA ATIVA TOTAL = 0.40000 PU

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (PU/PU) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.01242

*** DESPACHO ECONOMICO ***

IDENTIFICACAO NUMERO	BARRA	COEFICIENTES DOS POLINOMIOS QUADRAT. (US$/PU**2)	LINEAR (US$/PU)	INDEP. (US$)	FAIXA DE OPERACAO PERMISSIVEL POT. MIN. (PU)	POT. MAX. (PU)
GER 2	13	2.40000	-2.20000	0.80000	0.0	4.00000
GER 1	700	2.40000	-2.00000	0.65000	0.0	4.00000

NUMERO DE ITERACOES = 20
TOLERANCIA = 0.00001

PERIODO DE VALIDADE: 19 A 20 HORAS

DESPACHO OTIMO (CASO BASE) :

CUSTO INCREMENTAL DO SISTEMA : 0.13574 US$/MW.H

CUSTO DE GERACAO DO SISTEMA : 39.16650 US$/HORA

NUMERO DE ITERACOES = 6
TOLERANCIA = 0.00010

FLUXO DE CARGA :

DA BARRA	TENSAO NA BARRA MODULO (PU)	FASE (GRAUS)	PARA BARRA	FLUXO DE POTENCIA NA LINHA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
700	1.05000	0.0	13	0.25895	-0.18694
			4	2.98560	0.30714
4	1.02314	-11.069	170	1.52689	0.03895
			700	-2.92804	0.10720
			82	0.40105	-0.14031
170	1.00999	-16.960	4	-1.51121	-0.03715
			39	0.01120	-0.21265
13	1.05000	-1.900	700	-0.25809	-0.13524
			157	0.50320	-0.24987
			401	3.05951	0.32853
39	1.01811	-17.095	170	-0.01121	-0.00334
			401	-0.00999	-0.00482
401	1.02213	-13.288	39	0.00999	-0.08489
			168	0.00342	-0.25054
			13	-2.99681	0.11340
157	1.05076	-5.601	13	-0.49989	-0.04995
82	1.02542	-12.669	4	-0.39999	-0.03300
168	1.02774	-17.193	401	-0.00998	-0.00495

BARRA	POTENCIA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)	POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (QC) (PU)
700	3.24455	0.12021	3.24455	0.36827
4	-1.00000	0.0	-1.00000	0.23553
170	-1.50000	-0.25000	-1.50000	-0.02048
13	3.30474	-0.00656	3.30474	0.35698
39	-1.00000	-0.10000	-1.00000	0.13322
401	-1.00000	-0.20000	-1.50000	0.11346
157	-0.50000	-0.25000	-0.50000	0.11791
82	-0.40000	0.00000	-0.40000	0.07866
168	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.10649

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 14.929 Mw CARGA ATIVA TOTAL = 640.000 Mw

POTENCIA ATIVA GERADA NA BARRA SWING = 324.455 Mw

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (DESPACHO OTIMO) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0 Mw/Mw

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.00656 Mw/Mw

RECULAGEM OTIMA DAS POTENCIAS ATIVAS NAS BARRAS DE GERACAO CONTROLAVEL :

GERADOR DA BARRA 13 : 330.474 Mw

NUMERO DE ITERACOES PARA CALCULO DO DESPACHO ECONOMICO = 5

Contingência: remoção de LT 170-39

Faixas de Operação Permissível:

Gerador 700: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

Gerador 13: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

CONTINGENCIA : REMOCAO DE LINHA

LINHA		IMPEDANCIA		ADMITANCIA SHUNT
		R	X	YSHC
170	39	0.014	0.140	0.150

Escola Federal de Engenharia de Itajubá
Biblioteca MAUÁ

MATRIZ Z-BARRA

(SISTEMA EM CONTINGENCIA)

BARRAS		REAL	IMAGINARIO
4	4	0.00700	0.07000
170	4	0.00700	0.07000
13	4	-0.00000	0.00000
39	4	-0.00000	0.00000
401	4	-0.00000	0.00000
157	4	-0.00000	0.00000
82	4	0.00700	0.07000
168	4	-0.00000	0.00000
170	170	0.01400	0.14000
13	170	-0.00000	-0.00000
39	170	-0.00000	-0.00000
401	170	-0.00000	0.00000
157	170	-0.00000	-0.00000
82	170	0.00700	0.07000
168	170	-0.00000	-0.00000
13	13	0.01400	0.14000
39	13	0.01400	0.14000
401	13	0.01400	0.14000
157	13	0.01400	0.14000
82	13	-0.00000	0.00000
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
157	39	0.01400	0.14000
82	39	-0.00700	0.00000
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

401	401	C.C1960	0.19600
157	401	0.01680	C.16800
82	401	-0.00000	0.00000
168	401	0.01680	0.16800
157	157	C.C2240	0.22400
82	157	-0.00000	0.00000
168	157	0.02240	0.22400
82	82	0.01400	0.14000
168	82	-0.00000	0.00000
168	168	0.02240	0.22400

SISTEMA EM CONTINGENCIA
****

BARRA	TENSAO		POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA	
	MODULO (PU)	FASE (GRAU)	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
4	1.02157	-10.937	-1.000	0.237
170	1.00569	-15.740	-1.500	-0.018
13	1.05000	-2.143	3.300	0.270
39	1.04722	-14.643	-1.000	0.137
401	1.04606	-11.060	-1.500	0.120
157	1.05770	-10.312	-0.500	0.113
82	1.02368	-12.492	-0.400	0.079
168	1.05770	-10.312	-0.500	0.113

POTENCIA ATIVA GERADA (PU)		CARGA ATIVA TOTAL (PU)	PERDAS ATIVAS TOTAIS (PU)
BARRA SWING	BARRAS P-V		
3.25727	3.30019	6.40000	0.15746

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (PU/PU) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.00574

DESPACHO OTIMO (SISTEMA EM CONTINGENCIA) :

CUSTO INCREMENTAL DO SISTEMA : 0.13508 US$/MW.H

CUSTO DE GERACAO DO SISTEMA : 38.77077 US$/HORA

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (DESPACHO OTIMO) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0 MW/Mw

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.00602 MW/Mw

REGULAGEM OTIMA DAS POTENCIAS ATIVAS NAS BARRAS DE GERACAO CONTROLAVEL :

GERADOR DA BARRA 13 : 328.937 MW

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 12.015 Mw CARGA ATIVA TOTAL = 640.000 MW

POTENCIA ATIVA GERADA NA BARRA SWING = 323.078 MW

NUMERO DE ITERACOES PARA CALCULO DO DESPACHO ECONOMICO = 7

Sistema Base: não inclui a LT 170-39

Faixas de Operação Permissível:

Gerador 700: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

Gerador 13: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

POTENCIA BASE DO SISTEMA = 100.0 MVA

NO DE REFERENCIA PARA MONTAGEM DA
MATRIZ DE IMPEDANCIAS NODAIS ZBR : 700

PARAMETROS DOS RAMOS
****

DE	PARA	IMPEDANCIA DE SEQUENCIA POSITIVA RESISTENCIA	REATANCIA	ADMITANCIA SHUNT
4	170	0.00700	0.07000	0.07500
13	700	0.01400	0.14000	0.15000
401	39	0.00700	0.07000	0.07500
13	157	0.01400	0.14000	0.15000
700	4	0.00700	0.07000	0.07500
82	4	0.00700	0.07000	0.07500
401	168	0.01400	0.14000	0.15000
13	401	0.00700	0.07000	0.07500

NUMERO DO DISJUNTOR	BARRA	BARRA
1	169	157

DADOS DE ENTRADA DE BARRA
****

BARRA	TIPO DE BARRA 0 SWING 1 GERACAO 2 CARGA	P ESPECIF.	Q ESPECIF. OU Q MIN.	Q MAX.	V ESPECIF. (MODULO)
700	0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	1	3.00000	-0.50000	1.00000	1.05000
4	2	-1.00000	0.0	0.0	0.0
82	2	-0.40000	0.0	0.0	0.0
170	2	-1.50000	-0.25000	0.0	0.0
401	2	-1.50000	-0.20000	0.0	0.0
39	2	-1.00000	-0.10000	0.0	0.0
157	2	-0.50000	-0.05000	0.0	0.0
168	2	-0.50000	-0.05000	0.0	0.0

TENSAO ESPECIFICADA NA BARRA DE REFERENCIA
MODULO (EM PU) = 1.05000
FASE (EM GRAUS) = 0.0

****
* MATRIZ Z-BARRA *
*
* (SISTEMA BASE) *
****

BARRAS		REAL	IMAGINARIO
4	4	0.00700	0.07000
170	4	0.00700	0.07000
13	4	0.0	0.0
401	4	0.0	0.0
39	4	0.0	0.0
157	4	0.0	0.0
82	4	0.00700	0.07000
168	4	0.0	0.0
170	170	0.01400	0.14000
13	170	0.0	0.0
401	170	0.0	0.0
39	170	0.0	0.0
157	170	0.0	0.0
82	170	0.00700	0.07000
168	170	0.0	0.0
13	13	0.01400	0.14000
401	13	0.01400	0.14000
39	13	0.01400	0.14000
157	13	0.01400	0.14000
82	13	0.0	0.0
168	13	0.01400	0.14000
401	401	0.01960	0.19600
39	401	0.01960	0.19600
157	401	0.01680	0.16800

82	401	0.0	0.0
168	401	0.01680	0.16800
39	39	0.02660	0.26600
157	39	0.01680	0.16800
82	39	0.0	0.0
168	39	0.01680	0.16800
157	157	0.02240	0.22400
82	157	0.0	0.0
168	157	0.02240	0.22400
82	82	0.01400	0.14000
168	82	0.0	0.0
168	168	0.02240	0.22400

****
* *
* CASO BASE *
* *
****

NUMERO DE ITERACOES = 7
TOLERANCIA = 0.00010

FLUXO DE CARGA :

	TENSAO NA BARRA			FLUXO DE POTENCIA NA LINHA	
DA BARRA	MODULO (PU)	FASE (GRAUS)	PARA BARRA	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
700	1.05000	0.0	13	0.56524	-0.20132
			4	2.97667	0.55489
4	1.00629	-11.125	170	1.51672	0.26968
			700	-2.91730	-0.12881
			82	0.40120	-0.14069
170	0.97716	-17.182	4	-1.49699	-0.24996
13	1.05000	-4.142	700	-0.55117	-0.08669
			157	1.12412	-0.13534
			401	2.43719	0.18245
401	1.02871	-13.130	39	1.00679	0.01055
			166	-0.10770	-0.24732
			13	-2.39903	0.03711
39	1.01800	-16.554	401	-1.00000	-0.10000
157	1.04232	-12.391	13	-1.10900	-0.02849
82	1.00341	-12.737	4	-0.40000	-0.00011
166	1.04232	-12.371	401	0.10770	-0.07181

BARRA	POTENCIA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)	POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (QC) (PU)
700	3.54191	0.35756	3.54191	0.60563
4	-1.00000	-0.30000	-1.00000	0.22734
170	-1.50000	-0.20000	-1.50000	-0.17839
13	3.00000	-0.04575	3.00000	0.36769
401	-1.50000	-0.20000	-1.50000	0.11747
39	-1.00000	-0.10000	-1.00000	-0.02227
157	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11297
32	-0.40000	0.0	-0.40000	0.07627
166	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11296

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 0.14192 PU CARGA ATIVA TOTAL = 6.40000 PU

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (PU/PU) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.01425

*** DESPACHO ECONOMICO ***

IDENTIFICACAO NUMERO	BARRA	COEFICIENTES DOS POLINOMIOS QUADRAT. (US$/PU**2)	LINEAR (US$/PU)	INDEP. (US$)	FAIXA DE OPERACAO PERMISSIVEL POT. MIN. (PU)	POT. MAX. (PU)
GER 2	13	2.40000	-2.20000	0.80000	0.0	4.00000
GER 1	700	2.40000	-2.00000	0.65000	0.0	4.00000

NUMERO DE ITERACOES = 20
TOLERANCIA = 0.00001

PERIODO DE VALIDADE : 19 A 20 HORAS

DESPACHO ATUAL (CASO BASE) :

CUSTO INCREMENTAL DO SISTEMA : 0.13548 US$/MW.H

CUSTO DE GERACAO DO SISTEMA : 39.02298 US$/HORA

NUMERO DE ITERACOES = 7
TOLERANCIA = 0.00010

FLUXO DE CARGA :

TENSAO NA BARRA			FLUXO DE POTENCIA NA LINHA		
DA BARRA	MODULO (PU)	FASE (GRAUS)	PARA BARRA	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
700	1.05000	0.0	13	0.26248	-0.18717
			4	2.97667	0.55889
4	1.00629	-11.125	170	1.51672	0.26968
			700	-2.91780	-0.12881
			32	0.40120	-0.14089
170	0.97716	-17.182	4	-1.49999	-0.24996
13	1.05000	-1.926	700	-0.26160	-0.13477
			157	1.12411	-0.13935
			401	2.43718	0.18245
401	1.02871	-10.914	39	1.00678	0.01054
			168	-0.10771	-0.24735
			13	-2.39902	0.03709
39	1.01800	-14.738	401	-1.00002	-0.10005
157	1.04232	-10.174	13	-1.10805	-0.02844
32	1.00641	-12.737	4	-0.40006	-0.00011
168	1.04232	-10.174	401	0.10797	-0.07178

POTENCIA INJETADA NA BARRA

POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA

BARRA	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (CC) (PU)
700	3.23916	0.37172	3.23916	0.61578
4	-1.00000	-0.00000	-1.00000	0.22784
170	-1.50000	-0.25000	-1.50000	-0.17859
13	3.29958	-0.09179	3.29958	0.32164
401	-1.50000	-0.20000	-1.50000	0.11747
39	-1.00000	-0.10000	-1.00000	-0.02228
157	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11297
82	-0.40000	0.0	-0.40000	0.07627
168	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11296

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 15.874 MW CARGA ATIVA TOTAL = 540.000 MW

POTENCIA ATIVA GERADA NA BARRA SWING = 323.916 MW

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (DESPACHO OTIMO) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0 MW/MW

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.00405 MW/MW

REGULAGEM OTIMA DAS POTENCIAS ATIVAS NAS BARRAS DE GERACAO CONTROLAVEL :

GERADOR DA BARRA 13 : 329.959 MW

NUMERO DE ITERACOES PARA CALCULO DO DESPACHO ECONOMICO = 4 .

Contingência: remoção de LT 82-4

Faixas de Operação Permissível:

Gerador 700: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

Gerador 13: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

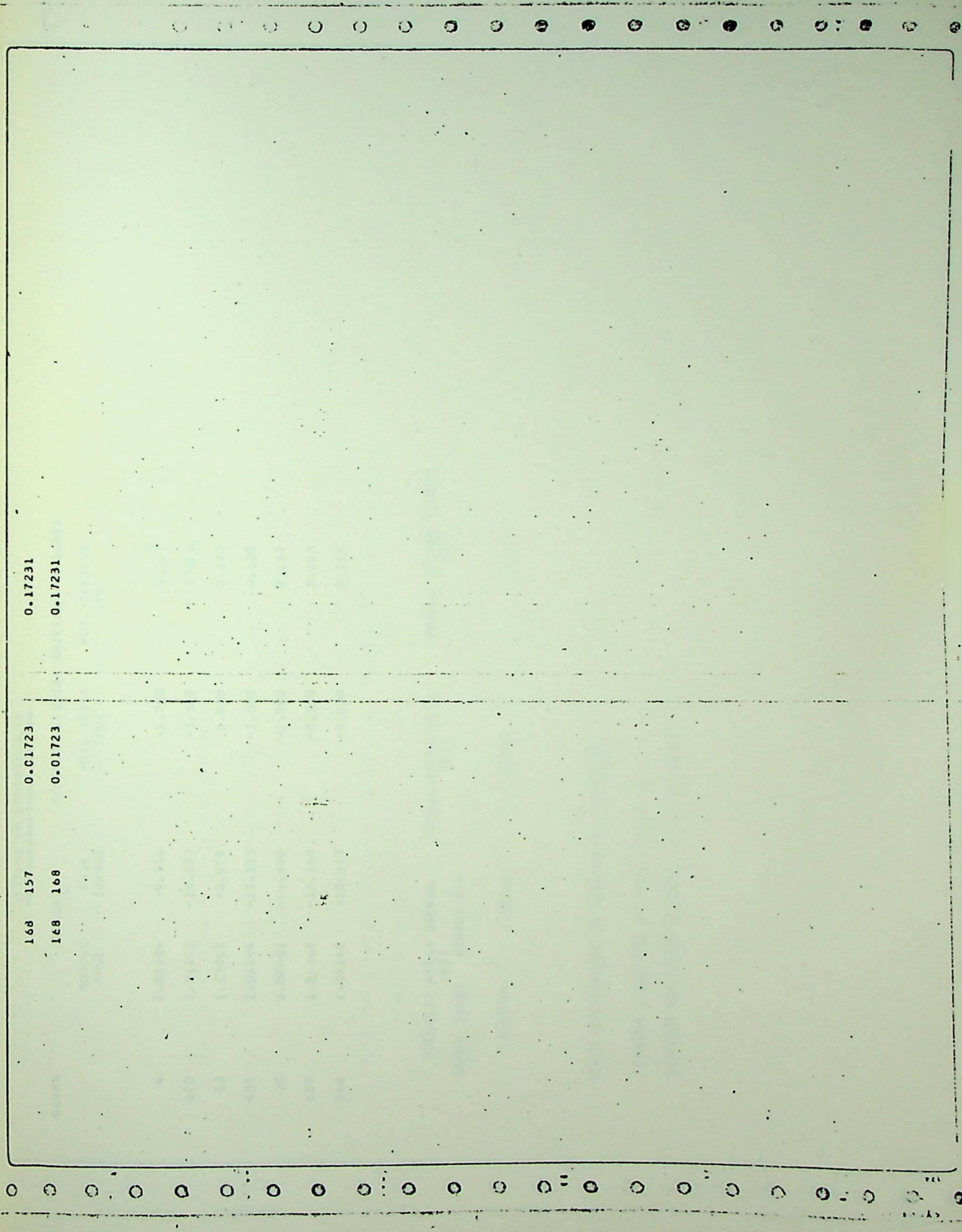
CONTINGENCIA : REMOCAO DE LINHA

LINHA		IMPEDANCIA		ADMITANCIA SHUNT
		R	X	YSHC
82	4	0.007	0.070	0.075

MATRIZ Z-BARRA

(SISTEMA EM CONTINGENCIA)

BARRAS		REAL	IMAGINARIO
4	4	0.00610	0.06103
170	4	0.00521	0.05205
13	4	0.00179	0.01795
401	4	0.00251	0.02513
39	4	0.00341	0.03410
157	4	0.00215	0.02154
168	4	0.00215	0.02154
170	170	0.01041	0.10410
13	170	0.00359	0.03590
401	170	0.00503	0.05026
39	170	0.00682	0.06821
157	170	0.00431	0.04308
168	170	0.00431	0.04308
13	13	0.01041	0.10410
401	13	0.00897	0.03974
39	13	0.00718	0.07179
157	13	0.00969	0.09692
168	13	0.00969	0.09692
401	401	0.01256	0.12564
39	401	0.01005	0.10051
157	401	0.01077	0.10769
168	401	0.01077	0.10769
39	39	0.01364	0.13641
157	39	0.00862	0.08615
168	39	0.00862	0.08615
157	157	0.01723	0.17231


0.17231
0.17231
0.01723
0.01723
168 157
168 168

SISTEMA EM CONTINGENCIA
****

BARRA	TENSAO		POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA	
	MODULO (PU)	FASE (GRAU)	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
4	1.02584	-9.366	-1.000	0.237
170	1.01301	-15.083	-1.500	-0.018
13	1.05000	-2.079	3.300	0.270
401	1.03144	-11.113	-1.500	0.120
39	1.02481	-14.998	-1.000	0.137
157	1.04345	-10.347	-0.500	0.113
168	1.04345	-10.347	-0.500	0.113

POTENCIA ATIVA GERADA (PU)		CARGA ATIVA TOTAL (PU)	PERDAS ATIVAS TOTAIS (PU)
BARRA SWING	BARRAS P-V		
2.83704	3.30023	6.00000	0.13727

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (PU/PU) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.00728

DESPACHO OTIMO (SISTEMA EM CONTINGENCIA) :

CUSTO INCREMENTAL DO SISTEMA : 0.12495 US$/MW.H

CUSTO DE GERACAO DO SISTEMA : 33.42091 US$/HORA

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (DESPACHO OTIMO) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0 MW/MW

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.01114 MW/MW

RECULAGEM OTIMA DAS POTENCIAS ATIVAS NAS BARRAS DE GERACAO CONTROLAVEL :

GERADOR DA BARRA 13 : 309.052 MW

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 11.034 MW CARGA ATIVA TOTAL = 600.000 MW

POTENCIA ATIVA GERADA NA BARRA SWING = 301.982 MW

NUMERO DE ITERACOES PARA CALCULO DO DESPACHO ECONOMICO = 4

Sistema Base: não inclui a LT 82-4

Faixas de Operação Permissível:

Gerador 700: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

Gerador 13: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

POTENCIA BASE DO SISTEMA = 100.0 MVA

NO DE REFERENCIA PARA MONTAGEM DA
MATRIZ DE IMPEDANCIAS NODAIS ZB+ : 700

PARAMETROS DOS RAMOS
****

DE	PARA	IMPEDANCIA DE SEQUENCIA POSITIVA RESISTENCIA	REATANCIA	ADMITANCIA SHUNT
4	170	0.00700	0.07000	0.07500
13	700	0.01400	0.14000	0.15000
401	39	0.00700	0.07000	0.07500
13	157	0.01400	0.14000	0.15000
170	39	0.01400	0.14000	0.15000
700	4	0.00700	0.07000	0.07500
401	168	0.01400	0.14000	0.15000
13	401	0.00700	0.07000	0.07500

NUMERO DO DISJUNTOR (NDSJ)	BARRA	BARRA
1	168	157

DADOS DE ENTRADA DE BARRA
****

BARRA	TIPO DE BARRA 0 SWING 1 GERACAO 2 CARGA	P ESPECIF.	Q ESPECIF. OU Q MIN.	Q MAX.	V ESPECIF. (MODULO)
700	0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	1	3.00000	-0.50000	1.00000	1.05000
4	2	-1.00000	0.0	0.0	0.0
170	2	-1.50000	-0.25000	0.0	0.0
401	2	-1.50000	-0.20000	0.0	0.0
39	2	-1.00000	-0.10000	0.0	0.0
157	2	-0.50000	-0.05000	0.0	0.0
168	2	-0.50000	-0.05000	0.0	0.0

TENSAO ESPECIFICADA NA BARRA DE REFERENCIA
MODULO (EM PU) = 1.05000
FASE (EM GRAUS) = 0.0

****
* MATRIZ Z-BARRA *
* *
* (SISTEMA BASE) *
****

BARRAS		REAL	IMAGINARIO
4	4	0.00610	0.06103
170	4	0.00521	0.05205
13	4	0.00179	0.01795
401	4	0.00251	0.02513
39	4	0.00341	0.03410
157	4	0.00215	0.02154
168	4	0.00215	0.02154
170	170	0.01041	0.10410
13	170	0.00359	0.03590
401	170	0.00503	0.05026
39	170	0.00682	0.06821
157	170	0.00431	0.04308
168	170	0.00431	0.04308
13	13	0.01041	0.10410
401	13	0.00897	0.08974
39	13	0.00718	0.07179
157	13	0.00969	0.09692
168	13	0.00969	0.09692
401	401	0.01256	0.12564
39	401	0.01005	0.10051
157	401	0.01077	0.10769
168	401	0.01077	0.10769
39	39	0.01364	0.13641
157	39	0.00862	0.08615

168	39	0.00862	0.08615
157	157	0.01723	0.17231
168	157	0.01723	0.17231
168	168	0.01723	0.17231

****
* CASO BASE *
****

NUMERO DE ITERACOES = 6
TOLERANCIA = 0.00010

FLUXO DE CARGA :

DA BARRA	TENSAO NA BARRA MODULO (PU)	TENSAO NA BARRA FASE (GRAUS)	FLUXO DE POTENCIA NA LINHA PARA BARRA	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
700	1.05000	0.0	13	0.51182	-0.19968
			4	2.61096	0.28008
4	1.02291	-9.660	170	1.56681	-0.00003
			700	-2.56684	-0.00006
170	1.01246	-15.708	4	-1.55035	0.00931
			39	0.05037	-0.25913
13	1.05000	-3.751	700	-0.50848	-0.09766
			157	1.11256	-0.15704
			401	2.33509	0.11802
401	1.03236	-12.572	39	0.95575	-0.04977
			168	-0.09677	-0.23660
			13	-2.35879	0.08625
39	1.02637	-16.179	401	-0.94975	-0.04925
			170	-0.05019	-0.05079
157	1.04452	-11.909	13	-1.09634	-0.01483
168	1.04452	-11.909	401	0.09697	-0.08510

BARRA	POTENCIA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)	POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU) (GC)
700	3.12278	0.08040	3.12277	0.32846
4	-1.00000	0.00000	-1.00000	0.15695
170	-1.50000	-0.25000	-1.50000	-0.01930
13	3.00000	-0.13665	3.00000	0.27679
401	-1.50000	-0.20000	-1.50000	0.12004
39	-1.00000	-0.10000	-1.00000	0.13702
157	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11369
168	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11369

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 0.12278 PU

CARGA ATIVA TOTAL = 6.00000 PU

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (PU/PU) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.01291

*** DESPACHO ECONOMICO ***

IDENTIFICACAO NUMERO	BARRA	COEFICIENTES DOS POLINOMIOS QUADRAT. (US$/PU**2)	LINEAR (US$/PU)	INDEP. (US$)	FAIXA DE OPERACAO PERMISSIVEL POT. MIN. (PU)	POT. MAX. (PU)
GER 2	13	2.40000	-2.20000	0.80000	0.0	4.00000
GER 1	700	2.40000	-2.00000	0.65000	0.0	4.00000

NUMERO DE ITERACOES = 20
TOLERANCIA = 0.00001

PERIODO DE VALIDADE : 19 A 20 HORAS

BARRA	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (CC) (PU)
700	3.02548	0.07487	3.02548	0.32294
4	-1.00000	0.00000	-1.00000	0.15709
170	-1.50000	-0.25000	-1.50000	-0.01916
13	3.09606	-0.14392	3.09606	0.26992
401	-1.50000	-0.20000	-1.50000	0.11994
39	-1.00000	-0.10000	-1.00000	0.13701
157	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11364
168	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11364

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 12.154 MW CARGA ATIVA TOTAL = 600.000 MW

POTENCIA ATIVA GERADA NA BARRA SWING = 302.547 MW

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (DESPACHO OTIMO) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0 MW/MW

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.01108 MW/MW

REGULAGEM OTIMA DAS POTENCIAS ATIVAS NAS BARRAS DE GERACAO CONTROLAVEL :

GERADOR DA BARRA 13 : 309.606 MW

NUMERO DE ITERACOES PARA CALCULO DO DESPACHO ECONOMICO = 3

Escola Federal de Engenharia de Itajubá
Biblioteca
MAUÁ

DESPACHO OTIMO (CASO BASE) :

CUSTO INCREMENTAL DO SISTEMA : 0.12522 US$/MW.H

CUSTO DE GERACAO DO SISTEMA : 33.56151 US$/HORA

NUMERO DE ITERACOES = 6
TOLERANCIA = 0.00010

FLUXO DE CARGA :

DA BARRA	TENSAO NA BARRA MODULO (PU)	FASE (GRAUS)	FLUXO DE POTENCIA NA LINHA PARA BARRA	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
700	1.05000	0.0	13	0.43888	-0.19684
			4	2.58660	0.27171
4	1.02336	-9.567	170	1.54330	0.00010
			700	-2.54332	-0.00018
170	1.01289	-15.518	4	-1.52734	0.00402
			39	0.02736	-0.25385
13	1.05000	-5.218	700	-0.43542	-0.10953
			157	1.11743	-0.18579
			401	2.41433	0.12156
401	1.03259	-12.110	39	0.97503	-0.05257
			168	-0.10149	-0.25621
			13	-2.37734	0.08867
39	1.02634	-15.807	401	-0.97273	-0.04345
			170	-0.02722	-0.05553
157	1.04448	-11.412	13	-1.10158	-0.01466
168	1.04443	-11.412	401	0.10170	-0.08528

POTENCIA INJETADA NA BARRA — POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA

Sistema Base: não inclui LT 82-4

Contingência: adição de LT 82-4 (radial)

Faixas de Operação Permissível:

Gerador 700: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

Gerador 13: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 3.2 PU

POTENCIA BASE DO SISTEMA = 100.0 MVA

NO DE REFERENCIA PARA MONTAGEM DA
MATRIZ DE IMPEDANCIAS NODAIS Z0+ : 700

PARAMETROS DOS RAMOS
****

DE	PARA	IMPEDANCIA DE SEQUENCIA POSITIVA RESISTENCIA	REATANCIA	ADMITANCIA SHUNT
+	170	0.00700	0.07000	0.07500
13	700	0.01400	0.14000	0.15000
401	39	0.00700	0.07000	0.07500
13	157	0.01400	0.14000	0.15000
170	39	0.01400	0.14000	0.15000
700	4	0.00700	0.07000	0.07500
401	168	0.01400	0.14000	0.15000
13	401	0.00700	0.07000	0.07500

NUMERO DE DISJUNTOR (NDSJ)	BARRA	BARRA
1	168	157

DADOS DE ENTRADA DE BARRA
****

BARRA	TIPO DE BARRA 0 SWING 1 GERACAO 2 CARGA	P ESPECIF.	Q ESPECIF. OU Q MIN.	Q MAX.	V ESPECIF. (MODULO)
700	0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	1	3.00000	-0.50000	1.00000	1.05000
4	2	-1.00000	0.0	0.0	0.0
170	2	-1.50000	-0.25000	0.0	0.0
401	2	-1.50000	-0.20000	0.0	0.0
39	2	-1.00000	-0.10000	0.0	0.0
157	2	-0.50000	-0.05000	0.0	0.0
168	2	-0.50000	-0.05000	0.0	0.0

TENSAO ESPECIFICADA NA BARRA DE REFERENCIA
MODULO (EM PU) = 1.05000
FASE (EM GRAUS) = 0.0

****
* MATRIZ Z-BARRA *
* *
* (SISTEMA BASE) *
****

BARRAS		REAL	IMAGINARIO
4	4	0.00610	0.06103
170	4	0.00521	0.05205
13	4	0.00179	0.01795
401	4	0.00251	0.02513
39	4	0.00341	0.03410
137	4	0.00215	0.02154
108	4	0.00215	0.02154
170	170	0.01041	0.10410
13	170	0.00359	0.03590
401	170	0.00338	0.03386
39	170	0.00682	0.06821
137	170	0.00431	0.04308
108	170	0.00431	0.04308
13	13	0.01041	0.10410
401	13	0.00337	0.03374
39	13	0.00718	0.07179
137	13	0.00469	0.04692
108	13	0.00469	0.04692
401	401	0.01077	0.10769
39	401	0.01077	0.10769
137	401	0.01077	0.10769
108	401	0.01077	0.10769
39	39	0.01364	0.13641
137	39	0.00862	0.08616

168	39	0.00862	0.08615
157	157	0.01723	0.17231
156	157	0.01723	0.17231
168	168	0.01723	0.17231

****
*   *
* CASO BASE *
*   *
****

NUMERO DE ITERACOES = 6
TOLERANCIA = 0.00010

FLUXO DE CARGA :

BARRA	TENSAO NA BARRA MODULO (PU)	TENSAO NA BARRA FASE (GRAUS)	PARA BARRA	FLUXO DE POTENCIA NA LINHA POT. ATIVA (PU)	FLUXO DE POTENCIA NA LINHA POT. REATIVA (PU)
706	1.05000	0.0	13	0.51182	-0.19968
			4	2.61095	0.23098
4	1.03477	-5.269	176	1.99[illegible]	3.[illegible]
			7	-2.[illegible]	-2.[illegible]
176	1.01240	-10.770	5	-1.[illegible]	0.02531
			99	0.05857	-0.25913
13	1.05000	-5.751	706	-0.50843	-0.09765
			157	1.11256	-0.15704
			401	2.[illegible]	0.11802
401	1.02230	-12.574	57	0.[illegible]	-0.04977
			166	-0.[illegible]	-0.23003
			13	-2.[illegible]	0.08025
39	1.02657	-10.179	401	-0.[illegible]	-0.04925
			176	-0.[illegible]	-0.[illegible]
157	1.04482	-11.[illegible]	13	-1.[illegible]	-0.01403
166	1.04482	-11.[illegible]	401	0.[illegible]	-0.04910

BARRA	POTENCIA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)	POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (CC) (PU)
700	3.12278	0.08040	3.12277	0.32845
4	-1.00000	0.00000	-1.00000	0.15695
170	-1.50000	-0.25000	-1.50000	-0.01936
13	3.00000	-0.13665	3.00000	0.27679
401	-1.50000	-0.20000	-1.50000	0.12004
39	-1.00000	-0.10000	-1.00000	0.15702
157	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11569
166	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11569

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 0.12278 PU CARGA ATIVA TOTAL = 6.00000 PU

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (PU/PU) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.01291

*** DESPACHO ECONOMICO ***

IDENTIFICACAO NUMERO	BARRA	COEFICIENTES DOS POLINOMIOS QUADRAT. (US$/PU**2)	LINEAR (US$/PU)	INDEP. (US$)	FAIXA DE OPERACAO PERMISSIVEL POT. MIN. (PU)	POT. MAX. (PU)
GER 2	13	2.40000	-2.20000	0.80000	0.0	3.20000
GER 1	700	2.40000	-2.00000	0.65000	0.0	4.00000

NUMERO DE ITERACOES = 20
TOLERANCIA = 0.00001

PERIODO DE VALIDADE : 19 A 20 HORAS

DESPACHO OTIMO (CASO BASE) :

CUSTO INCREMENTAL DO SISTEMA : 0.12522 US$/MW.H

CUSTO DE GERACAO DO SISTEMA : 33.56151 US$/HORA

NUMERO DE ITERACOES = 6
TOLERANCIA = 0.00010

FLUXO DE CARGA :

DA BARRA	TENSAO NA BARRA MODULO (PU)	TENSAO NA BARRA FASE (GRAUS)	FLUXO DE POTENCIA NA LINHA PARA BARRA	FLUXO DE POTENCIA NA LINHA POT. ATIVA (PU)	FLUXO DE POTENCIA NA LINHA POT. REATIVA (PU)
700	1.05000	0.0	13	0.43888	-0.19684
			4	2.58660	0.27171
4	1.02335	-9.567	170	1.54330	0.00010
			700	-2.54332	-0.00018
170	1.01239	-15.518	4	-1.52734	0.00402
			39	0.02736	-0.25385
13	1.05000	-3.218	700	-0.43642	-0.10933
			157	1.11743	-0.15579
			401	2.41483	0.12156
401	1.03259	-12.110	39	0.47903	-0.09257
			168	-0.10149	-0.23021
			13	-2.37754	0.03857
39	1.02634	-15.807	401	-0.37273	-0.04345
			170	-0.62722	-0.05658
157	1.04448	-11.412	13	-1.10158	-0.01466
168	1.04448	-11.412	401	0.10170	-0.03528

POTENCIA INJETADA NA BARRA

POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA

BARRA	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
700	3.02548	0.07487	3.02548	0.32294
4	-1.00000	0.00000	-1.00000	0.15709
170	-1.50000	-0.25000	-1.50000	-0.01910
13	3.09606	-0.14352	3.09606	0.26992
401	-1.50000	-0.20000	-1.50000	0.11994
39	-1.00000	-0.10000	-1.00000	0.13701
157	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11364
168	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11364

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 12.154 Mw CARGA ATIVA TOTAL = 600.000 Mw

POTENCIA ATIVA GERADA NA BARRA SWING = 302.547 Mw

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (DESPACHO OTIMO) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0 Mw/Mw

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.01108 Mw/Mw

REGULAGEM OTIMA DAS POTENCIAS ATIVAS NAS BARRAS DE GERACAO CONTROLAVEL :

GERADOR DA BARRA 13 : 309.606 Mw

NUMERO DE ITERACOES PARA CALCULO DO DESPACHO ECONOMICO = 3

CONTINGENCIA : ADICAO DE LINHA RADIAL

LINHA		IMPEDANCIA		ADMITANCIA SHUNT
		R	X	YSHC
82	4	0.007	0.070	0.075

MATRIZ Z-BARRA

(SISTEMA EM CONTINGENCIA)

BARRAS		REAL	IMAGINARIO
4	4	C.C0610	0.C6103
170	4	0.00521	0.05205
13	4	0.00179	0.01795
401	4	0.00251	0.02513
39	4	C.C0341	0.C3410
157	4	0.00215	0.02154
168	4	0.00215	0.02154
82	4	0.00610	0.06103
170	170	0.01041	0.10410
13	170	0.00359	0.03590
401	170	0.00503	0.05026
39	170	C.00682	0.06821
157	170	0.00431	0.04308
168	170	C.00431	0.04308
82	170	0.00521	0.05205
13	13	C.01041	0.10410
401	13	0.00897	0.08974
39	13	0.00718	C.07179
157	13	C.00969	0.09692
168	13	C.00969	0.09692
82	13	0.00179	0.01795
401	401	0.01256	0.12564
39	401	C.01009	0.10091
157	401	0.01077	C.10769
168	401	0.01077	C.10769
82	401	0.00251	0.02513

39	39	C.C1364	0.13641
157	39	C.00862	0.08615
168	39	0.00862	0.08615
82	39	0.00341	0.03410
157	157	0.01723	0.17231
168	157	C.01723	0.17231
82	157	0.00215	0.02154
166	168	C.01723	0.17231
82	168	0.00215	0.02154
82	82	C.01310	C.13103

SISTEMA EM CONTINGENCIA

BARRA	TENSÃO		POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA	
	MODULO (PU)	FASE (GRAU)	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
4	1.02535	-10.929	-1.000	0.157
170	1.01659	-10.676	-1.500	-0.019
13	1.05000	-3.610	3.096	0.270
401	1.03389	-12.664	-1.500	0.120
35	1.02385	-10.955	-1.000	0.137
157	1.04540	-11.882	-0.500	0.114
168	1.04540	-11.882	-0.500	0.114
82	1.02261	-10.959	-0.400	0.078

POTENCIA ATIVA GERADA (PU)		CARGA ATIVA TOTAL (PU)	PERDAS ATIVAS TOTAIS (PU)
BARRA SWING	BARRAS P-V		
3.45737	3.09606	6.40000	0.15344

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (PU/PU) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.01228

DESPACHO OTIMO (SISTEMA EM CONTINGENCIA) :

CUSTO INCREMENTAL DO SISTEMA : 0.13944 US$/MW.H

CUSTO DE GERACAO DO SISTEMA : 38.62387 US$/HORA

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (DESPACHO OTIMO) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0 Mw/Mw

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.01037 Mw/Mw

REGULAGEM OTIMA DAS POTENCIAS ATIVAS NAS BARRAS DE GERACAO CONTROLAVEL :

GERADOR DA BARRA 13 : 320.000 Mw ⟶ GERADOR BLOQUEADO NA POTÊNCIA MÁXIMA

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 12.173 Mw CARGA ATIVA TOTAL = 640.000 MW

POTENCIA ATIVA GERADA NA BARRA SWING = 332.173 Mw

NUMERO DE ITERACOES PARA CALCULO DO DESPACHO ECONOMICO = 9

Sistema Base: LT 82-4 incluída

Contingência: remoção da LT 82-4

Faixas de Operação Permissível:

Gerador 700: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 4.0 PU

Gerador 13: Pot. Min. = 0.0 PU
Pot. Max. = 3.2 PU

POTENCIA BASE DO SISTEMA = 100.0 MVA

NO DE REFERENCIA PARA MONTAGEM DA
MATRIZ DE IMPEDANCIAS NODAIS ZBR : 700

PARAMETROS DOS RAMOS
****

DE	PARA	IMPEDANCIA DE SEQUENCIA POSITIVA RESISTENCIA	REATANCIA	ADMITANCIA SHUNT
4	170	0.00700	0.07000	0.07500
13	700	0.01400	0.14000	0.15000
401	39	0.00700	0.07000	0.07500
13	157	0.01400	0.14000	0.15000
170	39	0.01400	0.14000	0.15000
82	4	0.00700	0.07000	0.07500
700	4	0.00700	0.07000	0.07500
401	168	0.01400	0.14000	0.15000
13	401	0.00700	0.07000	0.07500

NUMERO DE DISJUNTOR (NDSJ)	BARRA	BARRA
1	166	157

DADOS DE ENTRADA DE BARRA
****

BARRA	TIPO DE BARRA 0 SWING 1 GERACAO 2 CARGA	P ESPECIF.	Q ESPECIF. OU Q MIN.	Q MAX.	V ESPECIF. (MODULO)
700	0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	1	3.00000	-0.50000	1.00000	1.05000
4	2	-1.00000	0.0	0.0	0.0
170	2	-1.50000	-0.25000	0.0	0.0
401	2	-1.50000	-0.20000	0.0	0.0
82	2	-0.40000	0.0	0.0	0.0
39	2	-1.00000	-0.10000	0.0	0.0
157	2	-0.50000	-0.05000	0.0	0.0
166	2	-0.50000	-0.05000	0.0	0.0

TENSAO ESPECIFICADA NA BARRA DE REFERENCIA
MODULO (EM PU) = 1.05000
FASE (EM GRAUS) = 0.0

****
* MATRIZ Z-BARRA *
* *
* (SISTEMA BASE) *
****

BARRAS		REAL	IMAGINARIO
4	4	0.00610	0.06103
170	4	0.00521	0.05205
13	4	0.00179	0.01795
401	4	0.00251	0.02513
39	4	0.00341	0.03410
157	4	0.00215	0.02154
82	4	0.00610	0.06103
168	4	0.00215	0.02154
170	170	0.01041	0.10410
13	170	0.00357	0.03540
401	170	0.00502	0.05026
39	170	0.00682	0.06821
157	170	0.00431	0.04308
82	170	0.00521	0.05205
168	170	0.00431	0.04308
13	13	0.01041	0.10410
401	13	0.00857	0.08574
39	13	0.00718	0.07179
157	13	0.00969	0.09692
82	13	0.00179	0.01795
168	13	0.00969	0.09692
401	401	0.01256	0.12566
39	401	0.01005	0.10051
157	401	0.01077	0.10769

82	401	0.00251	0.02513
168	401	0.01077	0.10769
39	39	0.01364	0.13641
157	39	0.00862	0.08615
82	39	0.00341	0.03410
168	39	0.00862	0.08615
157	157	0.01723	0.17231
82	157	0.00215	0.02154
168	157	0.01723	0.17231
82	82	0.01310	0.13103
168	82	0.00215	0.02154
168	168	0.01723	0.17231

****
*   *
* CASO BASE *
*   *
****

NUMERO DE ITERACOES = 6
TOLERANCIA = 0.00010

FLUXO DE CARGA :

DA BARRA	TENSAO NA BARRA MODULO (PU)	FASE (GRAUS)	PARA BARRA	FLUXO DE POTENCIA NA LINHA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
700	1.05000	0.0	13	0.56411	-0.20129
			4	2.97435	0.26547
4	1.02585	-11.015	170	1.51620	0.00478
			82	0.43106	-0.14718
			700	-2.91741	0.14231
170	1.01502	-10.681	4	-1.50972	-0.00755
			39	0.00000	-0.24221
13	1.05000	-4.134	700	-0.56000	-0.06366
			157	1.12294	-0.15578
			401	2.43635	0.12024
401	1.03287	-13.107	39	1.00372	-0.00224
			166	-0.10636	-0.23464
			13	-2.39282	0.09671
39	1.02710	-16.906	401	-0.99308	-0.03050
			170	-0.00034	-0.05952
157	1.04442	-12.500	13	-1.10692	-0.01311
82	1.02315	-12.564	4	-0.99979	-0.00002
166	1.04452	-12.356	401	0.10700	-0.00001

BARRA	POTÊNCIA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	 POT. REATIVA (PU)	POTÊNCIA LÍQUIDA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	 POT. REATIVA (GC) (PU)
700	3.33846	0.08417	3.33846	0.31224
4	-1.00000	0.0	-1.00000	0.23678
170	-1.00000	-0.25000	-1.00000	-0.01815
13	3.00000	-0.12439	3.00000	0.28905
401	-1.00000	-0.20000	-1.00000	0.12004
39	-1.00000	-0.10000	-1.00000	0.13736
157	-0.00000	-0.05000	-0.00000	0.11365
32	-0.40000	0.00000	-0.40000	0.07928
168	-0.50000	-0.05000	-0.50000	0.11365

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 0.13847 PU

CARGA ATIVA TOTAL = 3.40000 PU

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAL (PU/PU) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.01422

Escola Federal de Engenharia Itajubá
Biblioteca MAUÁ

*** DESPACHO ECONOMICO ***

IDENTIFICACAO NUMERO	BARRA	COEFICIENTES DOS POLINOMIOS QUADRAT. (US$/PU**2)	LINEAR (US$/PU)	INDEP. (US$)	FAIXA DE OPERACAO PERMISSIVEL POT. MIN. (PU)	POT. MAX. (PU)
GER 2	13	2.40000	-2.20000	0.80000	0.0	3.20000
GER 1	700	2.40000	-2.00000	0.65000	0.0	4.00000

NUMERO DE ITERACOES = 20
TOLERANCIA = 0.00001

PERIODO DE VALIDADE : 19 A 20 HORAS

DESPACHO ÓTIMO (CASO BASE) :

CUSTO INCREMENTAL DE SISTEMA : 0.14012 US$/MWH

CUSTO DE GERAÇÃO DE SISTEMA : 37.02057 US$/HORA

NÚMERO DE ITERAÇÕES = 6
TOLERÂNCIA = 0.00010

FLUXO DE CARGA :

DA BARRA	TENSÃO NA BARRA MÓDULO (PU)	FASE (GRAUS)	PARA BARRA	FLUXO DE POTÊNCIA NA LINHA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
700	1.05000	0.0	15	0.41235	-0.19564
			4	2.92350	0.24003
4	1.02083	-10.417	170	1.45741	0.00620
			82	0.40100	-0.14750
			700	-2.80655	0.14115
170	1.01536	-10.430	4	-1.45350	-0.01929
			39	-0.00091	-0.23053
15	1.05000	-3.023	700	-0.41015	-0.11340
			157	1.13315	-0.15294
			401	2.47650	0.12849
401	1.03247	-12.147	39	1.05425	-0.00741
			100	-0.11071	-0.23394
			15	-2.45750	0.10120
39	1.02575	-10.155	401	-1.05425	-0.01884
			170	0.04701	-0.08136
157	1.04400	-11.333	15	-1.11655	-0.01272
82	1.02411	-12.300	4	-0.39990	-0.00001
100	1.04420	-11.334	401	0.11670	-0.04701

BARRA	POTENCIA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)	POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (CC) (PU)
700	3.33333	0.33079	3.33333	0.24405
4	-1.30000	0.0	-1.30000	0.23722
170	-1.50000	-0.25000	-1.50000	-0.01781
13	3.20000	-0.13782	3.20000	0.27902
401	-1.50000	-0.20000	-1.50000	0.11980
39	-1.00000	-0.10000	-1.00000	0.13729
157	-0.90000	-0.30000	-0.90000	0.11355
82	-0.40000	0.00000	-0.40000	0.07943
166	-0.90000	-0.05000	-0.90000	0.11355

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 13.583 Mw CARGA ATIVA TOTAL = 840.000 Mw

POTENCIA ATIVA GERADA NA BARRA SWING = 333.583 Mw

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (DESPACHO OTIMO) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0 Mw/Mw

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.01042 Mw/Mw

REGULAGEM OTIMA DAS POTENCIAS ATIVAS NAS BARRAS DE GERACAO CONTROLAVEL :

GERADOR DA BARRA 13 : 320.000 Mw ← GERACOR BLOQUEADO NA POTÊNCIA MÁXIMA

NUMERO DE ITERACOES PARA CALCULO DO DESPACHO ECONOMICO = 2

CONTINGENCIA : REMOCAO DE LINHA
****

LINHA		IMPEDANCIA		ADMITANCIA SHUNT
		R	X	YSHC
82	4	0.007	0.070	0.075

****
* MATRIZ Z-BARRA *
*
* (SISTEMA EM CONTINGENCIA) *
****

BARRAS		REAL	IMAGINARIO
4	4	0.00610	0.09103
170	4	0.00521	0.05205
13	4	0.00173	0.01795
401	4	0.00251	0.02513
39	4	0.00341	0.03410
157	4	0.00215	0.02154
168	4	0.00215	0.02154
170	170	0.01041	0.10410
13	170	0.00359	0.03590
401	170	0.00503	0.05026
39	170	0.00682	0.06821
157	170	0.00431	0.04308
168	170	0.00431	0.04308
13	13	0.01041	0.10410
401	13	0.00897	0.08974
39	13	0.00718	0.07179
157	13	0.00969	0.09692
168	13	0.00969	0.09692
401	401	0.01256	0.12564
39	401	0.01005	0.10051
157	401	0.01077	0.10769
168	401	0.01077	0.10769
39	39	0.01364	0.13641
157	39	0.00862	0.08615
168	39	0.00862	0.08615
157	157	0.01723	0.17231

168	157	0.31723	0.17231
168	168	C.C1723	C.17231

SISTEMA EM CONTINGENCIA
****

BARRA	TENSAO		POTENCIA LIQUIDA INJETADA NA BARRA	
	MODULO (PU)	FASE (GRAU)	POT. ATIVA (PU)	POT. REATIVA (PU)
4	1.02540	-9.462	-1.000	0.237
170	1.01260	-15.279	-1.500	-0.018
13	1.05000	-2.054	3.200	0.276
401	1.03180	-11.593	-1.500	0.120
39	1.02485	-15.384	-1.000	0.137
157	1.04356	-10.864	-0.500	0.114
168	1.04356	-10.864	-0.500	0.114

POTENCIA ATIVA GERADA (PU)		CARGA ATIVA TOTAL (PU)	PERDAS ATIVAS TOTAIS (PU)
BARRA SWING	BARRAS P-V		
2.03777	3.20000	6.00000	0.13777

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (PU/PU) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.00919

DESPACHO OTIMO (SISTEMA EM CONTINGENCIA) :

CUSTO INCREMENTAL DO SISTEMA : 0.12480 US$/Mw.H

CUSTO DE GERACAO DO SISTEMA : 33.27717 US$/HORA

PERDA INCREMENTAL DE TRANSMISSAO (DESPACHO OTIMO) :

GERADOR CONECTADO A BARRA 700 = 0.0 Mw/Mw

GERADOR CONECTADO A BARRA 13 = -0.01124 Mw/Mw

REGULAGEM OTIMA DAS POTENCIAS ATIVAS NAS BARRAS DE GERACAO CONTROLAVEL :

GERADOR DA BARRA 13 : 308.890 Mw

PERDAS ATIVAS TOTAIS = 10.084 Mw CARGA ATIVA TOTAL = 600.000 Mw

POTENCIA ATIVA GERADA NA BARRA SWING = 301.794 Mw

NUMERO DE ITERACOES PARA CALCULO DO DESPACHO ECONOMICO = 4

APÊNDICE IX

ESTRUTURA DA ENTRADA DOS DADOS

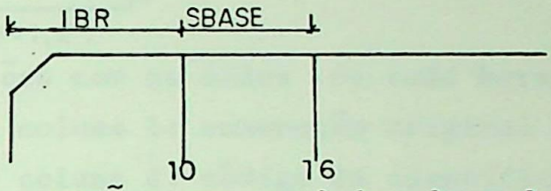
ESTRUTURA DA ENTRADA DE DADOS

1) Cálculo do Despacho Econômico Completo (caso-base)

a) Um cartão para a leitura de IBR e SBASE

IBR - numeração da barra tomada como referência.
Formato: I 10

SBASE - potência base do sistema (MVA)
Formato: F6.1

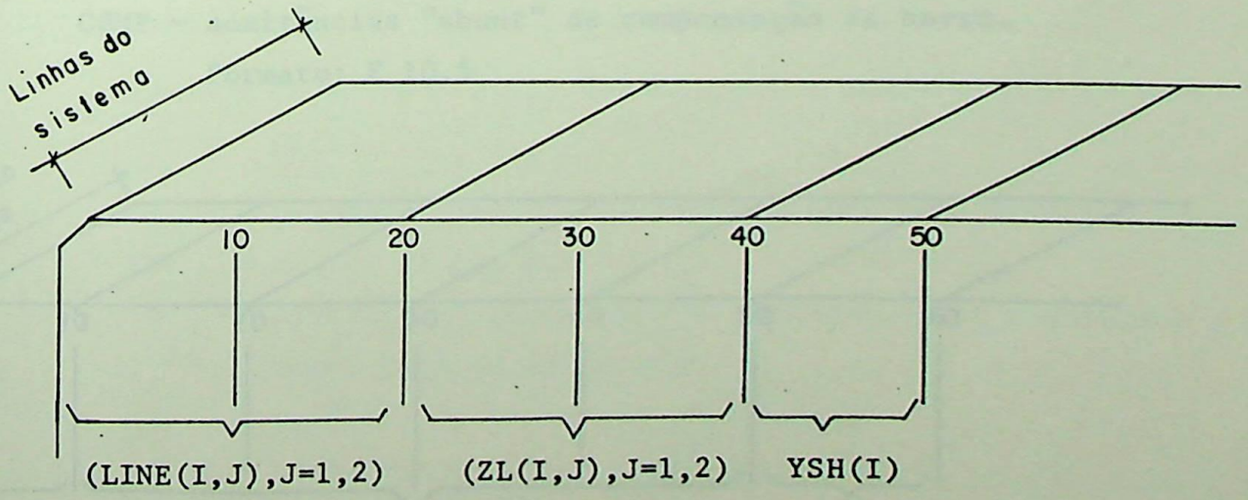


b) Conjunto de cartões com os dados de todas as linhas "I" do sistema de transmissão

(LINE(I,J), J=1,2) - numeração das barras a que a linha "I" está conectada.
Formato: 2I 10

(ZL(I,J), J=2) - respectivamente, resistência e reatância série da linha "I" em pu.
Formato: 2 F 10.8

YSH(I) - admitância shunt de compensação da linha em pu.
Formato: F 10.8



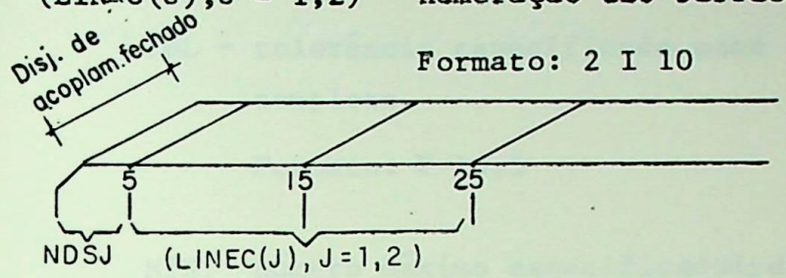
c) Um cartão em branco que indicará o término dos cartões de dados das linhas do sistema.

d) Conjunto de cartões com a indicação dos disjuntores de acoplamento de barras que estão na posição "fechado".

NDSJ - número do disjuntor de acoplamento

Formato: I 5

(LINEC(J),J = 1,2) - numeração das barras interligadas pelo disjuntor.



Formato: 2 I 10

e) Conjunto de cartões com os dados de cada barra "I" existente no sistema.

(ITB(I,J),J=2) - coluna 1: numeração original da barra

coluna 2: código de identificação do tipo de barra

0 - barra de referência ("swing")

1 - barra de geração controlável (tipo P-V)

2 - barra de carga (tipo P-Q)

Formato: 2 I5

(DB(I,J),J=1,4)- coluna 1: potência ativa especificada (P^{esp})

coluna 2: potência reativa especificada (Q^{esp}) para barra tipo P-Q ou potência reativa mínima de geração para barra tipo P-V.

coluna 3: potência reativa máxima de geração para barra tipo P-V

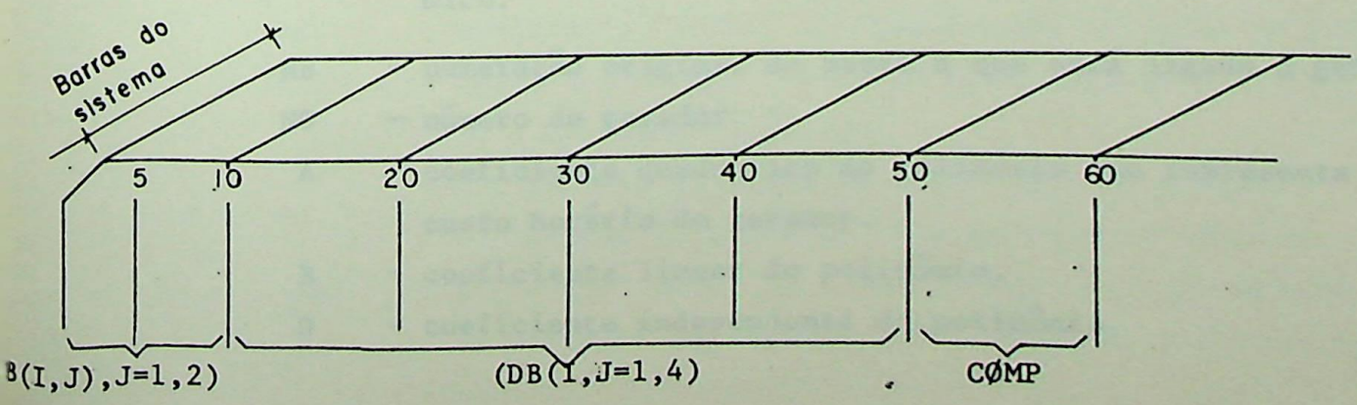
coluna 4: módulo de tensão especificada para barra tipo P-V

Formato: 4 F 10.5

OBS.: Os valores de P^{esp} ou Q^{esp} positivos indicam "geração" e os valores negativos, "carga".

CØMP - admitâncias "shunt" de compensação de barra.

Formato: F 10.5



f) Um cartão para a leitura dos dados para o Fluxo de Carga Completo (FLUXC)

EREF - coluna 1: parte real da tensão especificada para a barra "swing"
coluna 2: parte imaginária da tensão especificada para a barra "swuing"

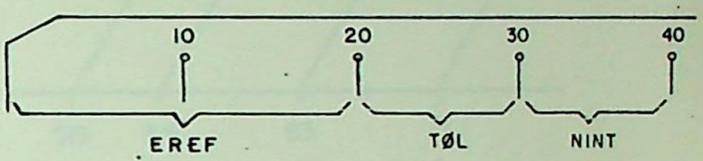
Formato: 2 F 10.5

TØL - tolerância especificada para a convergência do fluxo de carga completo.

Formato: F 10.5

NINT - número máximo especificado de iteração para o fluxo de carga completo.

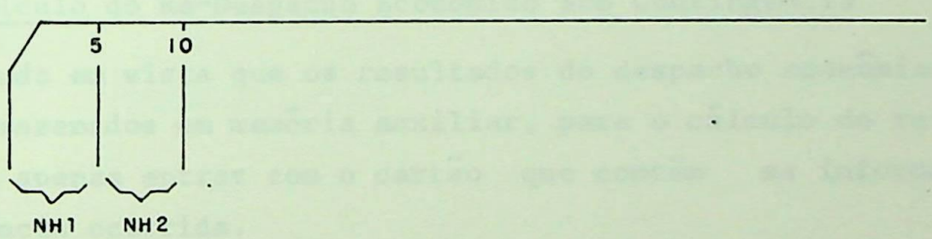
Formato: I 10



g) Um cartão identificando o período de validade do despacho.

NH1 - horário inicial do período.
NH2 - horário final do período

Formato: 2 I5



h) Um conjunto de cartões contendo os dados de cada gerador existente no sistema.

TØL 5 - tolerância especificada para a convergência do Despacho Econômico.

NB - numeração original da barra a que está ligado o gerador.
NG - número de gerador
A - coeficiente quadrático do polinômio que representa a curva de custo horário do gerador.
B - coeficiente linear do polinômio.
D - coeficiente independente do polinômio

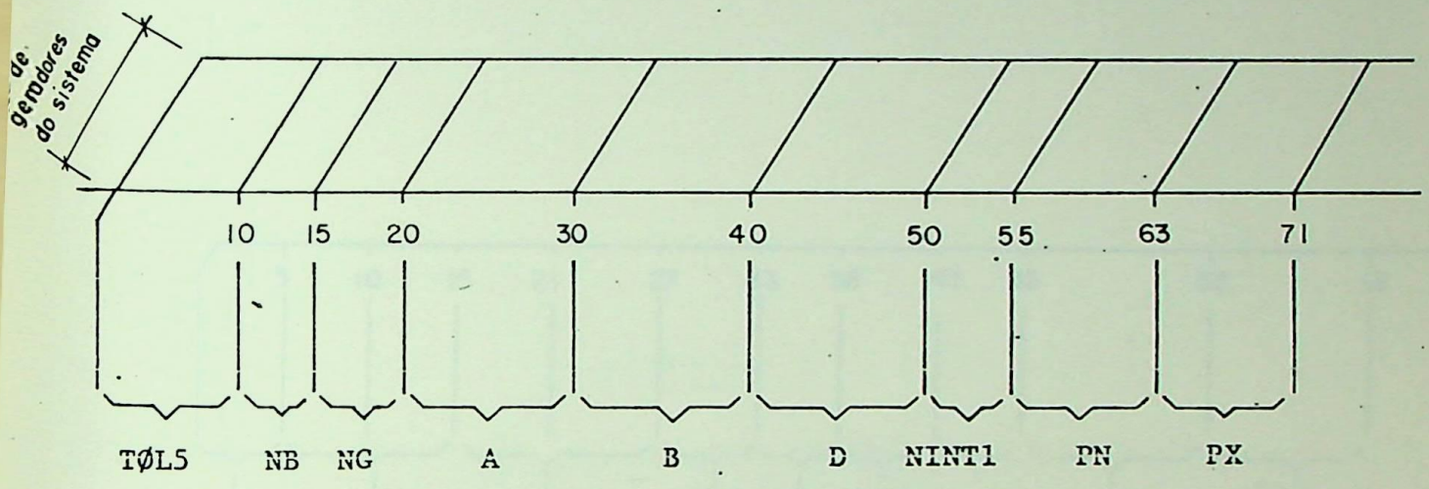
NINT1 - número máximo especificado para as iterações do despacho econômico.

PN - potência mínima possível de ser gerada.

PX - potência máxima possível de ser gerada.

Formato: F 10.5,2I5, 3F10.5, I5, 2F8.3

Obs: O valor de TØL5 deve ser preenchido apenas no último cartão, o que indicará o término do conjunto de dados.



2. Cálculo do Re-Despacho Econômico Sob Contingência

Tendo em vista que os resultados do despacho econômico para o caso base estão armazenados em memória auxiliar, para o cálculo do re-despacho econômico, basta apenas entrar com o cartão que contém as informações do tipo de contingência ocorrida.

NDSJ - nº do disjuntor de acoplamento a ser fechado ou aberto, se a contingência se referir a esse tipo de operação.

(LINEC(J),J=1,2) - numerações originais das barras envolvidas na contingência.

(ZEC(J),J=1,2) - resistência e reatância série da linha em pu, se a contingência se referir à adição em remoção da linha.

YSHC - admitância "shunt" de compensação da linha em pu.

IFALG - chave que indica o tipo de contingência que envolveu a linha ou o disjuntor indicado.

= 0 - remoção da linha ou abertura de disjuntor.

= 1 - adição da linha ou fechamento do disjuntor.

KR - chave que indica se a modificação da configuração do sistema se refere à restauração ao estado de pré-contingência.

= 0 - contingência.

= 1 - restauração

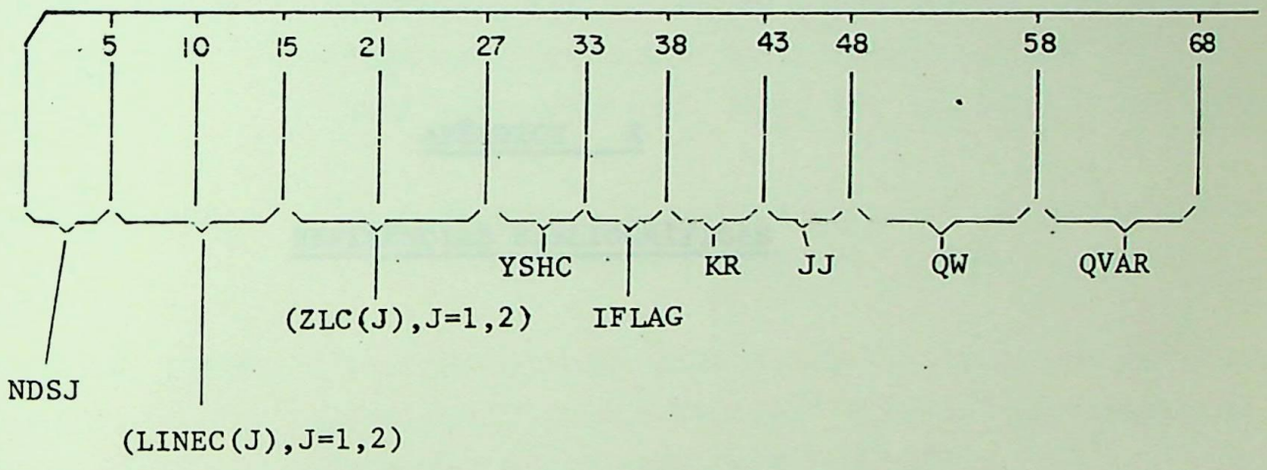
JJ - chave que indica se existem outros casos de contingência simples a calcular.

=0 - existem outros casos de contingência a estudar

=1 - último caso de contingência

QW ≠ 0 } potências ativa e reativa da carga conectada à nova barra
QVAr ≠ 0 } incorporada ao sistema através de uma linha radial.

Formato: 3I5, 3F6.3, 3I5, 2 F10.5



APÊNDICE X

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 - HECTOR ARANGO: Notas de Aula, EFEI, 1978, "Tópicos Avançados em Sistemas Elétricos".
Notas de Aula, EFEI, 1981, "Despacho Econômico de Sistemas Elétricos".

2 - OLLE I. ELGERD: "Introdução à Teoria de Sistemas de Energia Elétrica".

3 - SÉRIE PTI: "Operação Econômica e Planejamento".

4 - KIRCHMAYER: "Economic Operation of Power System".

5 - HOMER E. BROWN: "Grandes Sistemas Elétricos - Métodos Matriciais".

6 - A.H.EL-ABIAD e G.W. STAGG: "Automatic Evaluation of Power System Performance - Effects of Line and Transformer Outages" (AIEE - Transactions, Vol. 81, pág. 712 a 716, 1962).

7 - C.A.MacARTHUR: "Transmission Limitations Computed by Superposition" (AIEE - Transactions, pág. 827 a 831, 1961).

8 - PETERSON, TINNEY E BREE: "Iterative Linear A.C. Power Flow Solution for First Approximate Outage Studies" ("paper" apresentado no "Winter Power Meeting", N.Y., 1972).

9 - HOMER E. BROWN: "Contingencies Evaluated by a Z-Matrix Method" (IEEE Transactions, Vol. PAS-88, pág. 409 a 412, 1969).

10 - HERBERT D.LIMMER: "Techniques and Applications of Security Calculations Applied to Dispatching Computers" (Proc. PSCC, 1969).

11 - H. GLAVITACH: "Economic Load Dispatching and Corrective Rescheduling Using Online Information of the System State".

12 - K. UEMURA: "Power Flow Solution by a Z-Matrix type Method and its Application to Contingency Evaluation".

13 - J.C.TIBÚRCIO: Notas de Aula, EFEI, 1978, "Análise de Sistemas Elétricos

14 - RENATO NUNES: Notas de Aula, EFEI, 1978, "Operação Econômica dos Sistemas Elétricos".

Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ
Itajubá