



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GAT-17
19 a 24 Outubro de 2003
Uberlândia - Minas Gerais

**GRUPO IV
GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT**

DETERMINAÇÃO DE REDES PARA SIMULAÇÃO DIGITAL DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

Flávio Rodrigo de Miranda Alves* Ricardo Mota Henriques João Alberto Passos Filho
CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

Héctor Andrés Rodrigues Volskis Wilkens Geraldes Filho
ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

RESUMO

O processo de reestruturação do setor elétrico brasileiro provocou profundas mudanças em termos das necessidades de estudos elétricos e energéticos. Como resposta a estas necessidades, o ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico - criou os assim denominados Procedimentos de Rede. Estes documentos estabelecem os procedimentos e os requisitos técnicos para o planejamento da operação, o acesso e a operação propriamente dita do Sistema Interligado Nacional (SIN) e as responsabilidades do ONS e de todos os demais Agentes envolvidos na Operação do SIN. Os procedimentos descritos no Submódulo 23.2 [1] estabelecem os critérios para a definição das redes do SIN e apresentam as diretrizes para identificar, dentre todos os componentes do sistema elétrico brasileiro, aquelas que são fundamentais para os estudos elétricos, para a supervisão e para a operação, descartando as demais. Este trabalho descreve a implementação dos critérios para determinação da Rede Complementar e da Rede de Simulação em um programa de fluxo de potência, exemplifica a utilização do programa e comenta as soluções adotadas para solucionar os problemas enfrentados durante o desenvolvimento.

PALAVRAS-CHAVE

Procedimentos de Rede. Rede Complementar. Rede de Simulação. Fluxo de Potência.

1.0 - HISTÓRICO

No ano de 2001, o ONS solicitou ao CEPEL o desenvolvimento de uma ferramenta computacional

que permitisse a determinação automática das Redes Complementar e de Simulação, de acordo com os critérios estabelecidos no Submódulo 23.2 [1] dos Procedimentos de Rede do ONS. O CEPEL analisou o problema e, em função da flexibilidade que seria exigida da ferramenta a ser implementada, optou por incluir no Sistema Integrado para Análise de Redes Elétricas – ANAREDE [2] - um módulo para determinação das Redes Complementar e de Simulação. Desde as reuniões iniciais ficaram evidentes as dificuldades para determinar o caminho para conectar um circuito qualquer, selecionado segundo os critérios, à rede a qual deseja-se adicioná-lo (as redes de simulação e de operação devem ser conexas e o circuito selecionado pode ter ambas barras terminais não pertencentes à rede a qual deva ser conectado).

Com o objetivo de atender às solicitações do ONS, foram desenvolvidas diversas funcionalidades para permitir a definição dos dados, a execução do programa e a análise dos resultados. Concluída a primeira versão operacional, o programa foi utilizado em uma série de simulações efetuadas pelo ONS em Setembro de 2002, nas instalações do CNOS. Durante estas período o CEPEL apoiou continuamente a equipe encarregada das simulações e implementou algumas funcionalidades adicionais que agregaram valor ao programa, facilitando a interpretação dos resultados.

2.0 - SUBMÓDULO 23.2

Para melhor entendimento dos problemas enfrentados e das soluções propostas, é necessário apresentar algumas definições contidas no Submódulo 23.2 [1] dos Procedimentos de Rede do ONS, o qual versa

* Avenida Um, s/n - Cidade Universitária - Ilha do Fundão - Rio de Janeiro - RJ - BRASIL - Cep 21941-590
Tel.: (0xx21) 2598-6258 - Fax: (0xx21) 2598-6451 - e-mail: frma@cepel.br

sobre os critérios para a definição das redes do sistema elétrico interligado.

2.1 Definições

Rede Básica – Rede definida de acordo com os critérios estabelecidos pela ANEEL.

Rede Complementar – Conjunto de instalações não integrantes da Rede Básica, porém com influência significativa na operação daquela rede.

Rede de Operação – União da Rede Básica, Rede Complementar e Usinas submetidas ao Despacho Centralizado.

Rede de Supervisão – Rede de Operação e outras instalações cuja monitoração pelo ONS, via sistema de supervisão, seja necessária para tomar decisões relativas à Rede de Operação, formando uma única ilha elétrica observável.

Rede de Simulação – Rede composta pelas instalações integrantes da Rede de Supervisão, acrescida de outras instalações que devam ser individualizadas na modelagem do sistema para estudos do ONS, porque sua representação por modelos equivalentes levaria a imprecisões significativas de resultados ou porque a operação destas instalações deva ser coordenada com a de instalações da Rede de Operação.

Barras Retidas – Instalações que, apesar de não pertencerem à Rede Complementar ou à Rede de Simulação, devam estar presentes na representação das mesmas.

Geradores com Despacho Centralizado – São consideradas usinas submetidas ao despacho centralizado aquelas com potência líquida disponibilizada para o SIN, no barramento de saída da usina, superior a 30 MW, exceção feita àquelas usinas que os estudos indiquem ter pouca influência sobre a operação de aproveitamentos despachados de forma centralizada, a otimização energética e o nível de segurança da Rede de Operação.

A composição das Redes de Operação e de Simulação é definida a partir de um modelo da rede para estudos de fluxo de potência, denominado Caso com Rede Completa, no qual devem estar representados, obrigatoriamente:

- instalações integrantes da Rede Básica;
- linhas de transmissão não integrantes da Rede Básica em tensão igual ou superior a 230KV;
- subestações não integrantes da Rede Básica com pelo menos um pátio em tensão igual ou superior a 230KV;
- usinas submetidas ao despacho centralizado e as instalações de transmissão que interligam estas usinas ao sistema, e;
- instalações em tensão igual ou superior a 138KV através das quais sejam fechados anéis entre duas ou mais subestações da Rede Básica, sempre que estes anéis operem normalmente ou eventualmente fechados.

2.2 Critérios para definição da Rede Complementar

A incorporação de um circuito à Rede Complementar é definida a partir da simulação de uma contingência simples do mesmo, sendo avaliadas as seguintes grandezas:

- valor absoluto da variação de tensão nos barramentos da Rede Básica superior a 2%. Se esta variação estiver compreendida na faixa de 1,5% a 3,0%, a inclusão da instalação na Rede Complementar será avaliada pelo ONS e o Agente proprietário da mesma.
- valor absoluto da variação de potência ativa nos circuitos da Rede Básica superior a 15 MW ou 5% da capacidade nominal do circuito. Se esta variação estiver compreendida na faixa de 10 a 20 MW ou 4% a 6%, a inclusão da instalação na Rede Complementar será avaliada pelo ONS e o Agente proprietário da mesma.

Não devem ser simuladas contingências que impliquem na abertura de circuitos radiais à Rede Básica que estejam representados no Caso com Rede Completa.

2.3 Critérios para definição da Rede de Simulação

A Rede de Simulação é composta pelo conjunto de instalações integrantes da Rede de Supervisão, acrescido de outras instalações que, apesar de não serem objeto de supervisão em tempo real, devem estar representadas na base de dados adotada nos estudos do ONS.

É importante que a Rede de Simulação permita a representação do comportamento do sistema elétrico com a precisão requerida nos diversos estudos.

A incorporação de um circuito à Rede de Simulação é definida a partir da aplicação de dois critérios distintos. O primeiro critério consiste na aplicação de contingências simples em equipamentos não integrantes da Rede de Operação. Um equipamento integrará a Rede de Simulação quando ocorrer:

- valor absoluto da variação de tensão nos barramentos da Rede de Operação superior a 2%. Se esta variação estiver compreendida na faixa de 1,5% a 3,0%, a inclusão da instalação na Rede de Simulação será avaliada pelo ONS e o Agente proprietário da mesma.
- valor absoluto da variação de potência ativa nos circuitos da Rede de Operação superior a 10 MW ou 5% da capacidade nominal do circuito. Se esta variação estiver compreendida na faixa de 5 a 15 MW ou 4% a 6%, a inclusão da instalação na Rede de Simulação será avaliada pelo ONS e o Agente proprietário da mesma.

O segundo critério consiste na aplicação de contingências simples em equipamentos integrantes da Rede de Operação. Um equipamento (circuito externo à Rede de Operação) integrará a Rede de Simulação quando, para alguma contingência, ocorrer variação de carregamento superior a 20% da sua capacidade nominal.

3.0 - INCLUSÃO NA REDE COMPLEMENTAR OU DE SIMULAÇÃO

Compreendidos os critérios para inclusão de um equipamento na Rede Complementar, um algoritmo intuitivo para sua implementação seria:

1. Ler Caso com Rede Completa.
2. Ler Rede Básica, Geradores c/ Despacho Centralizado e Barras Retidas.
3. Incorporar Barras Retidas à Rede Complementar.
4. Aplicar contingência simples a cada circuito externo à Rede Básica; se algum critério for violado, o circuito (na verdade suas barras terminais) será incorporado à Rede Complementar.

O processo de aplicação de contingências a circuitos externos à Rede de Operação para definição da Rede de Simulação teria estrutura semelhante.

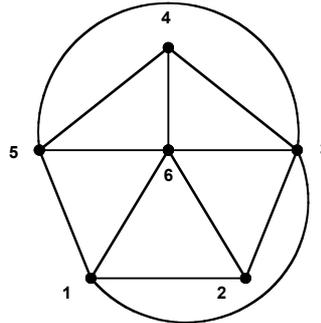
É importante ressaltar que, ao final do processo, a Rede Básica e a Rede Complementar devem formar uma rede elétrica conexa. Não fosse por este fato, a implementação do algoritmo seria simples. Analisemos então as implicações da necessidade de conexão entre a Rede Básica e a Rede Complementar. Suponhamos que a aplicação de uma contingência a um circuito externo à Rede Básica e sem conexão direta com a mesma gere violações de tensão ou fluxo em equipamentos da Rede Básica. Suponhamos ainda que nenhuma outra contingência aplicada a circuitos externos à Rede Básica gere violações de tensão ou fluxo. Se o algoritmo for encerrado nestas condições, a rede elétrica resultante será desconexa. Assim, podemos concluir que, se a aplicação de contingência simples a um circuito externo à Rede Básica gerar violações de tensão ou fluxo internas à mesma, uma das barras terminais do circuito deve ser "conectada" a uma barra da Rede Básica. Se considerarmos que uma das barras terminais do primeiro circuito a ser incorporado à Rede Complementar deve ser conectada à Rede Básica, podemos, finalmente, concluir que, na verdade, basta conectar as barras terminais do circuito a uma barra da Rede Básica ou da Rede Complementar. Isto garante uma rede elétrica conexa ao final da execução do algoritmo.

Com o que foi discutido até agora poderíamos concluir que a solução do problema seria incorporar as barras terminais do circuito cuja contingência gerou violações à Rede Básica/Complementar. O processo de incorporação é trivial quando uma das barras terminais do circuito pertence à Rede Básica/Complementar. No entanto, o que fazer quando as barras terminais não têm conexão com a Rede Básica/Complementar? A solução deste problema envolveu o desenvolvimento de uma rotina de busca em profundidade em grafos [3,4] modificada, com o objetivo de estabelecer o caminho eletricamente mais forte entre as barras terminais do circuito submetido à contingência e a Rede Básica/Complementar. Apresentamos a seguir uns poucos conceitos de grafos com o objetivo de facilitar o entendimento do algoritmo implementado.

Um grafo $G(V,E)$ é um conjunto finito não-vazio V e um conjunto E de pares não-ordenados de elementos

distintos de V . G é um grafo trivial quando $|V|=1$ (cardinalidade de $V=1$). Os elementos do conjunto V são denominados os vértices e os elementos de E são denominados as arestas de G .

Um grafo pode ser visualizado através de uma representação geométrica, na qual seus vértices correspondem a pontos distintos do plano em posições arbitrárias, enquanto que a cada aresta (v,w) é associada uma linha arbitrária unindo os pontos correspondentes a v e w (Figura 1). Em um grafo $G(V,E)$, define-se grau de um vértice $v \in V$, denotado por $\text{grau}(v)$, como sendo o número de vértices adjacentes a v . Se um vértice v de um grafo $G(V,E)$ possuir $\text{grau}(v)=1$, então v é denominado uma folha de G .



$$V=\{1,2,3,4,5,6\}$$

$$E=\{(1,2), (1,3), (3,2), (3,6), (5,3), (5,1), (5,6), (4,6), (4,5), (6,1), (6,2), (3,4)\}$$

Figura 1 – Um grafo $G(V,E)$ e sua representação no plano

Com estes poucos conceitos, é possível notar a semelhança topológica entre um grafo e uma rede elétrica, sendo fácil inferir que algoritmos desenvolvidos para grafos podem ser utilizados ou adaptados para resolver problemas relacionados com redes elétricas.

O algoritmo básico de busca em profundidade em um grafo $G(V,E)$, conexo [3] tem a forma:

```

Procedimento P(v)
  marcar v
  colocar v na pilha S
  para todo w ∈ A(v) efetuar
    se w é não marcado
      visitar (v,w)
      P(w)
  caso contrário
    se w ∈ S e v,w não consecutivos em S
      visitar (v,w)
  retirar v de S

```

```

Programa Principal
  Desmarcar todos os vértices
  Definir uma pilha S
  Escolher a raiz r
  P(r)

```

onde $A(v)$ é a lista de adjacências do vértice v , ou seja, $A(v)$ é o conjunto de nós w , tais que (v,w) é uma aresta de E .

Este algoritmo básico percorre o grafo a partir da raiz r , através de chamadas recursivas ao procedimento $P(r)$. Todos os nós do grafo são alcançados durante a

busca. Além disso, a lista de adjacências $A(v)$ define implicitamente a ordem em que as arestas incidentes a v serão visitadas.

Os Procedimentos de Rede [1] estabelecem que não devem ser simuladas contingências que impliquem na abertura de circuitos radiais à Rede Básica/Complementar. Em termos de grafos, um circuito radial à Rede Básica/Complementar é o caminho simples que conecta um nó v tal que $\text{grau}(v) = 1$ a um nó k tal que $k \in \text{Rede Básica}$ e $\text{grau}(k) \geq 2$. É importante observar que uma rede elétrica é, na verdade, representada por um multigrafo e não por um grafo. Assim, podem existir arestas paralelas e $\text{grau}(k)$ não equivale ao número de arestas incidentes a k como ocorre em um grafo. O algoritmo básico foi modificado com o objetivo de percorrer a rede elétrica, a partir de uma barra selecionada pelo processo de aplicação de contingências, até que seja encontrada uma barra pertencente à Rede Básica/Complementar. Quando uma barra que atende a esta condição é encontrada, o algoritmo é encerrado. As chamadas recursivas do algoritmo são então desempilhadas, preservando na pilha S o caminho entre a barra que se deseja incluir na Rede Complementar e a primeira barra pertencente à Rede Básica/Complementar. Finalmente, as listas de adjacência dos nós foram previamente colocadas em ordem crescente de capacidade de carregamento dos circuitos. Desta forma é garantido que o caminho selecionado será, dentre todos os possíveis, aquele eletricamente mais forte. O algoritmo modificado tem a forma:

```

Procedimento P(v)
  marcar v
  colocar v na pilha S
  se  $v \in R_c \cap R_b$ 
    RedeEncontrada  $\leftarrow$  VERDADEIRO
  caso contrário
    para todo  $w \in A(v)$  efetuar
      se  $w$  é não marcado
        visitar (v,w)
        P(w)
      caso contrário
        se  $w \in S$  e  $v, w$  não consecutivos em S
          visitar (v,w)
    se RedeEncontrada == FALSO
      retirar v de S

```

```

Programa Principal
  Definir uma pilha S
   $R_c \leftarrow \emptyset$ 
  Marcar os circuitos da Rede Básica
  Identificar e marcar os circuitos radiais
  Para todo circuito (v,w) não marcado
    Aplicar contingência
    Se ocorreu violação de fluxo ou tensão
      Se  $v \in R_c \cap R_b$ 
        Marcar (v,w)
         $R_c \leftarrow R_c \cup w$ 
      Caso contrário se  $w \in R_c \cap R_b$ 
        Marcar (v,w)
         $R_c \leftarrow R_c \cup v$ 
      Caso contrário se existe  $k \in A(v) \cap A(w)$  tal
        que  $k \in R_c \cap R_b$ 
         $R_c \leftarrow R_c \cup (v,w)$ 
        Marcar (v,k), (w,k), se existirem
        Marcar (v,w)
      Caso contrário se (v,w) é um transformador
         $k \leftarrow$  barra de maior tensão entre v e w

```

```

j  $\leftarrow$  barra de menor tensão entre v e w
Inicializar a pilha S
RedeEncontrada  $\leftarrow$  FALSO
P(k)
Incluir todas as barras de S em  $R_c$ 
Marcar (x,y), x e y consecutivos em S
 $R_c \leftarrow R_c \cup j$ 
Marcar (k,j)
Caso contrário
Inicializar a pilha S
RedeEncontrada  $\leftarrow$  FALSO
P(v)
Incluir todas as barras de S em  $R_c$ 
Marcar (x,y), x e y consecutivos em S
 $R_c \leftarrow R_c \cup w$ 
Marcar (v,w)

```

onde

R_c é o conjunto de barras da Rede Complementar,
 R_b é o conjunto de barras da Rede Básica, e
 $A(v)$ é a lista de adjacências do nó v .

4.0 - AMBIENTE DE IMPLEMENTAÇÃO

A plataforma escolhida para a implementação do algoritmo descrito foi o Sistema Integrado para Análise de Redes – ANAREDE, desenvolvido pelo CEPEL. Para isto, toda a estrutura de dados e seus algoritmos de inserção, modificação, remoção e compactação de dados foram amplamente utilizados, além de toda a metodologia já implementada para solução do problema de fluxo de potência, incluindo métodos de solução e estratégias para tratamento de controles e limites [5,6].

5.0 - IMPLEMENTAÇÃO DOS CRITÉRIOS

A implementação do módulo de determinação das Redes Complementar e de Simulação consistiu de:

- criação de um novo Código de Execução para a inclusão dos dados da Rede Básica, Geradores com Despacho Centralizado, Barras Retidas e instalações submetidas ao sistema de supervisão;
- criação de um novo Código de Execução para a ativação do algoritmo de determinação das Redes Complementar e de Simulação;
- criação de relatórios que facilitam a análise do comportamento do algoritmo e os critérios utilizados para a inclusão de cada barra nas Redes Complementar e de Simulação, e;
- criação de constantes que permitem ao usuário a modificação dos limites utilizados para avaliação da severidade das violações de fluxo e tensão.

Os Códigos e Opções de Execução [2,7] implementados estão descritos a seguir, bem como as novas constantes, as quais estão relacionadas com os valores de violação de fluxo e tensão utilizados na determinação da severidade das contingências simples aplicadas aos circuitos.

5.1 Contingências

Foi implementado um procedimento automático para simulação de todas as contingências simples necessárias à determinação das Redes Complementar e de Simulação. Este procedimento é ativado pelo Código de Execução EXRC [7] e inclui a avaliação da severidade destas contingências segundo os critérios estabelecidos. As Opções de Execução descritas na Tabela 1 podem ser ativadas em complemento ao Código de Execução EXRC [7].

Tabela 1 – Opções de Execução do Código EXRC

Opção	Descrição
SIMU	Aciona a aplicação do algoritmo de determinação da Rede de Simulação em seguida à determinação da Rede Complementar.
PMVA	Para efeito da avaliação das violações de fluxo em circuito, considera a potência aparente (MVA) e não a potência ativa (MW).
CHAV	Faz com que a inclusão de um circuito na Rede Complementar em função de violação de fluxo só ocorra se houver, simultaneamente, violação do limite de variação percentual (%) e violação do limite de variação absoluta (MW). O mesmo ocorre quando da avaliação do 1º Critério para inclusão de um circuito na Rede de Simulação.

5.2 Constantes

A avaliação dos critérios estabelecidos para inclusão de circuitos nas Redes Complementar e de Simulação leva em conta valores percentuais, valores absolutos e faixas de valores de tensão em barramentos e fluxo em circuitos. Foram criadas constantes que permitem flexibilizar os critérios de inclusão. Estas constantes estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Constantes para Flexibilização dos Critérios

Constante	Descrição	Padrão
VAVT	Varição percentual de tensão mínima para inclusão na Rede Complementar.	2.0 %
VAVF	Varição percentual de fluxo mínima para inclusão na Rede Complementar.	5.0 %
VMVF	Varição absoluta de fluxo mínima para inclusão na Rede Complementar.	15.0 MW
VPVT	Varição percentual de tensão mínima para inclusão na Rede de Simulação - 1º Critério.	2.0 %
VPVF	Varição percentual de fluxo mínima para inclusão na Rede de Simulação - 1º Critério.	5.0 %
VPMF	Varição absoluta de fluxo mínima para inclusão na Rede de Simulação - 1º Critério.	10.0 MW
VSVF	Varição percentual de fluxo mínima para inclusão na Rede de Simulação - 2º Critério.	20.0 %
VINF	Varição para definição dos limites inferiores das faixas.	1.0
VSUP	Varição para definição dos limites superiores das faixas.	1.0

5.3 Ilhamento

Não são simuladas contingências em circuitos radiais à Rede Básica que estejam representadas no Caso com Rede Completa. Esses circuitos integrarão a Rede Complementar somente nos casos em que interligarem ao sistema usinas submetidas ao despacho centralizado, conforme definido no Submódulo 23.2 [1].

Circuitos não radiais cuja remoção tenha como consequência a formação de uma rede elétrica ilhada são automaticamente incluídos nas Redes Complementar e de Simulação.

5.4 Rede CC

Para representar adequadamente os elos de corrente contínua presentes no Caso com Rede Completa, foi elaborado um critério adicional para a avaliação da Rede Complementar. Utilizando as barras de interface de cada conversor CA-CC como raiz, o procedimento de busca é ativado com o objetivo de conectar estas barras à Rede Básica/Complementar. Caso não seja encontrado um caminho, todas as barras daquela ilha elétrica são consideradas como pertencentes à Rede Complementar.

5.5 Redução da Rede Elétrica

Para a determinação da rede equivalente, ao final do processo de geração das redes Complementar ou de Simulação, foi utilizado o módulo de Equivalente de Redes do programa ANAREDE [2]. O objetivo é a determinação de uma rede reduzida que represente adequadamente o comportamento da Rede Completa. As barras da rede CA são divididas em duas regiões denominadas sistema interno e sistema externo. O sistema interno, neste caso, é composto pelas barras das redes de Operação ou Simulação e o sistema externo pelas barras a serem eliminadas do Caso com Rede Completa. O método utilizado para obtenção da rede reduzida do sistema externo é o método de injeção de potência, no qual substitui-se os fluxos entre as barras de fronteira e as barras externas por injeções adicionais nas barras de fronteira [2,5].

6.0 - RESULTADOS

Foram realizadas simulações para os quatro cenários de carga usuais (Mínima, Leve, Média e Pesada), com e sem a opção CHAV ativada (Tabela 2). Esta opção modifica o critério original estabelecido no Submódulo 23.2 [1]. Um circuito é normalmente incluído na Rede Complementar se houver violação percentual o u absoluta de fluxo. A opção CHAV determina que o circuito seja incluído na Rede Complementar somente se ocorrer violação percentual e absoluta de fluxo.

O resumo dos resultados destas simulações encontra-se na Tabela 3 e na Figura 2, na qual são indicadas, respectivamente, as barras que constituem a Rede de Operação (Redes Básica e Complementar e barras retidas) e as barras que devem ser excluídas do Caso com Rede Completa.

Tabela 3 – Sumário dos Casos Executados pelo Programa

Casos		Condição Final das Barras nos Casos Após a Execução do Algoritmo para Determinação da Rede Complementar				
		REDES				
		Completa	Básica	Complementar	Retidas	Eliminadas
Opção CHAV=OFF	Mínima	2903	1050	161	153	1539
	Leve	2908	1050	189	153	1516
	Média	2908	1050	238	153	1467
	Pesada	2907	1050	274	153	1430
Opção CHAV=ON*	Mínima	2903	1050	75	153	1625
	Leve	2908	1050	95	153	1610
	Média	2908	1050	154	153	1551
	Pesada	2907	1050	184	153	1520

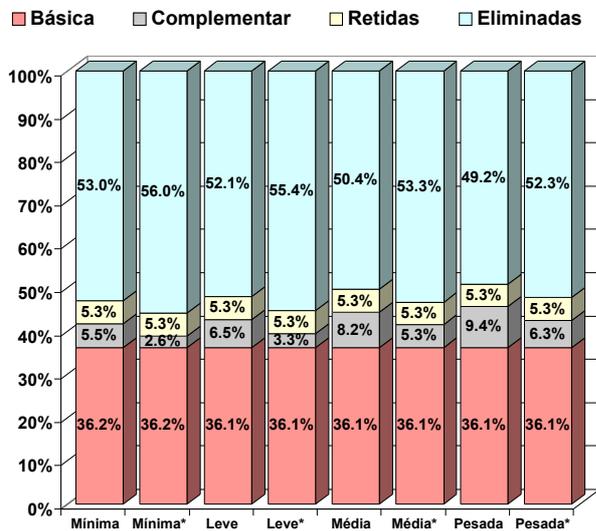


Figura 2 – Distribuição Percentual do Número de Barras entre as Redes Após a Execução do Algoritmo

7.0 - CONCLUSÕES

Como todo modelo utilizado em simulações digitais, a rede elétrica utilizada em estudos de regime permanente deve manter um compromisso entre nível de detalhe e número de informações. Quanto maior a rede, maior o nível de detalhamento, mas o acréscimo em termos de resultados advindos deste maior nível de detalhe é realmente importante? O objetivo do programa de definição da Rede Complementar é exatamente reduzir a quantidade de informações do modelo de rede utilizado nos estudos ao estritamente necessário, permitindo que o engenheiro de potência concentre sua atenção nos elementos da rede que realmente têm influência na sua operação.

A utilização do programa comprovou a importância de se reduzir o número de barras e circuitos da rede

elétrica a ser utilizada nos estudos e na operação do sistema elétrico brasileiro. A obtenção desta redução foi facilitada pela inclusão de uma opção que só efetiva a inclusão de um circuito se tanto o critério de variação percentual quanto o critério de variação absoluta de fluxo forem violados.

Para o bom funcionamento do programa é essencial que os dados da Rede Completa contenham informações corretas sobre a tensão base de cada elemento da rede elétrica, limites de geração de potência reativa de geradores e compensadores síncronos e limites de carregamento de linhas de transmissão e transformadores. Também deve ser evitada a utilização de circuitos equivalentes. A correção destas informações é fundamental para a correta avaliação dos critérios considerados. Informações incorretas induzirão o programa a tomar decisões erradas.

Foi detectada a necessidade de acrescentar algumas funcionalidades que aumentarão a facilidade de uso do programa. Dentre estas novas funcionalidades a mais importante seria considerar a análise automática de diversos cenários para decidir sobre a inclusão de um equipamento na Rede Complementar ou de Simulação. Esta funcionalidade estará presente em uma futura versão do programa. Uma outra possibilidade vislumbrada é a utilização de critérios semelhantes para a definição de redes para estudos de planejamento da expansão. Finalmente, também se mostrou necessário implementar o tratamento adequado para barras fictícias de transformadores de três terminais e derivações de circuitos.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Procedimentos de Rede, Submódulo 23.2 – *Critérios para a Definição das Redes do Sistema Elétrico Interligado*, ONS, Rev. 09/05/2002
- [2] Alves, F.R.M, Guimarães, C.H.C., Pinto, H.J.C.P., Binato, S. - *Programa de Análise de Redes – Manual do Usuário - Relatório Técnico DPP/PEL – 530/87*, Rev. 08/99, CEPEL
- [3] Swarcfiter, J. L., *Grafos e Algoritmos Computacionais*, Editora Campus, 1983
- [4] Cormen, T., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., *Introduction to Computer Algorithms*, McGraw-Hill Book Company, 1989
- [5] Monticelli, A. J., *Fluxo de Carga em Redes de Energia Elétrica*, Editora Edgard Blücher Ltda, 1983
- [6] Pinto, H. J. C. P., Pereira, J. L. R., Martins, N., Passos Filho, J. A., Gomes Junior, S., Alves, F. R. M., Ferraz, J. C. R., Henriques, R. M. and Costa, V. M., “Needs and Improvements in Power Flow Analysis”, *Proceedings of the VII SEPOPE*, Curitiba, PR, May 2000
- [7] Alves, F. R. M., Henriques, R. M., Passos Filho, J. A., *Especificação Detalhada do Programa de Definição da Rede Complementar e da Rede de Simulação - Relatório Técnico DPP/POL – 549/2002*, CEPEL