Campus de São Carlos

**UMA ESTRATÉGIA ÓTIMA PARA O DESPACHO DE
POTÊNCIA ATIVA AC COM RESTRIÇÃO NA TRANSMISSÃO**

Autora: Márcia Marcondes Rezende Simões Altimari

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Roberto Martins da Costa

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia Elétrica

**UMA ESTRATÉGIA ÓTIMA PARA O DESPACHO DE
POTÊNCIA ATIVA AC COM RESTRIÇÃO NA
TRANSMISSÃO**

Márcia M. R. S. Altimari

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos, da Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo R. M. da Costa

São Carlos

1999

Class.	TESE
Cutt.	0268
Tombo	179/99

5/5 1053382

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

A468u Altimari, Márcia M. R. S.
Uma estratégia ótima para o despacho de potência
ativa AC com restrição na transmissão / Márcia M. R.
S. Altimari. -- São Carlos, 1999.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.

Área: Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo R. M. da Costa.

1. Fluxo de potência ótimo. 2. Despacho de potência
ativa. 3. Perdas de energia elétrica. 4. Margem de
segurança. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Engenheira **MÁRCIA MARCONDES REZENDE SIMÕES ALTIMARI**

Dissertação defendida e aprovada em 27-08-1999
pela Comissão Julgadora:

Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Dra. **MARIA CRISTINA DIAS TAVARES**
(Pesquisadora - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **ALBERTO BIANCHI JUNIOR**
(Escola Politécnica - Universidade de São Paulo)

Profa. Associada **VILMA ALVES DE OLIVEIRA**
Coordenadora da Área de Engenharia Elétrica

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

*Para minha mãe,
minha grande incentivadora
e amiga, por ter me influenciado no
gosto pelos estudos e aprimoramento do saber.*

*Aquele que habita no esconderijo do Altíssimo,
à sombra do Onipotente descansará.
Direi do Senhor: Ele é o meu Deus,
o meu refúgio, a minha fortaleza, e Nele confiarei.*

Salmo 91,2

Agradecimentos

Especialmente ao Prof. Dr. Geraldo Roberto Martins da Costa por desempenhar com excelência a missão de Mestre e Orientador e, por sua participação constante e fundamental na elaboração deste trabalho.

Ao meu futuro esposo Fuad Miguel por sua presença, ainda que ausente, durante mais esta etapa, não só da minha, mas de nossas vidas.

Aos meus irmãos: Fernando, Eduardo, Júlia e Gustavo pois com certeza torceram por mim e, aos meus tios: Cristina e Ricardo por terem me acolhido na minha chegada.

Ao pessoal do LOSE: Edméa, João e Edmárcio pelas trocas de idéias, pelo apoio e principalmente pela amizade.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica pela prestação de serviços e pela atenção.

À CAPES – Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – pela concessão da bolsa de estudos que possibilitou a efetivação deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE SÍMBLOS.....	x
RESUMO.....	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xiv
1. INTRODUÇÃO	
1.1 Introdução.....	1
1.2 Objetivo.....	3
1.3 Organização do Trabalho.....	3
2. O Problema de Despacho Ótimo	
2.1 Introdução.....	5
2.2 Histórico.....	5
3. O Problema de Despacho de Potência Ativa AC	
3.1 Introdução.....	24
3.2 Fluxo de Potência.....	24
3.3 Fluxo de Potência Ótimo.....	30

3.3.1 Despacho de Potência Ativa AC.....	34
3.3.2 Função Lagrangeana Aumentada.....	36
3.3.3 Método de Newton Modificado.....	38
3.3.4 Algoritmo Simplificado.....	41
3.4 Margem de Segurança.....	42
 4. TESTES E RESULTADOS	
4.1 Introdução	44
4.2 Estudo 1: Exemplo Ilustrativo.....	44
4.3 Estudo 2: Sistema IEEE 14 Barras.....	48
4.3.1 Caso Base.....	49
4.3.2 Estudos com Restrição na Transmissão.....	50
4.4 Estudo 3: Sistema IEEE 30 Barras.....	52
4.4.1 Caso Base.....	53
4.4.2 Estudos com Restrição na Transmissão.....	55
4.5 Estudo 4: Sistema IEEE 57 Barras.....	56
4.5.1 Caso Base.....	57
4.5.2 Estudos com Restrição na Transmissão.....	59
4.6 Análise dos Resultados.....	61
 5. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES	63
 BIBLIOGRAFIA.....	65
APÊNDICE 1.....	69
APÊNDICE 2.....	71
APÊNDICE 3.....	90
APÊNDICE 4.....	121

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01: Curva de Entrada e Saída para uma Unidade Geradora.....	07
FIGURA 02: Curva Incremental <i>versus</i> Potência de Saída para uma Unidade Geradora.....	09
FIGURA 03: Curva de Geradores Operando com mesmo Custo Incremental.....	11
FIGURA 04: Sistema 3 Barras.....	45
FIGURA 05: Distribuição dos Fluxos pelo Programa Fluxo de Potência.....	46
FIGURA 06: Distribuição dos Fluxos pelo Programa Despacho de Potência Ativa.....	47
FIGURA 07: Sistema IEEE 14 Barras.....	48
FIGURA 08: Sistema IEEE 30 Barras.....	53
FIGURA 09: Sistema IEEE 57 Barras.....	57

LISTA DE TABELAS

TABELA 01: Características do Sistema 3 Barras.....	45
TABELA 02: Potências ativas geradas e seus limites para o Sistema IEEE 14 Barras.....	49
TABELA 03: Potências reativas geradas e seus limites para o Sistema IEEE 14 Barras.....	49
TABELA 04: Tensões nas barras de controle de reativos e seus limites para o Sistema IEEE 14 Barras.....	50
TABELA 05: Restrição no Fluxo Máximo entre as barras 1 e 2 no Sistema IEEE 14 Barras.....	51
TABELA 06: Restrição no Fluxo Máximo entre as barras 2 e 4 no Sistema IEEE 14 Barras.....	51
TABELA 07: Restrição no Fluxo Máximo entre as barras 9 e 14 no Sistema IEEE 14 Barras.....	52
TABELA 08: Potências ativas geradas e seus limites para o Sistema IEEE 30 Barras.....	53
TABELA 09: Potências reativas geradas e seus limites para o Sistema IEEE 30 Barras.....	54
TABELA 10: Tensões nas barras de controle de reativos e seus limites para o Sistema IEEE 30 Barras.....	54
TABELA 11: Restrição no Fluxo Máximo entre as barras 1 e 2 no Sistema IEEE 30Barras.....	55

TABELA 12: Restrição no Fluxo Máximo entre as barras 2 e 6 no Sistema IEEE	
30 Barras.....	55
TABELA 13: Restrição no Fluxo Máximo entre as barras 12 e 15 no Sistema IEEE	
30 Barras.....	56
TABELA 14: Potências ativas geradas e seus limites para o Sistema IEEE	
57 Barras.....	58
TABELA 15: Potências reativas geradas e seus limites para o Sistema IEEE	
57 Barras.....	58
TABELA 16: Tensões nas barras de controle de reativos e seus limites para o Sistema	
IEEE 57 Barras.....	59
TABELA 17: Restrição no Fluxo Máximo entre as barras 8 e 7 no Sistema IEEE	
57 Barras.....	60
TABELA 18: Restrição no Fluxo Máximo entre as barras 46 e 47 no Sistema IEEE	
57 Barras.....	60

LISTA DE SÍMBOLOS

- B : Matriz Lagrangeana Aproximada do Método de Newton Modificado
- B_{km} : susceptância da linha entre as barras k e m
- B_{nm} : matriz dos coeficientes de perdas
- C_i : custo de geração da unidade i
- $f(x)$: função objetivo que representa o desempenho do sistema de potência
- F_{ij} : fluxo na linha entre as barras i e j
- $F_{max,ij}$: máximo fluxo entre todas as linha i - j
- FP : Fator de Penalidade
- $g_i(x)$: equações do fluxo de potência
- G_{km} : condutância da linha entre as barras k e m
- $h_j(x)$: inequações funcionais do fluxo de potência
- J : Matriz Jacobiana
- k : índice da barra k
- kl : índice da linha entre as barras k e l
- L : Função Lagrangeana
- l : índice da barra l
- La : Função Lagrangeana Aumentada
- m : índice da barra m

- n : número de iterações
- nb : número de barras da rede elétrica
- nbc : número de barras de carga
- nbc_r : número de barras de controle de reativo
- nbg : número de barras de geração
- nl : número de linhas
- nt : número de transformadores
- P : potência ativa
- P_D - demanda total
- P_{lk} : fluxo de potência ativa da barra l para a barra k
- P_{fluxo}, Q_{fluxo} : fluxo de potência ativa e reativa
- pf_m, pf_n : fatores de potência das linhas m, n
- P_{Gi} : potência de geração da unidade i
- P_k, Q_k : potências ativa e reativa indeterminadas na barra k
- P_k^D, Q_k^D : potências ativa e reativa consumidas na barra k
- P_k^{esp}, Q_k^{esp} : potências ativa e reativa especificadas na barra k
- P_k^G, Q_k^G : potências ativa e reativa geradas na barra k
- P_k^{min}, P_k^{max} : potência ativa mínima e máxima na barra k
- $P_L(P_{Gi})$: perdas na linha de transmissão que são função da potência gerada
- P_L : perdas na transmissão
- P_m, P_n : carregamento das máquinas a ser alocado
- Q : potência reativa
- Q^{min}, Q^{max} : potências reativas mínima e máxima

$Q_{\text{fluxo}}^{\min}, Q_{\text{fluxo}}^{\max}$: fluxo de potência reativa mínimo e máximo

R_m, R_n : resistências das linhas m, n

t : vetor dos *taps* dos transformadores

$t_k^{\min}, t_k^{\max}$: limites mínimo e máximo nos *taps* dos transformadores

V : vetor das magnitudes das tensões

V_k, V_m, V_n : tensões nas barras k, m e n

$V^{\min}, V^{\max}$: tensões mínima e máxima

W_B : Matriz Hessiana do Método de Newton Modificado

w_{ij} : fator peso para a linha entre as barras i e j

$x_{\min}, x_{\max}$: limites das variáveis de estado e de controle

λ : multiplicador de Lagrange associado às restrições de igualdade

v : fator de penalidade associado às restrições violadas

μ : multiplicador de Lagrange associado às restrições de desigualdade

ξ : tolerância especificada

θ : vetor dos ângulos das tensões

θ_{km} : ângulo das tensões da barra k para a barra m

$\Delta P, \Delta Q$: equações de balanço de potência ativa e reativa

RESUMO

Altimari, M. M. R. S. (1999). *Uma Estratégia Ótima para o Despacho de Potência Ativa AC com Restrição na Transmissão*, São Carlos, 1999, 159p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Neste trabalho realizamos um estudo do Despacho de Potência Ativa AC, o qual é uma estratégia de alocação da geração de potência entre as usinas de um sistema. Para isto, obtivemos dados teóricos, a partir de levantamento bibliográfico, que explicitaram os conceitos de Despacho Ativo. Fundamentamos, metodologicamente, nossa pesquisa no Método da Função Lagrangeana Aumentada. O sistema de equações resultantes das condições de otimalidade foram resolvidos pelo Método de Newton Modificado. Apresentamos os resultados de estudos de casos acadêmicos para a validação e verificação da eficiência da abordagem proposta. Os resultados indicaram uma coerência com as perspectivas reais de contribuição na resolução do Despacho Ótimo de Potência Ativa AC.

Palavras-chaves: Fluxo de Potência Ótimo, Despacho de Potência Ativa AC, Otimização, Sistemas de Energia Elétrica, Margem de Segurança.

ABSTRACT

In this work we accomplished a study of the AC Active Power Dispatch, which is a strategy of distribution of the power generation among the plants of a system. For this, we obtained theoretical data, starting from bibliographical investigation, that elucidated the concepts of Active Dispatch. We based our research in the Method of the Augmented Lagrangian Function. The equation system originated of the optimal conditions was solved for Modified Newton's Method. We presented the results of studies of academic cases for the validation and verification of the efficiency of the proposal approach. The results indicated a coherence with the real perspectives of contribution in the resolution of the AC Active Optimal Power Dispatch.

Keywords: Optimal Power Flow, AC Active Power Dispatch, Optimization, Energy Electric Systems, Security Margin.

Capítulo 1

Introdução

1.1-Introdução

A reestruturação e a desregulamentação do setor elétrico vêm ganhando muita atenção. Existem alguns problemas operacionais, que ainda não foram resolvidos. O problema de Despacho de Potência Ativa é um deles: como despachar potência ativa considerando os limites na transmissão, mantendo as tensões e as injeções de reativos dentro de seus limites.

A maior fonte de complicações técnicas associadas à entrega de energia em ambientes desregulamentados consiste na capacidade de transmissão de potência nas linhas do sistema. As linhas de transmissão, que aparentemente apresentam características de um entreposto natural de energia, são a maior fonte de complicações técnicas em um mercado competitivo. Elas possuem capacidade limitada e exibem comportamentos característicos que são governados por leis físicas, as quais não estão sujeitas aos contratos de negócios.

Os acordos entre vendedor e comprador, em ambientes desregulamentados, são efetuados através de estratégias econômicas próprias. Após a determinação dos acordos, cabe ao vendedor a responsabilidade pelas perdas de potência ativa na transmissão. Assim, o vendedor deverá encontrar o melhor caminho para que a energia seja entregue ao comprador.

A ferramenta que as empresas de energia elétrica necessitam para contornarem estes problemas e tornarem-se mais eficientes consiste na utilização de programas computacionais, como o Fluxo de Potência Ótimo (FPO). Este, com seu explícito reconhecimento das características da rede, determina o melhor ponto de operação do sistema.

Historicamente, o FPO foi originado através de uma nova formulação para o problema de Despacho Econômico. Atualmente, o FPO tornou-se um problema genérico, do qual fazem parte outros subproblemas. O Subproblema Ativo compreende, entre outros, o Despacho Econômico, o Despacho de Potência Ativa e o Despacho Ambiental. O Despacho Econômico (DE) é um processo de ajuste entre a demanda do sistema e a geração disponível, tal que o custo da geração seja mínimo. O Despacho de Potência Ativa leva em consideração as condições operacionais e de segurança do sistema de transmissão. O crescimento rápido e mal planejado da produção e do consumo energético leva a impactos ambientais que podem comprometer o desenvolvimento. A geração de energia em usinas termelétricas, seja através de combustíveis fósseis ou nucleares, podem provocar os mais sérios impactos ambientais, como poluição do ar ou lixo radioativo. Para minimizar estes efeitos, o Despacho Econômico com Restrições de Emissão, conhecido como Despacho Ambiental, pode ser empregado usando-se técnicas similares àsquelas do Despacho Econômico Clássico, considerando que a emissão de poluentes para o ambiente pode ser reduzida por esquemas apropriados.

1.2 – Objetivo

O objetivo deste trabalho é implementar em um programa de Fluxo de Potência Ótimo as potências ativas nas barras de geração, como variáveis canalizadas e, os limites nas linhas de transmissão. O programa computacional utiliza o Método da Lagrangeana Aumentada. Desejamos alocar a potência total requerida pela demanda, entre as unidades geradoras do sistema, de tal forma que as perdas na transmissão sejam mínimas e, que os critérios de segurança das linhas de transmissão sejam satisfeitos.

1.3 – Organização do Trabalho

Neste capítulo fizemos uma breve introdução do problema de Despacho de Potência Ativa AC e traçamos os objetivos nos quais este trabalho está fundamentado. Prosseguimos relatando os desenvolvimentos realizados nos capítulos posteriores.

No Capítulo 2 apresentamos um histórico do problema de Despacho de Potência Ativa AC. Iniciamos discutindo o surgimento do problema de Despacho Econômico, por volta de 1920, e sua evolução, citando os principais trabalhos que possibilitaram a formulação do FPO, na década de 60. A partir desta data, selecionamos apenas aqueles trabalhos que nos influenciaram na adoção de nossa linha de pesquisa.

No Capítulo 3 apresentamos o problema de Fluxo de Potência e o subproblema de Despacho de Potência Ativa AC. Escrevemos sua formulação completa e apresentamos o Método da Função Lagrangeana Aumentada. Finalmente, definimos o conceito de Margem de Segurança.

No Capítulo 4 utilizamos os sistemas 3 Barras, IEEE-14, IEEE-30 e IEEE-57 para realizar os estudos, considerando como objetivo a minimização das perdas de potência ativa na transmissão.

No Capítulo 5 apresentamos os comentários e as conclusões obtidas da análise dos resultados na aplicação do programa Despacho de Potência Ativa AC. Através da experiência adquirida, sugerimos modificações para trabalhos futuros nesta área.

Capítulo 2

O Problema de Despacho Ótimo

2.1 – Introdução

Na década de 30, alguns métodos foram utilizados com o objetivo de minimizar o custo de combustível na geração. A adição das perdas na transmissão ao modelo da rede teve início em 1943, resultando no modelo do Despacho Econômico Clássico. No início da década de 60, CARPENTIER (1962) apresentou uma formulação matemática do Despacho Econômico, a qual resultou no problema do Fluxo de Potência Ótimo. A chegada do Fluxo de Potência Ótimo marcou o fim do período clássico do Despacho Econômico. Desde então, o Fluxo de Potência Ótimo tornou-se um problema genérico, do qual fazem parte outros sub problemas, como é o caso do Despacho de Potência Ativa.

2.2- Histórico

O Despacho Econômico (DE) iniciou-se com um problema que envolvia duas ou mais unidades geradoras, as quais estavam comprometidas a entregar energia a uma carga. No entanto, a soma de suas gerações excedia a potência requerida pela carga.

O problema que surgiu foi: como, exatamente, dividir o carregamento entre as unidades geradoras da “melhor maneira possível”.

O DE pode ser definido como uma estratégia de alocação da demanda de carga requerida entre as unidades geradoras disponíveis, tal que o custo de operação seja mínimo. Em qualquer condição de carga de um sistema, a contribuição de cada usina e de cada unidade dentro desta usina devem ser avaliadas.

O problema de suprimento de energia elétrica a baixo custo é influenciado por itens tais como: eficiência do equipamento de geração, custo da instalação e custo do combustível para as usinas termelétricas. Os fatores envolvidos no custo de produção podem ser divididos em fixos e variáveis. Os custos fixos incluem os investimentos de capital, os juros sobre empréstimos, os salários, taxas e outras despesas que são independentes da carga do sistema. Custos variáveis são aqueles afetados pelo carregamento das unidades geradoras com diferentes taxas de combustível ou água, pelo controle de perdas causadas por fluxos de reativos, pela combinação da operação de geração hidráulica e térmica para atender os requisitos diários de carga e pela compra e venda de energia.

Os sistemas atuais são, muitas vezes, constituídos de diversas fontes de energia elétrica, como usinas termelétricas convencionais, nucleares, hidráulicas, de turbinas a gás e também fontes externas, onde a energia pode ser comprada. O problema fundamental é a determinação da melhor combinação entre as fontes e respectivas cargas, de modo a resultar no custo de produção global mínimo.

O combustível usado em usinas termelétricas pode ser gás natural, óleo, material nuclear, ou carvão, com custos diferenciados e variáveis entre si. Além disso, deve ser mencionado que a carga em um sistema varia constantemente.

Por esta razão o problema de operação econômica deve ser freqüentemente reavaliado e, se necessário, a alocação das cargas entre as diversas fontes de energia deve seguir um reajuste constante, de forma que os desvios da condição mais econômica sejam sempre minimizados.

Para determinarmos a distribuição econômica da carga entre as várias unidades geradoras, o custo variável de operação de cada unidade deve ser expresso em termos da potência de saída. Basearemos nossa discussão na economia do custo do combustível, considerando que outros custos que são função da potência da saída podem ser incluídos na expressão do custo do combustível.

Uma curva típica entrada-saída que é um gráfico da entrada de combustível para uma usina de combustível fóssil em Btu por hora *versus* a potência de saída da unidade em megawatts, está indicada na Figura 01.

FIGURA 01 : Curva de Entrada e Saída para uma Unidade Geradora .

A ordenada da curva é convertida para dólar, multiplicando-se a entrada de combustível pelo custo de combustível em dólares por milhão de Btu.

Em 1920, alguns engenheiros já haviam se conscientizado do problema da alocação econômica da geração, ou como propriamente dividir o carregamento entre as unidades geradoras disponíveis.

Um dos primeiros métodos utilizados com o intuito de minimizar os custos da potência entregue, baseava-se em solicitar potência somente da usina mais eficiente. À medida que a carga aumentava, a potência deveria ser fornecida pela usina mais eficiente até atingir seu ponto de máxima eficiência. Para acréscimos de carga, a segunda usina mais eficiente passaria a fornecer a potência solicitada e, a terceira usina mais eficiente só entraria em operação quando a segunda usina tivesse atingido seu ponto de máxima eficiência. Apesar deste método falhar na minimização dos custos, ele perdurou até 1930, quando o Critério do Custos Incrementais Iguais passou a produzir melhores resultados.

A idéia dos custos incrementais é que o próximo incremento no carregamento deveria ser melhorado por uma unidade com menor custo incremental; admitiu-se que este incremento deveria ser de igualdade.

Na realidade, o custo incremental é determinado medindo-se a inclinação da curva entrada-saída e multiplicando-a pelo custo por Btu da própria unidade. Um diagrama típico de custo incremental de combustível *versus* potência de saída está indicado na Figura 02.

Podemos obter uma aproximação linear para a curva entrada-saída da Figura 01, aplicando um custo de combustível em dólares por milhão de Btu. O segmento de reta tracejado na Figura 02 é uma possível aproximação para a curva.

FIGURA 02 : Custo Incremental *versus* Potência de Saída para uma Unidade Geradora.

Por volta de 1931, este critério já havia se firmado suficientemente para ser entendido que para operações econômicas o custo incremental de todas as unidades deveria ser igual, um princípio fundamental que se aplica até hoje.

STEINBERG & SMITH (1934), comprovaram matematicamente o critério dos Custos Incrementais Iguais, que já estava sendo utilizado empiricamente. Este critério pode ser determinado através do seguinte problema:

$$\begin{aligned} \min \sum_i C_i(P_{Gi}) \\ \text{s. a } \sum_i P_{Gi} = P_D \end{aligned} \quad (2.1)$$

onde:

P_D - demanda total, [MW]

P_{Gi} : potência de geração da unidade i , [MW]

C_i : custo de geração da unidade i , [\$/MWh]

Naquela época a técnica escolhida para resolver o problema foi o Método de Lagrange, o qual havia sido desenvolvido em 1720. Neste método, multiplicadores de Lagrange são usados para associar as restrições de igualdade à função objetivo. Assim, obteve-se uma nova função, a Função Lagrangeana associada ao problema de DE.

A Função Lagrangeana associada ao problema (2.1), é dada por:

$$L(P_{Gi}, \lambda) = \sum_i C_i(P_{Gi}) + \lambda(\sum_i P_{Gi} - P_D) \quad (2.2)$$

onde:

L : Função Lagrangeana do problema (2.1)

λ : multiplicador de Lagrange

O processo envolve a determinação dos valores de P_{Gi} e λ , tal que as condições de otimalidade sejam satisfeitas, assim:

$$\frac{\partial L}{\partial P_{Gi}} = \frac{\partial C_i(P_{Gi})}{\partial P_{Gi}} + \lambda = 0 \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \sum_i P_{Gi} - P_D = 0 \quad (2.4)$$

De (2.3), temos:

$$\frac{\partial C_i(P_{Gi})}{\partial P_{Gi}} = -\lambda \quad (2.5)$$

e de (2.4):

$$P_1 + P_2 + \dots + P_i = P_D \quad (2.6)$$

Na Figura 03, podemos observar que uma transferência de carga de uma unidade para outra deve ser realizada até que os custos incrementais de todas as unidades sejam iguais. Neste modelo devemos considerar que todas as unidades geradoras devem operar com o mesmo custo incremental de geração, através de ajustes na potência de saída de cada unidade.

FIGURA 03 : Curva dos Geradores Operando com mesmo Custo Incremental.

Se a potência de saída de uma usina deve ser aumentada, o custo incremental para o qual cada unidade opera, crescerá. Assim, cada unidade deverá adequar a sua potência de saída, tal que o custo incremental permaneça o mesmo para todas.

A operação de unidades hidráulicas em um sistema que também possui geração térmica constitui uma extensão do problema do DE. Existem muitas condições ligadas à operação hidráulica, tais como vazão não controlada ou controle de enchentes. Por certo, o valor da água varia no decorrer do tempo, sendo menor no período de altas vazões e, aumentando durante os períodos de vazão baixa ou quando os reservatórios estão sendo deplecionados com taxas de vazão controladas.

Procedimentos para operação integrada de geração hidráulica e térmica no sistema com regime de geração a custo mínimo foram desenvolvidos e estão em pleno uso. Este procedimento é conhecido como coordenação hidrotérmica. A adequada integração da geração hidráulica com a térmica, para um custo global mínimo, é bastante complexa e somente pode ser otimizada com o uso de sofisticados programas computacionais.

Um outro problema é que quando energia é comprada ou recebida por um sistema, sua geração própria para atender a carga é reduzida proporcionalmente pela quantidade recebida. Da mesma forma, sempre que energia for vendida, a sua produção deve se igualar à carga do sistema acrescida da quantidade vendida. Este intercâmbio é motivado pela diferença do custo de energia entre comprador e vendedor.

Ao considerarmos transações envolvendo a compra ou venda de energia, como o caso da determinação de como as unidades geradoras devem ser despachadas para uma economia máxima, o efeito das perdas na transmissão deve ser considerado.

Até agora a nossa discussão centrou-se na determinação dos despachos a serem programados para unidades térmicas, a fim de se obter igual custo incremental do combustível, visando um custo global mínimo da geração. Entretanto, até o momento em que as perdas na transmissão ainda não foram consideradas, o problema encontra-se apenas parcialmente resolvido.

As perdas na transmissão requerem, certamente, que um gerador produza energia suficiente para suprir a carga e as perdas. Assim, a potência requerida para suprir as perdas deslocará a geração para um ponto mais elevado na curva de custo incremental, resultando um aumento no custo de cada quilowatt-hora de energia.

Quando duas ou mais usinas geradoras são ligadas à uma carga através de linhas de transmissão distintas, a alocação da carga entre as usinas deve considerar iguais os custos incrementais, incluídos os custos de suprimento de energia para as perdas de transmissão.

Um método que combinasse propriamente custo incremental de combustível com as perdas na transmissão tornou-se o próximo desafio.

O efeito das perdas foi introduzido por STEINBERG & SMITH (1943), no livro clássico *“Economic Loading of Power Plants and Electric Systems”*. A rede foi representada por uma equação de balanço de potência. Mais tarde, a forma sugerida foi denominada Fator de Penalidade.

GEORGE E WARD (1949) foram os pioneiros na combinação do Critério dos Custos Incrementais com as perdas na transmissão e suas considerações possibilitaram a formulação do Fator de Penalidade. O Fator de Penalidade é determinado através das perdas do sistema, que por sua vez são calculadas utilizando-se coeficientes de perdas ou também denominados, coeficientes B . Temos então, que as perdas são dadas por:

$$P_L = \sum_m \sum_n P_m B_{mn} P_n \quad (2.7)$$

onde:

P_m, P_n : carregamento das máquinas a ser alocado, [MW]

B_{mn} : matriz dos coeficientes de perdas, [MW⁻¹]

B_{mn} , por sua vez, é dada por:

$$B_{mn} = \frac{R_m + R_n}{|V_m| |V_n| (pf_m)(pf_n)} \quad (2.8)$$

onde:

R_m, R_n : resistências das linhas m, n, [Ω]

V_m, V_n : tensões das linhas m, n, [V]

pf_m, pf_n : fatores de potência das linhas m, n

As considerações introduzidas por GEORGE & WARD (1949), que são utilizadas até hoje, afirmam que os coeficientes B são constantes, desde que as potências só podem variar se as tensões nos barramentos das usinas mantiverem-se constantes em amplitude e os fatores de potência das usinas permanecerem constantes. O uso dos coeficientes B fornece bons resultados quando são calculados em condições médias de operação, desde que não ocorram deslocamentos extremamente amplos de carga entre usinas ou na carga total. Após isso, recursos de computação podem ser utilizados para determinar os fatores de penalidade para qualquer condição de carga de cada usina geradora.

Várias das suposições introduzidas acima, foram incorporadas nos trabalhos de KRON (1951a), KRON (1951b), KRON (1952) e KRON (1953), todos intitulados “*Tensosial Analysis of Integrated Transmission Systems*”. Simultaneamente, KIRCHMAYER & STAGG (1951) trabalharam para tornar aplicável a teoria de KRON, o que possibilitou um avanço no processo de cálculo das perdas e, mais tarde, seus trabalhos foram a base para a produção de programas computacionais. KIRCHMAYER & STAGG trabalharam, em conjunto, naquela que se tornou conhecida como equação clássica de coordenação, que foi primeiro sugerida por WARD (1950) e descreve o Fator de Penalidade em função das perdas:

$$FP_i = \left(1 - \frac{\partial P_L(P_{Gi})}{\partial P_{Gi}} \right)^{-1} \quad (2.9)$$

onde:

$P_L(P_{Gi})$: perdas na linha de transmissão que são função da potência gerada, [MW]

FP : Fator de Penalidade

A função objetivo, minimizar o custo de geração de potência, passou a incorporar a restrição relativa às perdas. Para coordenar perdas de transmissão no problema do carregamento econômico de usinas, necessitamos expressar a perda de transmissão total de um sistema como uma função do carregamento das usinas. Este problema foi escrito matematicamente da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_i C_i(P_{Gi}) \\ \text{s. a} \quad & \sum_i P_{Gi} = P_D + P_L(P_{Gi}) \end{aligned} \quad (2.10)$$

A Função Lagrangeana associada ao problema (2.10), é:

$$L(P_{Gi}, \lambda) = \sum_i C_i(P_{Gi}) + \lambda \left(\sum_i (P_{Gi} - P_L(P_{Gi})) - P_D \right) \quad (2.11)$$

As condições de estacionariedade de L são:

$$\frac{\partial L}{\partial P_{Gi}} = \frac{\partial C_i(P_{Gi})}{\partial P_{Gi}} + \lambda \left(1 - \frac{\partial P_L(P_{Gi})}{\partial P_{Gi}} \right) = 0 \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \sum_i (P_{Gi} - P_L(P_{Gi})) - P_D = 0 \quad (2.13)$$

De (2.9), temos que:

$$\frac{\partial C_i(P_{Gi})}{\partial P_{Gi}} \cdot \left(1 - \frac{\partial P_L(P_{Gi})}{\partial P_{Gi}}\right)^{-1} = -\lambda \quad (2.14)$$

Dizemos que o sistema opera em condições ótimas quando a demanda mais as perdas são atendidas e todos os geradores operam com custos incrementais iguais.

Quando não consideramos as perdas na distribuição econômica da carga entre usinas, estamos cometendo alguns erros. Por exemplo, seja uma usina A com custo incremental mais baixo do que o de uma usina B, para uma dada distribuição de cargas. Se considerarmos que a usina A encontra-se mais afastada do centro de carga, as perdas na transmissão para esta usina podem ser muito grandes. Economicamente, a consideração das perdas pode indicar a diminuição da carga na usina A e, um conseqüente aumento de carga na usina B, que opera com custo incremental maior.

Para corrigir o efeito gerado pelas perdas, o Fator de Penalidade é introduzido. Assim, o custo mínimo de geração é obtido quando o custo incremental de cada usina é multiplicado pelo seu Fator de Penalidade. O resultado desta relação é igual a λ , que é o mesmo para todas as usinas do sistema.

A adição das perdas ao modelo da rede resultou no Despacho Econômico Clássico e as condições de otimalidade para estes métodos constituem o chamado Critério dos Custos Incrementais Iguais.

Na década de 50, muitos avanços foram conseguidos na representação da fórmula das perdas. Nesta mesma época, ferramentas de otimização, como o teorema de Karush-Kuhn-Tucker (1951) e, ferramentas computacionais foram fortemente desenvolvidas para serem utilizadas em computadores digitais.

Após a consideração das perdas, surgiu a necessidade de se incorporar as restrições elétricas ao problema de DE. SQUIRES (1961) utilizou técnicas de Lagrange para formular as condições de otimalidade para o DE, as quais incorporavam as equações do Fluxo de Potência, porém, negligenciavam os limites para as variáveis.

CARPENTIER (1962), propôs uma formulação para o problema de DE, incluindo os limites das variáveis e utilizando como técnica de resolução o teorema de Karush-Kuhn-Tucker (KKT) de programação não-linear. Esta formulação resultou no problema de Fluxo de Potência Ótimo (FPO) e marcou o fim do período clássico de DE, que tinha sido estudado e desenvolvido ao longo de 30 anos, desde então, o problema do DE passou a ser abordado como um caso particular do FPO. Até os dias de hoje, os trabalhos desenvolvidos na área têm como base a sua formulação.

O problema de FPO, proposto por CARPENTIER, pode ser caracterizado como um problema de otimizar uma função objetivo f , que representa o desempenho do sistema, sujeito às restrições de igualdade g e de desigualdade h . Este problema pode ser representado matematicamente por:

$$\begin{aligned} \min \quad & f(x) \\ \text{s. a} \quad & g(x) = 0 \\ & h(x) \leq 0 \end{aligned} \tag{2.15}$$

onde:

x : vetor de variáveis de estado (tensão, ângulo e *taps*)

$f(x)$: função objetivo

$g(x)$: equação do fluxo de potência

$h(x)$: restrições funcionais e limites operativos

CARPENTIER propôs a solução do problema (2.15) através de um problema irrestrito utilizando a Função Lagrangeana (L). Esta função foi definida como:

$$L = f(x) + \lambda^T g(x) + \mu^T h(x) \quad (2.16)$$

onde:

L : Função Lagrangeana associada ao problema (2.15)

λ : multiplicador de Lagrange associado às restrições de igualdade

μ : multiplicador de Lagrange associado às restrições de desigualdade ativas

O mínimo do problema (2.16) foi alcançado através das condições de otimalidade, resolvidas pelo método de Gauss-Seidel.

Após o modelamento matemático do problema de FPO, técnicas de otimização passaram a ser empregadas com o objetivo de se resolver este problema. As primeiras propostas, utilizavam o gradiente da Função Lagrangeana.

Um trabalho que se tornou histórico foi proposto por DOMMEL & TINNEY (1968), o qual utilizava o Método do Gradiente Reduzido para resolver o FPO. O Método do Gradiente Reduzido procura uma solução ótima através de passos descendentes. Após mudanças nas variáveis de controle, as equações do Fluxo de Potência são resolvidas pelo Método de Newton. As restrições de desigualdade associadas às variáveis de controle são tratadas por projeção e, as variáveis dependentes ou funcionais por Métodos de Penalidades. Este método possui uma eficiência de primeira ordem para minimização da função objetivo. Este método apresenta uma convergência lenta devido às oscilações em torno do ponto ótimo. Outros fatores podem também comprometer o processo de convergência, como a limitação do passo das variáveis de controle e quanto ao tamanho do passo do gradiente.

SASSON et al. (1973) aplicaram o Método das Penalidades no problema de FPO. A idéia deste método consiste na minimização da função penalidade formada pela função objetivo e pelas restrições de igualdade e desigualdade penalizadas. A cada iteração, os valores das penalidades são aumentados, a Matriz Hessiana da Função Penalidade é calculada e as variáveis são atualizadas. O processo é repetido até que todas as restrições sejam satisfeitas. Técnicas de esparsidade foram aplicadas à Matriz Hessiana. Com o aumento dos valores das penalidades, a Matriz Hessiana pode ficar mal condicionada, comprometendo a convergência do processo de otimização.

HAPP (1977) apresentou uma revisão sobre o problema do Despacho Econômico para os casos de área simples e multi-áreas, conforme sua evolução, até o chegar ao FPO. Ele também enfatizou os estudos de Ponto de Válvula e Controle Automático da Geração. O panorama das empresas concessionárias de energia elétrica foi discutido, sendo que este aponta para um Despacho mais rigoroso em relação ao Despacho Clássico, que fora utilizado anteriormente. Estudos de segurança, que têm por objetivo estabilizar problemas de sobrecarga térmica e problemas de tensão, também foram apresentados. Finalmente, apontou a preocupação das empresas em procedimentos de Despacho orientados ao meio ambiente, Despacho Ambiental, usando técnicas similares àsquelas do Despacho Econômico Clássico. Trabalhos relacionados ao desenvolvimento do Despacho Econômico e sua implementação são relatados, bem como recomendações de trabalhos futuros na área.

SUN et al. (1984) propuseram uma nova abordagem do problema de FPO utilizando uma formulação explícita do Método de Newton e o desacoplamento do problema original em dois subproblemas ($P-\theta$ e $Q-V$). As restrições de desigualdade são divididas em dois conjuntos: conjunto das restrições penalizadas e o conjunto das restrições ativas na solução. Sendo as restrições do último conjunto incorporadas na função objetivo através dos multiplicadores de Lagrange. O método do conjunto ativo foi utilizado para identificar as restrições ativas na solução. A partir desta proposta, alguns trabalhos foram desenvolvidos tendo como base o Método de Newton. A grande dificuldade do método é a determinação do conjunto das restrições ativas na solução.

SANTOS et al. (1988) propuseram a Método da Lagrangeana Aumentada, baseado nas técnicas de programação não-linear. Este método trata as restrições de igualdade e desigualdade através de variáveis duais e Fatores de Penalidade, criando a Função Lagrangeana Aumentada. As condições de otimalidade são determinadas pelo Método de Newton.

LANGONA (1994) propôs uma nova abordagem utilizando o Método de Newton Modificado associado à Função Lagrangeana Aumentada na resolução de problemas de FPO. As informações de primeira ordem, que indicam a direção em que o processo deve caminhar, foram mantidas intactas e as de segunda ordem, que fornecem o tamanho do passo, foram aproximadas, o que permitiu um ganho em tempo de processamento e quantidade de memória utilizada. Foi observado que o processo de convergência sofre interferência do ajuste do Fator de Penalidade, o qual é feito de forma empírica. Técnicas de esparsidade foram empregadas visando uma maior eficiência na implementação. Uma análise dos resultados mostrou que o processo independe do ponto de partida estar numa região factível ou não.

HUANG et al. (1998) formulou o problema de Despacho de Potência Ativa, denominando-o de Entrega de Potência Ótima. Ele considerou as perdas na transmissão e representou-as em função dos fluxos nas linhas e dos parâmetros *FACTS* (*Flexible AC Transmission Systems*). Este trabalho consiste em despachar potência ativa tendo como objetivo minimizar as perdas, obedecendo a uma margem de segurança. Depois que o problema de Entrega de Potência Ótima é resolvido e os dispositivos *FACTS* ajustados, um programa de fluxo de potência é executado para encontrar as perdas exatas de potência ativa na transmissão para cada gerador de potência.

Nos trabalhos descritos acima, temos aqueles que são considerados clássicos na área de otimização de sistemas elétricos de potência e aqueles que se encontram na mesma linha de pesquisa adotada em nosso trabalho. Nos últimos anos, outras técnicas que também utilizam como base o Método de Newton foram propostas para resolver problemas ligados ao FPO. Podemos destacar o Método dos Pontos Interiores e a Programação Quadrática.

YAN & QUINTANA (1997) empregaram técnicas avançadas do Método dos Pontos Interiores ao problema de Despacho Econômico com Restrições de Segurança através de programações lineares sucessivas. Desde a publicação de KARMARKAR (1984), o interesse no método dos Pontos Interiores tem aumentado e algumas variantes têm sido estudadas e implementadas. As experiências provam o bom desempenho do Método Primal-Dual Barreira Logarítmica. Métodos de Pontos Interiores mostraram ser uma alternativa viável para a solução do problema de otimização de sistemas de potência. O algoritmo do método Primal-Dual Barreira Logarítmica é diretamente aplicado em problemas não-lineares de Fluxo de Potência, onde as condições de otimalidade de KKT são resolvidas pelo Método de Newton.

FAN & ZHANG (1998) propuseram uma estratégia baseada em técnicas de Programação Quadrática para resolver problemas de Despacho Econômico em Tempo Real (DETR). O objetivo do DETR é determinar os níveis ótimos de geração para as unidades despacháveis, pela minimização do custo de operação total, sujeito às restrições de operação. A curva de custo de uma unidade foi representada por uma função quadrática e restrições de operação lineares, incluindo balanço de potência, limite nos fluxos das linhas e racionamento de emissão. Para evitar soluções infactíveis, uma estratégia de solução foi desenvolvida pela incorporação de um conjunto de variáveis violadas. E ainda, a estratégia proposta incorpora os controles emergenciais, em uma segunda fase, para aliviar as condições de violação que não podem ser resolvidas por somente uma unidade de despacho.

Outras linhas de pesquisa, que não utilizam o Método de Newton, também têm sido aplicadas na resolução do problema de FPO, entre elas, destacam-se técnicas de Programação Dinâmica e de Algoritmos Genéticos.

Capítulo 3

O Problema de Despacho de Potência Ativa AC

3.1- Introdução

Neste capítulo, o problema de Despacho de Potência Ativa AC, que é um caso particular do problema de Fluxo de Potência Ótimo (FPO), é formulado através de um modelo não-linear de otimização. O problema de Despacho de Potência Ativa AC é representado através da Função Lagrangeana Aumentada e, é resolvido pelo Método de Newton Modificado. As restrições de limite de potência ativa nas barras de geração e limite do fluxo de potência ativa nas linhas de transmissão e nos transformadores são adicionadas ao programa original desenvolvido por LANGONA (1994). A Margem de Segurança é utilizada para avaliar as condições de operação do sistema.

3.2- Fluxo de Potência

O cálculo do Fluxo de Potência consiste na determinação do estado da rede através de um conjunto de equações não lineares, obtido a partir do princípio da conservação de potência ativa e reativa em cada barra do sistema.

Conhecendo-se o estado da rede, podemos analisar o seu funcionamento no que se refere às tensões nas barras do sistema, fluxos de potência nas linhas e transformadores, condições de carregamento de reativos das máquinas e compensadores síncronos e estáticos, perdas na transmissão, circulação de reativos no sistema, etc..

A análise em regime permanente é efetuada tanto para condições nominais como para condições de emergência. No que se refere ao aspecto operativo da rede elétrica, é a partir do cálculo do Fluxo de Potência que se define, normalmente, as tensões a serem utilizadas nas barras geradoras; taps de transformadores; quais reatores ou capacitores estão ou não, conectados à rede; modalidade operativa na passagem de uma carga pesada à rede; pontos críticos, com relação à sobrecarga no sistema.

Em planeamento de sistemas, é a partir do cálculo do Fluxo de Potência que se verifica a necessidade de expansão do sistema, seu desempenho e a necessidade de um novo nível de tensão. Evidentemente, os diversos estágios de evolução previstos são também efetuados com o uso do Fluxo de Potência e de uma análise detalhada da rede elétrica. Deste modo, afirmamos que o Fluxo de Potência representa uma ferramenta essencial para o estudo de sistemas elétricos de potência.

A formulação básica do problema associa a cada barra do sistema quatro grandezas, sendo duas delas incógnitas e as outras duas especificadas. Assim, temos as seguintes classificações para as barras:

- Barra de Carga ou Barra PQ: as potências ativa e reativa, P e Q , são especificadas e, desejamos calcular a tensão, V , e o ângulo, θ , com $V^{\min} \leq V \leq V^{\max}$

- Barra de Tensão Controlada ou Barra PV: a potência ativa, P , é especificada e a tensão é mantida fixa pela injeção de potência reativa. As incógnitas são a potência reativa, Q , e o ângulo, θ , para $Q^{\min} \leq Q \leq Q^{\max}$
- Barra de Referência ou Barra V θ : a tensão é mantida fixa e o ângulo de fase é considerado a referência angular para a rede elétrica, geralmente fixado em 0° . Neste tipo de barra, desejamos calcular as potência ativa e reativa, P e Q , respectivamente

Os tipos de barras definidos acima são os mais freqüentemente encontrados na prática. Porém, existem algumas exceções, tais como quando consideramos o controle de intercâmbio de uma área e o controle de magnitude de tensão de uma barra remota. Nestes casos, podem aparecer outros tipos de barras, como as barras: PQV, P e V.

O problema do Fluxo de Potência pode ser formulado por um sistema de equações e inequações algébricas não-lineares que correspondem, respectivamente, às Leis de Kirchhoff e a um conjunto de restrições operacionais da rede elétrica e de seus componentes. As equações do Fluxo de Potência são dadas por:

$$P_k(V, \theta) = V_k \sum_{m \in \Omega_k} V_m [G_{km} \cos(\theta_{km}) + B_{km} \sin(\theta_{km})] \quad (3.1)$$

$$Q_k(V, \theta) = V_k \sum_{m \in \Omega_k} V_m [G_{km} \sin(\theta_{km}) - B_{km} \cos(\theta_{km})] \quad (3.2)$$

para $k = 1, NB$

onde:

k : índice da barra k

m : índice da barra m

Ω_k : vizinhança da barra k

NB : número de barras

P_k, Q_k : potências ativa e reativa na barra k

V_k, V_m : tensões nas barras k e m

G_{km} : condutância da linha entre as barras k e m

B_{km} : susceptância da linha entre as barras k e m

θ_{km} : ângulo das tensões da barra k para a barra m

As injeções líquidas de potência são dadas por:

$$P_k^{\text{esp}} = P_k^G - P_k^D \quad (3.3)$$

para as barras PQ e PV

$$Q_k^{\text{esp}} = Q_k^G - Q_k^D \quad (3.4)$$

para barras PQ

onde:

$P_k^{\text{esp}}, Q_k^{\text{esp}}$: potências ativa e reativa especificadas na barra k

P_k^G, Q_k^G : potências ativa e reativa geradas na barra k

P_k^D, Q_k^D : potências ativa e reativa consumidas na barra k

As equações (3.3) e (3.4) podem ser reescritas como segue:

$$\Delta P = P_k^{\text{esp}} - P_k(V, \theta) = 0 \quad (3.5)$$

para as barras PQ e PV

$$\Delta Q = Q_k^{\text{esp}} - Q_k(V, \theta) = 0 \quad (3.6)$$

para as barras PQ

onde:

$\Delta P, \Delta Q$: equações de balanço de potência ativa e reativa

As equações algébricas não-lineares (3.5) e (3.6) são resolvidas pela utilização de métodos iterativos, dentre os quais podemos destacar o Método de Gauss-Seidel e o Método de Newton-Raphson. Este último apresenta algumas variações, tais como: método desacoplado, desacoplado rápido, como em MONTICELLI(1983).

O Método de Gauss-Seidel é geralmente utilizado na determinação do ponto inicial para o Método de Newton-Raphson, como no programa ANAREDE*. O Método de Newton é mais freqüentemente utilizado devido à sua versatilidade para adaptar novas equações, por exemplo, controle de tensão por reativos, transformadores com mudança automática de taps visando o controle da tensão e, também, é bastante rápido no aspecto de convergência. A maior dificuldade do Método de Newton decorre de sua dependência em relação às condições iniciais, que devem estar próximas da solução, fato este, que não significa uma restrição para sua utilização em sistemas de potência, pois nos casos críticos pode ser contornado.

A solução das equações (3.5) e (3.6) pelo método de Newton, resulta no sistema linear mostrado em (3.7):

ANAREDE: programa de Fluxo de Potência desenvolvido pelo Centro de Pesquisas em Engenharia Elétrica – CEPTEL.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta P}{\partial \theta} & \frac{\partial \Delta P}{\partial V} \\ \frac{\partial \Delta Q}{\partial \theta} & \frac{\partial \Delta Q}{\partial V} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

onde:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta P}{\partial \theta} & \frac{\partial \Delta P}{\partial V} \\ \frac{\partial \Delta Q}{\partial \theta} & \frac{\partial \Delta Q}{\partial V} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

J : Matriz Jacobiana

Após resolvido o sistema em (3.7), as variáveis θ e V são atualizadas da seguinte forma:

$$\theta^{n+1} = \theta^n + \Delta \theta^n \quad (3.9a)$$

$$V^{n+1} = V^n + \Delta V^n \quad (3.9b)$$

onde:

n : número de iterações

A solução do problema de Fluxo de Potência é alcançada quando ΔP e ΔQ atingem um erro menor que uma tolerância especificada, ξ , e todas as restrições de desigualdade são satisfeitas.

Uma dificuldade encontrada no processo de solução do Fluxo de Potência é que dada a solução, alguns valores podem ficar fora dos limites aceitáveis na operação de Sistemas Elétricos de Potência (SEP). Deste modo, o operador do SEP deve realizar alguns ajustes nas variáveis de controle, tais como taps e/ou injeções de potência ativa ou reativa, de forma a levar a solução para dentro dos limites pré-estabelecidos.

Após estes ajustes, o cálculo do Fluxo de Potência é realizado novamente. Estes ajustes devem ser repetidos até que uma solução aceitável seja obtida, o que caracteriza um processo de tentativa e erro. O Fluxo de Potência pode tornar-se um processo exaustivo, trazendo unicamente aos operadores a responsabilidade dos ajustes.

Com a utilização de técnicas de otimização no problema de Fluxo de Potência, o processo de tentativa e erro pode ser evitado.

O Fluxo de Potência com recursos de otimização, minimiza uma função objetivo e ainda ajusta de maneira ótima as variáveis do sistema. A solução apresentada através deste processo satisfaz as equações (3.5) e (3.6) e, ao mesmo tempo, mantém as variáveis dentro de seus limites. Este processo de otimização é chamado de Fluxo de Potência Ótimo (FPO).

3.3 - Fluxo de Potência Ótimo

O objetivo das empresas concessionárias de energia elétrica é tornarem-se mais eficientes e competitivas. Algumas melhorias podem ser alcançadas através de inovações e aperfeiçoamento dos programas computacionais, como é o caso do FPO. O uso do FPO caminha na direção de automatizar o sistema. Neste processo uma tomada de decisão ótima e segura é obtida automaticamente, cabendo ao operador somente sua implementação.

A grande motivação de desenvolvermos esta pesquisa relacionada ao Fluxo de Potência Ótimo deve-se ao seu potencial de contribuir para um melhor desempenho do sistema de transmissão de energia elétrica, com menor custo operacional e um melhor perfil de tensão. Podemos citar alguns exemplos bem sucedidos onde o FPO foi aplicado:

- O FPO foi utilizado pelo Ontario Hydro (Canadá) e os resultados apresentaram uma redução total de até 3,7% nas perdas de potência ativa de transmissão, resultando em uma economia de 2,5 milhões de dólares anuais, somente como controle ótimo das variáveis de controle do sistema, segundo MARIA & FINDLAY (1987).
- Estudos no sistema SUL-SUDESTE brasileiro-662 barras, reduziram as perdas de potência ativa na transmissão em 3,53% mantendo um perfil de tensão médio em torno de 1,010 pu, como pode ser visto em COSTA et al. (1996).

A potência instalada no Brasil é aproximadamente 60000 MVA com uma demanda média em torno de 38000MW. As perdas de potência ativa na transmissão na ordem de 6% são bem aceitas, o que equivale a 2280 MW. Com uma redução de 10% da perdas seriam economizadas 228MW. Estes números representam uma economia significativa, pois perdas de 6% são obtidas nos sistemas americanos e canadenses. No Brasil as perdas são, em média de 8%, com casos extremos de 15% na região norte, como no sistema CHESF. Devemos enfatizar que esta economia pode ser obtida atuando-se exclusivamente sobre as variáveis de controle do sistema, ou seja, sem qualquer investimento adicional. Por outro lado, o FPO também apresenta algumas dificuldades no seu processamento. Os problemas mais típicos são:

- A não convergência devido à infactibilidade do problema, que permite verificar quais as restrições que estão tornando o sistema infactível; também pode ser verificado quais as variáveis de controle que devem de fato ser consideradas.
- A viabilidade da solução encontrada. A otimização sem restrição de contingência pode, gerar uma solução que deixa o sistema em um estado vulnerável, pois o FPO pode levar as variáveis de controle aos seus limites.
- Modelagem discreta: O FPO é por natureza discreto. A maioria dos algoritmos trata as variáveis do sistema como contínuas no processo inicial de solução. Sendo a solução da função contínua encontrada, cada variável discreta é levada para o seu valor mais próximo. Este processo resulta em uma solução aceitável quando o movimento das variáveis de controle é suficientemente pequeno.

O problema de FPO pode ser representado como:

minimizar função (custo de geração, perdas ativas na transmissão, etc)

sujeito a:

- Barra de Carga

$$P_k - P_k^{esp} = 0$$

$$Q_k - Q_k^{esp} = 0 \quad (3.10)$$

$$V_k^{min} \leq V_k \leq V_k^{max}$$

- Barra de Controle de Reativos

$$P_k - P_k^{esp} = 0$$

$$Q_k^{\min} \leq Q_k \leq Q_k^{\max} \quad (3.11)$$

$$V_k^{\min} \leq V_k \leq V_k^{\max}$$

- Barra de Geração

$$P_k^{\min} \leq P_k \leq P_k^{\max}$$

$$Q_k^{\min} \leq Q_k \leq Q_k^{\max} \quad (3.12)$$

$$V_k^{\min} \leq V_k \leq V_k^{\max}$$

- Linhas de Transmissão

$$|P_{\text{fluxo}}| \leq P_k^{\text{limite}} \quad (3.13)$$

$$Q_{\text{fluxo}}^{\min} \leq Q_{\text{fluxo}} \leq Q_{\text{fluxo}}^{\max}$$

- Transformadores

$$\text{tap}^{\min} \leq \text{tap} \leq \text{tap}^{\max}$$

$$|P_{\text{fluxo}}| \leq P_k^{\text{limite}} \quad (3.14)$$

$$Q_{\text{fluxo}}^{\min} \leq Q_{\text{fluxo}} \leq Q_{\text{fluxo}}^{\max}$$

onde:

$P_{\text{fluxo}}, Q_{\text{fluxo}}$: fluxo de potência ativa e reativa, respectivamente

$P_k^{\min}, P_k^{\max}$: potência ativa mínima e máxima

$Q_{\text{fluxo}}^{\min}, Q_{\text{fluxo}}^{\max}$: fluxo de potência reativa mínimo e máximo

P_{lk} : fluxo de potência ativa da barra l para a barra k

$t_k^{\min}, t_k^{\max}$: limites mínimo e máximo nos *taps* dos transformadores

3.3.1 - Despacho de Potência Ativa AC

O Despacho de Potência Ativa é um problema que pretende alocar a quantidade de potência ativa gerada entre as unidades de geração. A solução deste problema depende da natureza do estudo realizado. Para sistemas termelétricos, o Despacho de Potência Ativa, normalmente, é realizado minimizando-se o custo de geração. Para sistemas hidrelétricos, pode-se empregar o Despacho de Potência Ativa para minimizar as perdas na transmissão. Neste caso, os limites na transmissão devem ser considerados, caso contrário obteríamos uma solução incorreta, como por exemplo, somente as unidades mais próximas das cargas deveriam entregar potência. Com os limites na transmissão, a geração é melhor distribuída.

Este problema pode ser representado, genericamente, por:

$$\begin{aligned}
 &\min f(x) \\
 &\text{s. a} \quad g_i(x) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, m < n \\
 &\quad \quad h_j(x) \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, r \\
 &\quad \quad x_{\min} \leq x \leq x_{\max}
 \end{aligned} \tag{3.15}$$

onde:

$x \in \mathcal{R}^n$ tal que $x = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^t$ vetor das variáveis de estado e de controle do sistema

$f(x)$: função objetivo que representa o desempenho do sistema de potência

$g_i(x)$: equações do fluxo de potência

$h_j(x)$: inequações funcionais do fluxo de potência

$x_{\min}, x_{\max}$: limites das variáveis de estado e de controle

O problema incluindo os limites de potência reativa nas barras de geração e nas barras de controle de reativos, limites de fluxo de potência ativa nas linhas de transmissão e nos transformadores pode ser representado como:

$$\min f(t, \theta, V)$$

$$\text{s.a} \quad P_k(t, \theta, V) - P_k^e = 0 \quad k = 1, \dots, nbc + nbc_r \quad (3.16a)$$

$$Q_k(t, \theta, V) - Q_k^e = 0 \quad k = 1, \dots, nbc \quad (3.16b)$$

$$P_k^{\min} \leq P_k(t, \theta, V) \leq P_k^{\max} \quad k = 1, nb_g \quad (3.16c)$$

$$Q_k^{\min} \leq Q_k(t, \theta, V) \leq Q_k^{\max} \quad k = 1, nb_g + nbc_r \quad (3.16d)$$

$$V_k^{\min} \leq V_k \leq V_k^{\max} \quad k = 1, nb \quad (3.16e)$$

$$|P_{lk}(t, \theta, V)| \leq P_k^{\text{limite}} \quad lk = 1, nl + nt \quad (3.16f)$$

$$t_{lk}^{\min} \leq t_k \leq t_k^{\max} \quad lk = 1, nt \quad (3.16g)$$

onde:

V : vetor das magnitudes das tensões

θ : vetor dos ângulos das tensões

t : vetor dos *taps* dos transformadores

nb : número de barras da rede elétrica

nbc : número de barras de carga

nbg : número de barras de geração

nbc_r : número de barras de controle de reativo

nt : número de transformadores

nl : número de linhas

lk : índice da linha entre as barras k e l

P_{lk} : fluxo de potência ativa da barra l para a barra k

$t_{lk}^{\min}, t_{lk}^{\max}$: limites mínimo e máximo nos *taps* dos transformadores

Todas as variáveis são tratadas como contínuas.

3.3.2 – Função Lagrangeana Aumentada

A solução ótima do problema (3.16) pode ser obtida utilizando a Função Lagrangeana Aumentada. A Função Lagrangeana Aumentada associa à função objetivo as restrições de igualdade através dos multiplicadores de Lagrange e, as restrições de desigualdade através dos multiplicadores de Lagrange e Fatores de Penalidade.

Assim, a Função Lagrangeana Aumentada do problema (3.16), pode ser representada como na equação (3.17) a seguir:

$$\begin{aligned}
L_a = f(t, \theta, V) &+ \sum_{i=1}^{nbc+nber} \lambda_{pi} \Delta P_i + \sum_{i=1}^{nbc} \lambda_{qi} \Delta Q_i + \\
&+ \sum_{i=1}^{nbg} \left\{ \begin{array}{l} \mu_{pi} \Delta P_i + \frac{1}{2} v \Delta P_i^2, \text{ se } \Delta P_i \geq -\frac{\mu_{pi}}{v} \\ -\frac{\mu_{pi}^2}{2v}, \text{ caso contrário} \end{array} \right. + \\
&+ \sum_{i=1}^{nbg+nber} \left\{ \begin{array}{l} \mu_{qi} \Delta Q_i + \frac{1}{2} v \Delta Q_i^2, \text{ se } \Delta Q_i \geq -\frac{\mu_{qi}}{v} \\ -\frac{\mu_{qi}^2}{2v}, \text{ caso contrário} \end{array} \right. + \\
&+ \sum_{i=1}^{nb} \left\{ \begin{array}{l} \mu_{vi} \Delta V_i + \frac{1}{2} v \Delta V_i^2, \text{ se } \Delta V_i \geq -\frac{\mu_{vi}}{v} \\ -\frac{\mu_{vi}^2}{2v}, \text{ caso contrário} \end{array} \right. + \\
&+ \sum_{i=1}^{nl+nt} \left\{ \begin{array}{l} \mu_{pi} |\Delta P_i| + \frac{1}{2} v |\Delta P_i|^2, \text{ se } \Delta P_i \geq -\frac{\mu_{pi}}{v} \\ -\frac{\mu_{pi}^2}{2v}, \text{ caso contrário} \end{array} \right. + \\
&+ \sum_{i=1}^{nt} \left\{ \begin{array}{l} \mu_{ti} \Delta t_i + \frac{1}{2} v \Delta t_i^2, \text{ se } \Delta t_i \geq -\frac{\mu_{ti}}{v} \\ -\frac{\mu_{ti}^2}{2v}, \text{ caso contrário} \end{array} \right.
\end{aligned} \tag{3.17}$$

onde:

L_a : Função Lagrangeana Aumentada

λ : multiplicador de Lagrange associado às restrições de igualdade

μ : multiplicador de Lagrange associado às restrições de desigualdade

v : fator de penalidade associado às restrições violadas

As condições de otimalidade de primeira ordem aplicadas à Função Lagrangeana Aumentada fornecem o seguinte sistema de equações não-lineares:

$$\begin{aligned}
\nabla_t La &= 0 \\
\nabla_\theta La &= 0 \\
\nabla_v La &= 0 \\
\nabla_\lambda La &= 0
\end{aligned}
\tag{3.18}$$

A resolução deste sistema de equações pode ser obtida por vários métodos. Aqui, utilizamos o Método de Newton Modificado, proposto por Langona (1994).

3.3.3 – Método de Newton Modificado

Na Matriz Lagrangeana, as informações de primeira ordem fornecem a direção na qual o processo de otimização deve caminhar e as informações de segunda ordem fornecem o tamanho do passo que deve ser dado na direção de otimização. Assim, Costa et al.(1996) verificaram que alterando os valores que formam a Matriz Hessiana, a qual fornece as informações de segunda ordem, o processo realiza um número maior de iterações. Porém, a convergência é mantida inalterada, uma vez que a direção que é fornecida pelo gradiente não é modificada.

A Matriz Hessiana H do Método de Newton passou a ser escrita de maneira simplificada, a qual denominou-se Matriz Hessiana Aproximada B . Esta Matriz B contém, apenas os valores da diagonal principal de H . Com tal aproximação, o processo de otimização ganha em economia de memória e menor número de operações são realizadas.

Quando o sistema de equações (3.18) é resolvido pelo Método de Newton Modificado, o seguinte sistema matricial é originado:

$\nabla^2_{tt}La$	0	0	$\nabla^2_{t\lambda}La$
0	$\nabla^2_{\theta\theta}La$	0	$\nabla^2_{\theta\lambda}La$
0	0	$\nabla^2_{VV}La$	$\nabla^2_{V\lambda}La$
$\nabla^2_{\lambda t}La$	$\nabla^2_{\lambda\theta}La$	$\nabla^2_{\lambda V}La$	$\nabla^2_{\lambda\lambda}La$

Δt
$\Delta\theta$
ΔV
$\Delta\lambda$

 $= -$

$\nabla_t La$
$\nabla_\theta La$
$\nabla_V La$
$\nabla_\lambda La$

(3.19)

O sistema representado em (3.19) pode ser, resumido da seguinte forma:

$$W_B \cdot \Delta z = -b \quad (3.20)$$

onde:

W_B : Matriz Lagrangeana do Método de Newton Modificado

Δz : vetor de correção formado por Δx e $\Delta\lambda$

b : vetor gradiente de La com relação x e λ

A Matriz Lagrangeana W_B é formada pelas derivadas parciais de segunda ordem com relação às variáveis $x = (t, \theta, V)$ e λ . De uma maneira mais concisa, podemos representar a Matriz Lagrangeana W_B através da Matriz Hessiana Aproximada B e da Matriz Jacobiana J .

$$W_B = \begin{bmatrix} B & J^t \\ J & 0 \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

A Matriz Hessiana Aproximada B é simétrica e formada pelas derivadas parciais de segunda ordem da Matriz Lagrangeana com relação às variáveis $x = (t, \theta, V)$. Os termos da matriz W_B que correspondem à Matriz B , são:

$$B = \begin{bmatrix} \nabla_{tt}^2 La & 0 & 0 \\ 0 & \nabla_{\theta\theta}^2 La & 0 \\ 0 & 0 & \nabla_{VV}^2 La \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

onde:

B : Matriz Lagrangeana Aproximada do Método de Newton Modificado

A Matriz Jacobiana J é formada pelas derivadas parciais de primeira ordem com relação às variáveis $x = (t, \theta, V)$, isto é, $\nabla_{\lambda x}^2 La = \nabla_{\lambda} g(x) = J$.

$$J = \begin{bmatrix} \nabla_t g(x) \\ \nabla_{\theta} g(x) \\ \nabla_V g(x) \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

onde:

J : Matriz Jacobiana

e

$$\nabla_{\lambda\lambda}^2 La = 0 \quad (3.24)$$

Os valores de $x = (t, \theta, V)$ e λ atualizados, respectivamente, por Δt , $\Delta\theta$, ΔV e $\Delta\lambda$, devem satisfazer as condições de KKT para o problema original, onde:

- (1) Os erros das equações do problema devem estar dentro de uma tolerância pré-determinada ($\text{erro} < \xi$);
- (2) As restrições de desigualdade devem ser todas satisfeitas;
- (3) A norma do vetor gradiente da Função Lagrangeana deve ser aproximadamente zero;
- (4) A projeção da Matriz Hessiana região factível deve ser definida positiva.

Caso as condições acima tenham sido satisfeitas, a solução foi encontrada, senão os multiplicadores (μ) das restrições violadas e os fatores de penalidade (v) são atualizados, segundo a regra:

$$\mu_j^{n+1} = \begin{cases} \mu_j^n + v h'_j(x^{n+1}), & \text{se } h'_j(x^{n+1}) \geq -\frac{\mu_j^n}{v} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.25a)$$

$$\text{e } v^{n+1} = \beta v^n, \quad \text{onde } \beta > 1. \quad (3.25b)$$

3.3.4 - Algoritmo Simplificado

O problema pode ser resolvido pelo seguinte algoritmo simplificado:

- (i) Estimar um ponto inicial $z = (x, \lambda)$ e μ
- (ii) Calcular o vetor gradiente, b , em z
- (iii) Se as condições de KKT forem satisfeitas, o problema está resolvido, caso contrário
- (iv) Atualizar v e μ

- (v) Calcular a matriz W_B em z
- (vi) Resolver o sistema (3.20)
- (vii) Atualizar z
- (viii) Retornar ao passo (ii)

Os valores atribuídos às variáveis (x) como estimativa inicial podem estar na região infactível do problema ou ser uma solução do Fluxo de Potência.

3.4 - Margem de Segurança

A Margem de Segurança é verificada para um determinado sistema, logo após os valores ótimos tenham sido obtidos pela minimização das perdas na transmissão. Minimizando as perdas, a tendência é que, linhas com menores fluxos estejam menos sujeitas a exceder os limites térmicos, não comprometendo o desempenho do sistema.

A Margem de Segurança (MS) é definida como o menor resultado entre as margens de segurança calculadas para todas as linhas do sistema. Uma Margem de Segurança maior, implica em um sistema mais seguro.

A formulação da Margem de Segurança (MS) é dada em (3.26):

$$MS = 1 - \max_{ij} \left\{ w_{ij} \left(\frac{F_{ij}}{F_{\max_{ij}}} \right)^2 \right\} \quad (3.26)$$

c

$$w_{ij} = 1 + R_{ij}$$

onde:

R_{ij} : resistência da linha entre as barras i e j

w_{ij} : fator peso para a linha entre as barras i e j

F_{ij} : fluxo na linha entre as barras i e j

$F_{\max ij}$: máximo fluxo entre todas as linha i - j

Capítulo 4

Testes e Resultados

4.1 - Introdução

Neste capítulo são apresentados os teste e resultados obtidos nos estudos do Despacho Ótimo de Potência Ativa AC. Foram analisados os sistemas 3 Barras, IEEE 14, IEEE 30 e IEEE 57. Nos casos estudados a função objetivo considerada foi Perdas de Potência Ativa na Transmissão. Os dados iniciais foram: tensões, quando não indicadas, 1,0 pu, com ângulos 0° e os *taps* 1,0; multiplicadores de Lagrange, $\lambda = 0$ e $\mu = 0$. A tolerância especificada do processo de convergência foi 10^{-4} .

4.2 - Estudo 1: Exemplo Ilustrativo

Para exemplificar o estudo de Despacho de Potência Ativa vamos considerar o Sistema 3 Barras representado pela Figura 04.

FIGURA 04 : Sistema 3 Barras

As informações básicas para a análise do Sistema 3 Barras são apresentadas na Tabela 01:

TABELA 01: Características do Sistema 3 Barras

Sistema 3 Barras		
Impedância (pu)	Tensão (pu)	Fluxo Máximo (MW)
$Z_{12}=0,063+j0,08$	$V_1 = 1,00$	$F_{\max 1-2} = 70$
$Z_{13}=0,012+j0,05$	$V_2 = 1,02$	$F_{\max 1-3} = 90$
$Z_{23}=0,01+j0,08$	$V_3 = 1,01$	$F_{\max 2-3} = 90$

Temos ainda que as linhas 1-2 e 1-3 apresentam, respectivamente, susceptâncias de 0,05 pu e 0,02 pu. A linha 1-2 contém um transformador com *tap* fixado em 1,12 pu. A barra 1 é uma barra de referência, com $\delta=0,0$. As barras 2 e 3 geram, cada uma, 100 MW.

Os fluxos ativos nas linhas foram obtidos por um programa de Fluxo de Potência cujos valores encontram-se representados na Figura 05 :

FIGURA 05 : Distribuição dos Fluxos pelo programa Fluxo de Potência

Verificamos na Figura 05 a existência de um *Loop Flow*, cuja magnitude é igual a 25,92 MW, com valores de Perdas de 13,94 MW. A Margem de Segurança obtida para o sistema é 0,2697.

A seguir, apresentamos os resultados obtidos para o Sistema 3 Barras pelo programa Despacho de Potência Ativa, com as características iniciais do sistema mantidas. Porém, neste caso as gerações das barras 2 e 3 foram liberadas para gerar no intervalo de 0 a 100 MW.

Pelo programa de Despacho de Potência Ativa as barras 1, 2 e 3, geraram 170, 100, 100 MW, respectivamente. A Figura 06 mostra as distribuições dos fluxos ativos.

FIGURA 06 : Distribuição dos Fluxos pelo programa Despacho de Potência Ativa

Os resultados determinados pelo programa Despacho de Potência Ativa nos mostram que os fluxos foram redistribuídos, de tal forma, que o sentido dos fluxos não é mais coincidente. Assim, podemos dizer que devido à alocação ótima das gerações nas barras, podemos verificar que o *Loop Flow* foi eliminado.

As Perdas de Potência Ativa foram 0,151 MW, com uma Margem de Segurança de 0,8812. Esta Margem de Segurança do sistema foi obtida na linha 1-3.

A distribuição dos fluxos no programa Despacho de Potência Ativa elevou a Margem de Segurança do sistema. Vale ressaltar que as linhas 1-2 e 2-3 apresentaram Margem de Segurança igual a 0,9194 e 0,9542, respectivamente.

O banco de dados para este exemplo ilustrativo e sua respectiva saída encontram-se no Apêndice I.

4.3 - Estudo 2: Sistema IEEE 14 Barras

O Sistema IEEE 14 Barras apresenta as seguintes características:

- 2 barras de geração
- 3 barras de controle de reativos
- 9 barras de carga
- 17 linhas de transmissão
- 3 transformadores com *tap* variável

O Sistema IEEE 14 Barras encontra-se representado na Figura 07.

FIGURA 07 : Sistema IEEE 14 Barras

4.3.1- Caso Base

Os resultados obtidos através do programa Despacho de Potência Ativa para o Caso Base não considera os limites de fluxo na transmissão. Os limites associados às demais variáveis, encontram-se nas tabelas a seguir, acompanhados dos resultados obtidos.

TABELA 02: Potências ativas geradas e seus limites para o Sistema IEEE 14 Barras

Sistema 14 Barras			
Barra	$P_{\min}$ (MW)	P_{ger} (MW)	$P_{\max}$ (MW)
1	0,0	226,2	250,0
2	16,0	45,0	48,0

TABELA 03: Potências reativas geradas e seus limites para o Sistema IEEE 14 Barras

Sistema 14 Barras			
Barra	$Q_{\min}$ (MVar)	Q_{ger} (MVar)	$Q_{\max}$ (MVar)
3	0,0	25,9	40,0
6	-6,0	22,6	24,0
8	-6,0	17,6	24,0

TABELA 04: Tensões nas barras de controle de reativos e seus limites para o Sistema IEEE

14 Barras

Sistema 14 Barras			
Barra	$V_{\min}(\text{pu})$	$V(\text{pu})$	$V_{\max}(\text{pu})$
1	0,90	1,0993	1.10
2	0,90	1,0786	1.10
3	0,90	1,0509	1.10
6	0,90	1,0183	1.10
8	0,90	1,0523	1.10

As Perdas de Potência Ativa no Sistema IEEE 14 Barras foram 12,17 MW, com uma Margem de Segurança de 0,9997.

4.3.2 - Estudos com Restrições na Transmissão

Utilizamos os valores dos fluxos obtidos no Caso Base como referência para as restrições na transmissão. Verificamos como o sistema aloca a geração entre as usinas disponíveis e mantém todas as restrições satisfeitas. Analisamos como estas alterações influenciam as perdas de potência ativa e, se nestas condições o sistema apresenta condições de segurança de operação.

Primeiramente, restringimos o Fluxo Máximo entre duas barras de geração, depois entre uma barra de geração e uma barra de carga e, finalmente, entre duas barras de geração.

a) Restrição entre duas Barras de Geração

A Tabela 05 apresenta o Fluxo Máximo e o resultado do fluxo entre as barras 1 e 2; a Margem de Segurança, as perdas e as gerações do sistema.

TABELA 05 : Restrição do Fluxo Máximo entre as barras 1 e 2 no Sistema IEEE 14 Barras

Sistema IEEE 14 Barras					
$F_{\max 1-2}$ (MW)	F_{1-2} (MW)	MS	Perdas (MW)	P_{G1} (MW)	P_{G2} (MW)
9000,0	151,35	0,9997	12,169	226,2	45,0
160,0	150,62	0,0967	12,775	224,6	47,3
155,0	149,93	0,0462	12,775	223,8	48,0
150,0	149,93	0,0000	12,761	223,9	47,9

b) Restrição entre uma Barra de Geração e uma Barra de Carga

A escolha das barras a serem analisadas não seguiram nenhum critério preestabelecido.

TABELA 06: Restrição no Fluxo Máximo entre as barras 2 e 4 no Sistema IEEE 14 Barras

Sistema IEEE 14 Barras					
$F_{\max 2-4}$ (MW)	F_{2-4} (MW)	MS	Perdas (MW)	P_{G1} (MW)	P_{G2} (MW)
9000,0	56,19	0,9997	12,169	226,2	45,0
65,0	56,00	0,2147	13,770	231,6	41,2
60,0	55,99	0,0785	13,614	233,3	39,3
54,0	55,79	0,0000	13,605	240,2	32,4

c) Restrição entre duas Barras de Carga

Neste caso procuramos restringir o Fluxo máximo entre duas barras de carga que não se encontram diretamente ligadas à qualquer barra de geração ou controle de reativos.

TABELA 07: Restrição no Fluxo Máximo entre as Barras 9 e 14 no Sistema IEEE 14 Barras

Sistema IEEE 14 Barras					
$F_{\max 9-14}$ (MW)	F_{9-14} (MW)	MS	Perdas (MW)	P_{G1} (MW)	P_{G2} (MW)
9000,0	10,06	0,9997	12,169	226,2	45,0
20,0	10,00	0,7184	13,506	229,1	43,4
16,0	10,00	0,5600	13,505	229,1	43,4
10,0	10,00	0,0000	13,335	229,3	43,0

O banco de entrada de dados, bem como, todos os relatórios de saídas para este sistema encontram-se no Apêndice 2.

4.4 – Estudo 3: Sistema IEEE 30 Barras

O Sistema 30 Barras apresenta as seguintes características:

- 2 barras de geração
- 4 barras de controle de reativos
- 24 barras de carga
- 41 linhas de transmissão
- 4 transformadores com *tap* variável

O Sistema IEEE 30 Barras é dado na Figura 08.

FIGURA 08: Sistema IEEE 30 Barras

4.4.1 - Caso Base

Nas tabelas a seguir apresentamos os resultados obtidos pelo programa Despacho de Potência Ativa, acompanhados de seus respectivos limites.

TABELA 08: Potências ativa gerada e seus limites para o Sistema IEEE 30 Barras

Sistema IEEE 30 Barras			
Barra	$P_{\min}$ (MW)	P_{ger} (MW)	$P_{\max}$ (MW)
1	0,0	252,2	500,0
2	16,0	47,9	48,0

TABELA 09: Potências reativa gerada e seus limites para o Sistema IEEE 30 Barras

Sistema IEEE 30 Barras			
Barra	$Q_{\min}$ (MVar)	Q_{ger} (MVar)	$Q_{\max}$ (MVar)
5	-40,0	35,5	40,0
8	-10,0	37,1	40,0
11	-6,0	23,1	24,0
13	-6,0	22,6	24,0

TABELA 10: Tensões nas principais barras de controle de reativos e seus limites para o Sistema IEEE 30 Barras

Sistema IEEE 30 Barras			
Barra	$V_{\min}$ (pu)	V (pu)	$V_{\max}$ (pu)
1	0,90	1,0965	1,10
2	0,90	1,0563	1,10
5	0,90	1,0110	1,10
8	0,90	1,0037	1,10
11	0,90	1,0591	1,10
13	0,90	1,0453	1,10

Nestas condições o sistema apresenta Perdas de Potência Ativa de 17,279 MW, com uma Margem de Segurança de 0,9996.

4.4.2– Estudos com Restrições na Transmissão

a) Restrição entre duas Barras de Geração

TABELA 11: Restrição no Fluxo Máximo entre as barras 1 e 2 no Sistema IEEE 30 Barras

Sistema IEEE 30 Barras					
$F_{\max 1-2}$ (MW)	F_{1-2} (MW)	MS	Perdas (MW)	P_{G1} (MW)	P_{G2} (MW)
9000,0	171,60	0,9996	17,279	252,2	47,9
180,0	171,51	0,0703	17,672	252,1	47,9
176,0	171,50	0,0283	17,578	252,4	48,0
170,0	171,49	0,0000	17,538	252,5	48,0

b) Restrição entre uma Barra de Geração e uma Barra de Carga

TABELA 12: Restrição no Fluxo Máximo entre as barras 2 e 6 no Sistema IEEE 30 Barras

Sistema IEEE 30 Barras					
$F_{\max 2-6}$ (MW)	F_{2-6} (MW)	MS	Perdas (MW)	P_{G1} (MW)	P_{G2} (MW)
9000,0	62,95	0,9996	17,279	252,2	47,9
70,0	62,83	0,1477	17,912	255,5	45,2
66,0	62,76	0,0432	17,833	256,1	44,5
62,0	62,71	0,0000	17,820	256,7	43,9

c) Restrição entre duas Barras de Carga

TABELA 13: Restrição no Fluxo Máximo entre as Barras 12 e 15 no Sistema IEEE

30 Barras

Sistema IEEE 30 Barras					
$F_{\max 12-15}$ (MW)	F_{12-15} (MW)	MS	Perdas (MW)	P_{G1} (MW)	P_{G2} (MW)
9000,0	16,90	0,9996	17,279	252,2	47,9
19,0	16,9	0,1562	17,686	253,8	46,7
18,0	16,90	0,0601	17,685	253,9	46,6
17,0	16,89	0,0000	17,675	253,3	47,1

Os relatório contendo as saídas para todos os casos e o banco de dados do sistema encontram-se no Apêndice 3.

4.5 – Estudo 4: Sistema IEEE 57 Barras

O Sistema IEEE 57 Barras apresenta as seguintes características:

- 2 barras de geração: barras 1 e 8
- 5 barras de controle de reativos
- 50 barras de carga
- 80 linhas de transmissão
- 17 transformadores com *tap* variável

O Sistema 57 Barras está representado na Figura 09.

FIGURA 09: Sistema IEEE 57 Barras

4.5.1 - Caso Base

Os valores obtidos para o sistema em questão são apresentados nas tabelas a seguir:

TABELA 14: Potências ativas geradas e seus limites para o Sistema IEEE 57 Barras

Sistema IEEE 57 Barras			
Barra	$P_{\min}$ (MW)	P_{ger} (MW)	$P_{\max}$ (MW)
1	0,0	271,8	500,0
3	16,0	48,0	48,0
8	180,0	525,0	540,0
12	124,0	372,0	372,0

As barras 3 e 12 são controle de reativos com geração fixada nos valores indicados na Tabela 24.

TABELA 15: Potências reativas geradas e seus limites para o Sistema IEEE 57 Barras

Sistema IEEE 57 Barras			
Barra	$Q_{\min}$ (MVar)	Q_{ger} (MVar)	$Q_{\max}$ (MVar)
2	-17,0	-11,8	50,0
3	-10,0	40,5	60,0
6	-8,0	3,4	25,0
9	-3,0	5,3	9,0
12	-50,0	97,7	155,0

TABELA 16: Tensões nas barras de controle de reativos e seus limites para o Sistema IEEE 57 Barras

Sistema IEEE 57 Barras			
Barra	$V_{\min}$ (pu)	V (pu)	$V_{\max}$ (pu)
1	0,90	1,0392	1,10
2	0,90	1,0104	1,10
3	0,90	1,0020	1,10
6	0,90	0,9933	1,10
8	0,90	1,0172	1,10
9	0,90	0,9869	1,10
12	0,90	1,0133	1,10

As Perdas de Potência Ativa foram 20,969 MW e, nestas condições o sistema apresenta uma Margem de Segurança de 0,9994.

4.5.5 – Estudos com Restrições na Transmissão

a) Restrição entre duas Barras de Geração

O Sistema IEEE 57 Barras não apresenta barras de geração interligadas.

b) Restrição entre uma Barra de Geração e uma Barra de Carga

Os resultados do Caso Base são utilizados como referência.

TABELA 17: Restrição no Fluxo Máximo entre as barras 8 e 7 do Sistema IEEE 57 Barras

Sistema IEEE 57 Barras					
$F_{\max 8-7}$ (MW)	F_{8-7} (MW)	MS	Perdas (MW)	P_{G1} (MW)	P_{G8} (MW)
9000,0	99,29	0,9994	20,969	271,8	525,0
110,0	88,24	0,3475	21,270	324,2	472,8
100,0	88,11	0,2129	21,234	324,3	472,7
88,0	87,71	0,0000	21,150	325,3	471,1

c) Restrição entre duas Barras de Carga

TABELA 18: Restrição no Fluxo Máximo entre as barras 46 e 47 no Sistema IEEE 57 Barras

Sistema IEEE 57 Barras					
$F_{\max 46-47}$ (MW)	F_{46-47} (MW)	MS	Perdas (MW)	P_{G1} (MW)	P_{G8} (MW)
9000,0	45,13	0,9994	20,969	271,8	525,0
55,0	44,99	0,3156	20,992	270,0	526,8
50,0	44,99	0,1717	20,989	270,3	526,5
45,0	44,99	0,0000	20,988	270,3	526,5

O banco de entrada de dados para o sistema e os resultados obtidos em todos os estudos encontram-se no Apêndice 4.

4.6 – Análise dos Resultados

O exemplo ilustrativo foi retirado do artigo *Fast Testured Algorithms for Optimal Delivery Problems in Deregulated Enviroments*, de HUANG e HSIEH, 1998. Neste artigo, o exemplo ilustrativo é resolvido por um programa de Fluxo de Potência e por *FACTS*, respectivamente. O resultado encontrado quando utilizou-se *FACTS* foi muito mais satisfatório do que pelo Fluxo de Potência.

De posse dos dados de entrada deste sistema, nós montamos um banco de dados e utilizamos um programa de Fluxo de Potência, tendo obtido o mesmo resultado do artigo, e em seguida, utilizamos o programa Despacho de Potência Ativa. Este último mostrou-se muito eficiente na minimização das perdas, na redistribuição dos fluxos e na garantia de segurança operacional do sistema. Comparando os nossos resultados com os resultados do artigo, temos que o melhor caso utilizando *FACTS* apresenta um resultado pior do que o resultado do programa Despacho de Potência Ativa.

Com base nestes resultados, prosseguimos os nossos testes em sistemas padrão IEEE de maior porte: IEEE 14 barras, IEEE 30 barras e IEEE 57 barras, respectivamente.

Observamos que os sistemas apresentam comportamentos semelhantes. Nos casos base obtivemos os valores ótimos para o sistema sem restrição na transmissão, ou seja, o fluxo máximo admitido nas linhas encontrava-se “liberado”. Nos casos base obtivemos os valores em que o sistema deve operar tal que as perdas na transmissão fossem as menores possíveis e os valores das margens de Segurança foram sempre próximos de 1,0 pois a relação entre o fluxo obtido e o Fluxo Máximo admitido era muito pequena.

A partir dos resultados dos fluxos nas linhas obtidos nos casos base, introduzimos restrições em determinadas linhas de transmissão com o objetivo de verificar a realocação da geração, o processo de minimização das Perdas e as condições de operação dos sistemas.

No caso da restrição em uma linha entre duas barras de geração, obtivemos que as gerações foram alteradas visando satisfazer a demanda tal que os fluxos passaram a circular através de linhas que não apresentavam restrições. Na linha em que o fluxo encontra-se restrito, ocorreu uma diminuição do valor do mesmo, porém a relação entre fluxo obtido e o fluxo máximo aumentou e isto ocasionou um decréscimo no valor da Margem de Segurança. As Perdas foram maiores do que aquelas obtidas nos casos base, devido à nova alocação das gerações entre as barras.

No segundo caso, considerando que os sistemas apresentam somente duas barras de geração, a barra de geração que encontra-se com fluxo liberado passou a gerar mais devido à uma conseqüente diminuição na barra com restrição. Mais uma vez, a margem de Segurança foi menor em relação aos respectivos casos base, devido ao aumento na relação entre os fluxos obtido e admitido. As Perdas aumentaram em relação aos casos base.

Quando restringimos o Fluxo Máximo entre duas barras de carga, tomamos o cuidado de adotar duas barras distantes de barras de geração ou de controle de reativos. Assim, pudemos observar que as barras de geração quase não alteraram seus valores pois a restrição não estava diretamente ligada a elas. Neste caso, ocorreram alterações somente nos valores das margens de segurança e perdas.

Em todos os casos, considerando suas particularidades, as perdas foram minimizadas procurando satisfazer os critérios operacionais e de segurança do sistema.

Capítulo 5

Comentários e Conclusões

O problema de Despacho Ótimo de Potência Ativa AC foi formulado para uma futura aplicação em ambientes desregulamentados. A formulação do problema considera tanto as variáveis de otimização ativas como reativas. Considerando que o sistema elétrico brasileiro é predominantemente hidrelétrico, estudamos o Despacho de Potência Ativa com o objetivo de minimizar as perdas na transmissão. A Margem de Segurança foi determinada para cada estudo, possibilitando avaliar se os valores determinados pelo Despacho de Potência Ativa não violam os limites de transmissão das linhas do sistema. Introduzimos limites na transmissão do fluxo de potência e verificamos como este é redistribuído.

Durante os teste realizados, observamos que a distribuição dos fluxos nos Sistema IEEE 14, IEEE 30 e IEEE 57 apresentam praticamente o mesmo comportamento. Os resultados com restrições na transmissão, em relação aos seus respectivos Casos Base, apresentam um fluxo resultante menor e as perdas maiores. Conforme aumentam as restrições, a Margem de Segurança torna-se cada menor, até atingir um ponto onde a operação do sistema é comprometida.

Quando introduzimos um limite no Fluxo Máximo entre duas barras de geração observamos que as unidades geradoras procuraram se adequar para suprir as cargas, sem ultrapassar os limites de geração. Assim, quando uma unidade atingiu seu limite máximo de geração, a tendência observada é que a outra unidade passou a gerar mais potência para atender às necessidades do sistema. No estudo da restrição no Fluxo Máximo entre uma barra de geração e uma barra de carga verificamos que a geração de potência ativa nesta barra diminuiu e, conseqüentemente ocorreu um aumento na geração da outra barra. Já, no estudo com restrição entre duas barras de carga, as gerações sofreram poucas alterações. Assim, conseguimos mostrar como as gerações são redistribuídas nos casos com restrição na transmissão, bem como obtivemos as Perdas e a Margem de Segurança para estes casos.

Os resultados indicaram uma coerência com as perspectivas reais de contribuição na resolução do Despacho Ótimo de Potência Ativa AC.

Através da experiência adquirida no decorrer deste estudo propomos o desenvolvimento de trabalhos futuros:

- 1) Estudo envolvendo a análise de infactibilidade para o Método de Newton;
- 2) Estudos com contingências;
- 3) Adaptação do programa desenvolvido para ambiente *Windows*, com o objetivo de melhorar a interface homem-máquina.

Bibliografia

- CARPENTIER, J. L. (1962). Contribution a l'Etude du Dispatching Economique. *Bulletin de la Societe Francaise des Electriciens*, Ser. 8, Vol.3, p. 431-447, August.
- CARPENTIER, J. L. (1985). Optimal Power Flows: Uses, Methods and Developments. *Proc. of IFAC Conf.*, p. 11-21.
- COSTA, G. R. M.; LANGONA, K.; ALVES D. A. (1996). O Método de Newton Modificado Associado à Função Lagrangeana Aumentada para a Solução do Fluxo de Potência Ótimo. *XI Congresso Brasileiro de Automática*. v.1, p. 173-178.
- DOMMEL, H.W.; TINNEY, W. F. (1968). Optimal Power Flow Solutions. *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. 87, nº 10, p. 1866-1876, October.
- FAN, J. Y.; ZHANG, L. (1998). Real-Time Economic Dispatch with Line Flow and Emission Constraints Using Quadratic Programming. *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 13, nº 2, p. 320-325, May.
- GEORGE, E. E.; PAGE, H. W.; WARD, J. B. (1949). Coordination of Fuel Cost and Transmission Loss by Use of the Network Analyzer to Determine Plant Loading Schedules. *AIEE Trans.*, Vol.68, Part II, p. 1152-1163.

HAPP, H. H. (1977). Optimal Power Dispatch – A Comprehensive Survey. *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. 96, p. 841-854, May/June.

HUANG, G. ; HSIEH, S. C. (1998). Fast Textured Algorithms for Optimal Power Delivery Problems in Deregulated Environments. *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 13, n° 2, p. 493-500, May.

KARMARKAR, N. (1984). A New Polynomial-Time Algorithm for Linear Programming. *Combinatorica* 4, Vol.4, pp. 373-395.

KIRCHMAYER, L. K.; STAGG, G. W. (1951). Analysis of Total and Incremental Losses in Transmission Systems. *AIEE Trans.* , Vol. 70, Part II, p.1197-1205.

KRON, G. (1951a). Tensorial Analysis of Integrated Systems. *AIEE Trans*, Part I, Vol. 70, p. 1239-1248.

KRON, G. (1951b). Tensorial Analysis of Integrated Systems. *AIEE Trans*, Part II, Vol.71, p. 502-512.

KRON, G. (1952). Tensorial Analysis of Integrated Systems. *AIEE Trans*, Part III, Vol. 71, p. 814-822.

KRON, G. (1953). Tensorial Analysis of Integrated Systems. *AIEE Trans*, Part IV, Vol. 72, p. 827-838.

- LANGONA, K. (1994). O Método de Newton Modificado – Lagrangeana Aumentada para o Fluxo de Potência Ótimo. São Carlos. 96p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MARIA, G. A., FINDLAY, J.A.. (1987), A Newton Optimal Power Flow Program for Ontario Hydro SEM. *IEEE Trans. on Power Apparatus Systems*, Vol. 2, nº 3, p. 579-584.
- MONTICELLI, A. (1983). Fluxo de Carga em Rede de Energia Elétrica. São Paulo, Edgard Blücher Ltda, São Paulo.
- SANTOS, A.; DECKMAN, S.; SOARES, S. (1988). A Dual Augmented Lagrangian Approach for Optimal Power Flow. *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 3, p.1020-1025, August.
- SASSON, A.M.; MERRIL, H. M. (1974). Some Applications of Optimization Techniques to Power System Problems. *Proc. of IEEE*, Vol. 62, nº 7, p. 959-972.
- SQUIRES, R. B. (1961). Economic Dispatch of Generation Directly from Power System Voltages and Admittances. *AIEE Trans.*, Vol. 79, Part. III, p. 1235-1244.
- STEINBERG, M. J.; SMITH, T. H. (1934a). The Theory of Incremental Rates. *Electrical Engineering*, Part I, March.
- STEINBERG, M. J.; SMITH, T. H. (1934b). The Theory of Incremental Rates. *Electrical Engineering*, Part II, April.

STEINBERG, M. J.; SMITH, T. H. (1943). *Economic Loading of Power Plants and Electric Systems*”, McGraw-Hill.

SUN, D. I.; ASHLEY, B.; BREWER, B.; HUGHES, A.; TINNEY, W. F. (1984). Optimal Power Flow by Newton Approach. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. 103, p. 2864 – 2875, October.

YAN, X. ; QUITANA, V. H. (1997). An Efficient Predictor-Corrector Interior Point Algorithm for Security-Constrained Economic Dispatch. *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 2, p.803-810, May.

WARD, J. B. (1953). Economy Loading Simplified. *AIEE Trans.* , Vol. 72, Part III, p.1306-1311.

Apêndice 1

Estudo 1:

Banco de Entrada de Dados
e Relatório de Saída de Dados
para o Sistema 3 Barras

Banco de Entrada de Dados para o Sistema 3 Barras

```

1  1  barra1  1000  0.  0.0  0.0-9999 9999  150.0 60.0
2 -1  barra2  1020  0.  100  0.0-9999 9999  150.0 56.0
3 -1  barra3  1010  0.  100  0.0-9999 9999   50.0 40.0
9999
1      2      6.3  8.0      8.0 1.12 1.12 1.12      70
2      3      1.0  8.0
3      1      1.2  5.0      4.0      90
9999
      0.9      1.10
9999
      900
9999

```

Relatório de Saída de Dados para o Sistema 3 Barras

```

*****
* 3barras.out *
*****

NUMERO DE BARRA-CARGA= 0
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 2
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 1
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 8
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSAO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

SISTEMA COM: 3-BARRAS 3-LINHAS 0-TRAFO COM TAP VARIABEL 1-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 20 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA                                FLUXOS NAS LINHAS
BARRA TP  NOME      TENSAO  ANG.    MW     MVAR  BARRA  MW     MVAR
-----
1  SL  barra1      1.0018  .00    -1.2   134.7  2      19.27  -135.54
                                     3      -19.12    .87
-----
2  CR  barra2       .9912  -.79    50.0  -140.4  1      -19.27   150.48
                                     3      -30.73  -10.07
      REAT.GER.= 196.4 [LIMITES:MAX= 9999. MIN=-9999.]
-----
3  CR  barra3      1.0027  .56   -50.0   -6.2  1      19.16   -4.70
                                     2      30.84   10.92
      REAT.GER.= 46.2 [LIMITES:MAX= 9999. MIN=-9999.]
-----

PERDAS= .151

MARGEM DE SEGURANCA= .8814

```

Apêndice 2

Estudo 2:

Banco de Entrada de Dados
e Relatórios de Saída de Dados
para o Sistema IEEE 14 Barras

Relatórios de Saída de Dados para o Sistema IEEE 14 Barras

1) Caso Base

```
*****
*      b14.out      *
*****
```

```
NUMERO DE BARRA-CARGA= 9
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 12
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 52
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSAO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10
```

SISTEMA COM: 14-BARRAS 20-LINHAS 3-TRAFO COM TAP VARIAVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 19 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA							FLUXOS NAS LINHAS		
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	barra1	1.0993	.00	-226.2	6.8	2	151.35	-8.41
							5	74.82	1.56
2	GE	barra2	1.0786	-4.38	-23.3	-1.8	1	-147.67	13.38
							3	73.19	-.21
							4	56.19	-6.30
							5	41.58	-5.11
3	CR	barra3	1.0509	-11.67	94.2	-6.9	2	-71.03	4.37
							4	-23.17	2.52
		REAT.GER.=	25.9	[LIMITES:MAX=	40.	MIN=	0.]		
4	CG	barra4	1.0592	-9.48	47.8	-3.9	2	-54.61	6.84
							3	23.51	-5.51
							5	-62.31	8.13
							7	28.75	-5.80
							9	16.86	.24
5	CG	barra5	1.0639	-8.08	7.6	1.6	1	-72.31	3.05
							2	-40.73	3.80
							4	62.78	-8.09
							6	42.65	-3.36
6	CR	barra6	1.0183	-13.50	11.2	-15.1	5	-42.65	4.41
							11	6.52	1.93
							12	7.64	2.33
							13	17.30	6.41
		REAT.GER.=	22.6	[LIMITES:MAX=	24.	MIN=	-6.]		

7	CG	barra7	1.0228	-12.51	.0	.0			
							4	-28.75	7.41
							8	.00	-17.14
							9	28.75	9.73
8	CR	barra8	1.0523	-12.51	.0	-17.6			
							7	.00	17.63
		REAT.GER.=	17.6	[LIMITES:MAX=	24.	MIN=	-6.]		
9	CG	barra9	1.0128	-14.26	29.5	16.6			
							4	-16.86	1.17
							7	-28.75	-8.76
							10	6.06	5.83
							14	10.06	4.67
		CAP/REAT				19.5			
10	CG	barra10	1.0061	-14.44	9.0	5.8			
							9	-6.03	-5.77
							11	-2.97	-.03
11	CG	barra11	1.0085	-14.12	3.5	1.8			
							6	-6.47	-1.84
							10	2.97	.04
12	CG	barra12	1.0034	-14.44	6.1	1.6			
							6	-7.56	-2.17
							13	1.46	.57
13	CG	barra13	.9991	-14.53	13.5	5.8			
							6	-17.08	-5.98
							12	-1.46	-.56
							14	5.04	.75
14	CG	barra14	.9880	-15.48	14.9	5.0			
							9	-9.90	-4.34
							13	-5.00	-.66

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA	BARRA	TAP DO TRANSFORMADOR		
INICIAL	FINAL	ATUAL	MINIMO	MAXIMO
4	7	1.048	.950	1.050
4	9	1.048	.950	1.050
5	6	1.050	.950	1.050

PERDAS=12.169 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .9997

2) Estudos com Restrições na Transmissão

2.a) Restrição entre duas Barras de Geração

$$2.a.1) F_{\max 1-2} = 160,0 \text{ MW}$$

```
*****
* 2a1.out *
```

NUMERO DE BARRA-CARGA= 9
 NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 12
 NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
 NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 52
 TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
 TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
 LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

SISTEMA COM: 14-BARRAS 20-LINHAS 3-TRAFO COM TAP VARIAVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 15 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS			
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	barra1	1.0772	.00	-224.6	-8.2	2	150.62	-1.83
							5	73.95	10.07
2	GE	barra2	1.0526	-4.50	-25.6	-20.4	1	-146.83	7.41
							3	73.57	6.88
							4	56.79	3.04
							5	42.03	3.08
3	CR	barra3	1.0112	-12.12	94.2	-2.7	2	-71.24	-1.72
							4	-22.96	4.40
		REAT.GER.= 21.7 [LIMITES:MAX=			40. MIN=	0.]			
4	CG	barra4	1.0169	-9.70	47.8	-3.9	2	-55.08	-1.88
							3	23.33	-7.02
							5	-62.23	3.07
							7	29.23	7.75
							9	16.96	1.98
5	CG	barra5	1.0239	-8.23	7.6	1.6	1	-71.32	-4.67
							2	-41.11	-3.93
							4	62.73	-2.82
							6	42.10	9.82
6	CR	barra6	.9982	-14.15	11.2	-3.8	5	-42.10	-5.33
							11	6.20	.96
							12	7.57	2.21
							13	17.13	5.92
		REAT.GER.= 11.3 [LIMITES:MAX=			24. MIN=	-6.]			
7	CG	barra7	1.0086	-13.14	.0	.0	4	-29.23	-5.90
							8	.00	-4.51
							9	29.23	10.41
8	CR	barra8	1.0165	-13.14	.0	-4.5	7	.00	4.54
		REAT.GER.= 4.5 [LIMITES:MAX=			24. MIN=	-6.]			

9	CG	barra9	.9978	-14.97	29.5	16.6			
							4	-16.96	-.41
							7	-29.23	-9.37
							10	6.37	6.81
							14	10.32	5.31
CAP/REAT			18.9						
10	CG	barra10	.9900	-15.16	9.0	5.8			
							9	-6.34	-6.74
							11	-2.66	.94
11	CG	barra11	.9904	-14.81	3.5	1.8			
							6	-6.16	-.88
							10	2.66	-.92
12	CG	barra12	.9833	-15.12	6.1	1.6			
							6	-7.49	-2.05
							13	1.39	.45
13	CG	barra13	.9793	-15.23	13.5	5.8			
							6	-16.91	-5.49
							12	-1.39	-.45
							14	4.80	.14
14	CG	barra14	.9705	-16.22	14.9	5.0			
							9	-10.14	-4.94
							13	-4.76	-.06

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA	BARRA	TAP DO TRANSFORMADOR		
INICIAL	FINAL	ATUAL	MINIMO	MAXIMO
4	7	.994	.950	1.050
4	9	1.013	.950	1.050
5	6	1.007	.950	1.050

PERDAS=12.828 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .0967

$$2.a.2) F_{\max 1-2} = 155,0 \text{ MW}$$

```
*****
* 2a2.out *
*****
```

NUMERO DE BARRA-CARGA= 9
 NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 12
 NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
 NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 52
 TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
 TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
 LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

SISTEMA COM: 14-BARRAS 20-LINHAS 3-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 19 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA

FLUXOS NAS LINHAS

BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR			
1	SL	barra1	1.0773	.00	-223.8	-9.2	BARRA	MW	MVAR
							2	149.93	-.64
							5	73.83	9.89
2	GE	barra2	1.0522	-4.46	-26.3	-16.0	1	-146.17	6.12
							3	73.72	4.99
							4	56.75	2.35
							5	42.03	2.50
3	CR	barra3	1.0144	-12.13	94.2	-5.9	2	-71.39	.14
							4	-22.81	5.76
		REAT.GER.=	24.9	[LIMITES:MAX=	40.	MIN=	0.]		
4	CG	barra4	1.0177	-9.69	47.8	-3.9	2	-55.05	-1.20
							3	23.19	-8.37
							5	-62.12	3.56
							7	29.22	7.87
							9	16.96	2.04
5	CG	barra5	1.0245	-8.22	7.6	1.6	1	-71.22	-4.54
							2	-41.11	-3.36
							4	62.62	-3.32
							6	42.11	9.62
6	CR	barra6	.9984	-14.13	11.2	-4.0	5	-42.11	-5.14
							11	6.21	.97
							12	7.57	2.21
							13	17.13	5.93
		REAT.GER.=	11.5	[LIMITES:MAX=	24.	MIN=	-6.]		
7	CG	barra7	1.0087	-13.12	.0	.0	4	-29.22	-6.02
							8	.00	-4.30
							9	29.22	10.32
8	CR	barra8	1.0162	-13.12	.0	-4.3	7	.00	4.33
		REAT.GER.=	4.3	[LIMITES:MAX=	24.	MIN=	-6.]		
9	CG	barra9	.9980	-14.95	29.5	16.6	4	-16.96	-.48
							7	-29.22	-9.28
							10	6.36	6.80
							14	10.31	5.30
		CAP/REAT				18.9			
10	CG	barra10	.9902	-15.13	9.0	5.8	9	-6.34	-6.73
							11	-2.66	.93
11	CG	barra11	.9906	-14.79	3.5	1.8	6	-6.17	-.89
							10	2.67	-.91
12	CG	barra12	.9835	-15.10	6.1	1.6	6	-7.50	-2.05
							13	1.40	.45
13	CG	barra13	.9795	-15.21	13.5	5.8	6	-16.91	-5.50
							12	-1.39	-.45

						14	4.80	.15
14	CG	barra14	.9707	-16.20	14.9	5.0	9	-10.14
							13	-4.76
								-4.94
								-1.06

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA	BARRA	TAP DO TRANSFORMADOR		
INICIAL	FINAL	ATUAL	MINIMO	MAXIMO
4	7	.995	.950	1.050
4	9	1.013	.950	1.050
5	6	1.008	.950	1.050

PERDAS=12.838

MARGEM DE SEGURANCA= .0462

2.a.3) $F_{\max 1-2} = 150,0 \text{ MW}$

 * 2a3.out *

NUMERO DE BARRA-CARGA= 9
 NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 12
 NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
 NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 52
 TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
 TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
 LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

SISTEMA COM: 14-BARRAS 20-LINHAS 3-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 20 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS			
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	barra1	1.0792	.00	-223.9	-13.5	2	149.93	3.09
							5	73.94	10.36
2	GE	barra2	1.0520	-4.42	-26.2	-12.4	1	-146.19	2.35
							3	73.54	6.25
							4	56.77	2.00
							5	42.07	1.84
3	CR	barra3	1.0119	-12.06	94.2	-3.0	2	-71.21	-1.10
							4	-22.99	4.06
		REAT.GER.=	22.0	[LIMITES:MAX=	40.	MIN=	0.]		
4	CG	barra4	1.0181	-9.66	47.8	-3.9	2	-55.06	-8.84
							3	23.35	-6.69
							5	-62.16	2.40
							7	29.15	7.14
							9	16.92	1.90

5	CG	barra5	1.0253	-8.20	7.6	1.6			
							1	-71.32	-5.01
							2	-41.15	-2.71
							4	62.66	-2.16
							6	42.21	8.28
6	CR	barra6	.9996	-14.09	11.2	-5.6			
							5	-42.21	-3.84
							11	6.26	1.18
							12	7.59	2.24
							13	17.16	6.04
		REAT.GER.=	13.1	[LIMITES:MAX=	24.	MIN=	-6.]		
7	CG	barra7	1.0086	-13.07	.0	.0			
							4	-29.15	-5.32
							8	.00	-4.76
							9	29.15	10.07
8	CR	barra8	1.0169	-13.07	.0	-4.8			
		REAT.GER.=	4.8	[LIMITES:MAX=	24.	MIN=	-6.]		
9	CG	barra9	.9981	-14.90	29.5	16.6			
							4	-16.92	-.34
							7	-29.15	-9.05
							10	6.31	6.58
							14	10.26	5.16
		CAP/REAT				18.9			
10	CG	barra10	.9905	-15.08	9.0	5.8			
							9	-6.28	-6.51
							11	-2.72	.71
11	CG	barra11	.9914	-14.75	3.5	1.8			
							6	-6.22	-1.10
							10	2.72	-.70
12	CG	barra12	.9847	-15.06	6.1	1.6			
							6	-7.51	-2.08
							13	1.41	.48
13	CG	barra13	.9806	-15.16	13.5	5.8			
							6	-16.94	-5.61
							12	-1.40	-.48
							14	4.85	.28
14	CG	barra14	.9713	-16.15	14.9	5.0			
							9	-10.10	-4.80
							13	-4.80	-.20

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA	BARRA	TAP DO TRANSFORMADOR			
INICIAL	FINAL	ATUAL	MINIMO	MAXIMO	
4	7	.997	.950	1.050	
4	9	1.014	.950	1.050	
5	6	1.011	.950	1.050	

PERDAS=12.761 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .0000

2.b) Restrição entre uma Barras de Geração e uma Barra de Carga

2.b.1) $F_{\max 2-4} = 65,0 \text{ MW}$

```
*****
* 2b1.out *
*****
```

```
NUMERO DE BARRA-CARGA= 9
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 12
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 52
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSAO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10
```

SISTEMA COM: 14-BARRAS 20-LINHAS 3-TRAFO COM TAP VARIAVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 20 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA							FLUXOS NAS LINHAS		
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	barra1	1.0830	.00	-231.6	-61.8	2	155.93	45.36
							5	75.63	16.44
2	GE	barra2	1.0315	-4.25	-19.5	49.7	1	-151.52	-37.82
							3	73.80	-2.85
							4	56.00	-4.32
							5	41.24	-4.69
3	CR	barra3	1.0089	-12.34	94.2	-16.4	2	-71.39	8.42
		REAT.GER.= 35.4 [LIMITES:MAX=	40. MIN=	0.]			4	-22.81	7.94
4	CG	barra4	1.0086	-9.78	47.8	-3.9	2	-54.28	5.64
							3	23.21	-10.42
							5	-63.06	2.34
							7	29.39	4.91
							9	16.94	1.44
5	CG	barra5	1.0160	-8.27	7.6	1.6	1	-72.82	-10.28
							2	-40.33	3.92
							4	63.59	-2.00
							6	41.96	6.76
6	CR	barra6	.9931	-14.21	11.2	-5.6	5	-41.96	-2.35
							11	6.14	.25
							12	7.54	2.12
							13	17.08	5.56
		REAT.GER.= 13.1 [LIMITES:MAX=	24. MIN=	-6.]					
7	CG	barra7	1.0091	-13.27	.0	.0	4	-29.39	-3.09
							8	.00	-9.19
							9	29.39	12.27
8	CR	barra8	1.0252	-13.27	.0	-9.3

REAT.GER.= 9.3 [LIMITES:MAX= 24. MIN= -6.]				7	.00	9.33
9	CG	barra9	.9963 -15.11	29.5	16.6	
				4	-16.94	.14
				7	-29.39	-11.18
				10	6.44	7.53
				14	10.40	5.77
CAP/REAT				18.9		
10	CG	barral0	.9878 -15.29	9.0	5.8	
				9	-6.40	-7.45
				11	-2.60	1.65
11	CG	barral1	.9868 -14.91	3.5	1.8	
				6	-6.10	-.17
				10	2.60	-1.63
12	CG	barral2	.9785 -15.20	6.1	1.6	
				6	-7.47	-1.97
				13	1.37	.37
13	CG	barral3	.9746 -15.31	13.5	5.8	
				6	-16.86	-5.14
				12	-1.36	-.36
				14	4.73	-.30
14	CG	barral4	.9676 -16.34	14.9	5.0	
				9	-10.21	-5.39
				13	-4.69	.39

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP DO TRANSFORMADOR ATUAL	MINIMO	MAXIMO
4	7	.991	.900	1.100
4	9	1.009	.900	1.100
5	6	1.012	.900	1.100

PERDAS=13.770 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .2147

2.b.2) $F_{\max 2-4} = 60,0$ MW

```
*****
* 2b2.out *
```

```
NUMERO DE BARRA-CARGA= 9
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 12
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 52
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10
```

SISTEMA COM: 14-BARRAS 20-LINHAS 3-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 16 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA

FLUXOS NAS LINHAS

BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR			
1	SL	barra1	1.0689	.00	-233.3	-27.5			
							2	157.54	16.60
							5	75.76	10.91
2	GE	barra2	1.0328	-4.65	-17.6	15.1			
							1	-153.27	-9.38
							3	73.74	-1.05
							4	55.99	-2.47
							5	41.15	-2.25
3	CR	barra3	1.0067	-12.68	94.2	-14.4			
							2	-71.34	6.58
							4	-22.86	7.79
		REAT.GER.=	33.4	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	0.]			
4	CG	barra4	1.0067	-10.11	47.8	-3.9			
							2	-54.29	3.76
							3	23.27	-10.26
							5	-63.04	4.54
							7	29.35	4.60
							9	16.92	1.27
5	CG	barra5	1.0133	-8.58	7.6	1.6			
							1	-72.96	-4.67
							2	-40.24	1.45
							4	63.57	-4.18
							6	42.03	5.80
6	CR	barra6	.9931	-14.55	11.2	-6.7			
							5	-42.03	-1.38
							11	6.18	.34
							12	7.55	2.14
							13	17.10	5.61
		REAT.GER.=	14.2	[LIMITES:MAX=	24. MIN=	-6.]			
7	CG	barra7	1.0087	-13.61	.0	.0			
							4	-29.35	-2.78
							8	.00	-9.54
							9	29.35	12.32
8	CR	barra8	1.0254	-13.61	.0	-9.7			
							7	.00	9.70
		REAT.GER.=	9.7	[LIMITES:MAX=	24. MIN=	-6.]			
9	CG	barra9	.9958	-15.45	29.5	16.6			
							4	-16.92	.31
							7	-29.35	-11.22
							10	6.40	7.44
							14	10.37	5.71
		CAP/REAT				18.8			
10	CG	barra10	.9874	-15.63	9.0	5.8			
							9	-6.37	-7.36
							11	-2.63	1.56
11	CG	barra11	.9866	-15.25	3.5	1.8			
							6	-6.14	-.26
							10	2.64	-1.54
12	CG	barra12	.9784	-15.54	6.1	1.6			
							6	-7.47	-1.98
							13	1.37	.38
13	CG	barra13	.9745	-15.65	13.5	5.8			
							6	-16.88	-5.18
							12	-1.37	-.37

						14	4.75	- .25
14	CG	barra14	.9672	-16.68	14.9	5.0	9	-10.19
							13	-4.71
								-5.33
								.33

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA	BARRA	TAP DO	TRANSFORMADOR	
INICIAL	FINAL	ATUAL	MINIMO	MAXIMO
4	7	.990	.900	1.100
4	9	1.008	.900	1.100
5	6	1.011	.900	1.100

PERDAS=13.614 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .0785

2.b.3) $F_{\max 2-4} = 54,0$ MW

```

*****
* 2b3.out *
*****

```

NUMERO DE BARRA-CARGA= 9
 NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 12
 NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
 NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 52
 TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
 TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
 LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

SISTEMA COM: 14-BARRAS 20-LINHAS 3-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 20 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS			
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	barra1	1.0804	.00	-240.2	-15.7	2	163.71	4.52
							5	76.51	11.22
2	GE	barra2	1.0506	-4.82	-10.7	-9.4	1	-159.25	3.10
							3	73.47	2.71
							4	55.79	1.59
							5	40.68	1.99
3	CR	barra3	1.0172	-12.51	94.2	-9.9	2	-71.16	2.33
							4	-23.04	7.52
REAT.GER.= 28.9			[LIMITES:MAX= 40. MIN= 0.]						
4	CG	barra4	1.0178	-9.99	47.8	-3.9	2	-54.15	-1.60
							3	23.44	-10.08
							5	-63.68	4.69
							7	29.52	7.39
							9	17.06	2.50

5	CG	barra5	1.0242	-8.47	7.6	1.6			
							1	-73.71	-5.11
							2	-39.81	-3.02
							4	64.20	-4.37
							6	41.72	10.89
6	CR	barra6	.9921	-14.35	11.2	-.4			
							5	-41.72	-6.43
							11	6.01	-.42
							12	7.51	2.04
							13	17.00	5.21
		REAT.GER.=	7.9	[LIMITES:MAX=	24.	MIN=	-6.]		
7	CG	barra7	1.0115	-13.45	.0	.0			
							4	-29.52	-5.52
							8	.00	-6.75
							9	29.52	12.26
8	CR	barra8	1.0233	-13.45	.0	-6.8			
		REAT.GER.=	6.8	[LIMITES:MAX=	24.	MIN=	-6.]		
9	CG	barra9	.9987	-15.29	29.5	16.6			
							4	-17.06	-.90
							7	-29.52	-11.17
							10	6.57	8.21
							14	10.52	6.21
		CAP/REAT				19.0			
10	CG	barra10	.9897	-15.46	9.0	5.8			
							9	-6.53	-8.12
							11	-2.47	2.32
11	CG	barra11	.9872	-15.07	3.5	1.8			
							6	-5.98	.49
							10	2.48	-2.29
12	CG	barra12	.9777	-15.33	6.1	1.6			
							6	-7.43	-1.88
							13	1.33	.28
13	CG	barra13	.9741	-15.46	13.5	5.8			
							6	-16.79	-4.80
							12	-1.33	-.28
							14	4.61	-.72
14	CG	barra14	.9687	-16.51	14.9	5.0			
							9	-10.33	-5.80
							13	-4.57	.80

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA	BARRA	TAP DO TRANSFORMADOR		
INICIAL	FINAL	ATUAL	MINIMO	MAXIMO
4	7	.993	.900	1.100
4	9	1.010	.900	1.100
5	6	1.011	.900	1.100

PERDAS=13.605 (MW)

MARGEM DE SEGURANÇA= .0000

2.c) Restrição entre duas Barras de Carga

2.c.1) $F_{\max 9-14} = 20,0 \text{ MW}$

```
*****
* 2c1.out *
*****
```

```
NUMERO DE BARRA-CARGA= 9
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 12
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 52
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10
```

SISTEMA COM: 14-BARRAS 20-LINHAS 3-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 10 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS			
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	barra1	1.0689	.00	-229.1	-33.4	2	154.13	19.14
							5	74.96	14.26
2	GE	barra2	1.0319	-4.52	-21.7	2.2	1	-150.02	-12.41
							3	73.39	7.10
							4	56.49	2.07
							5	41.84	1.08
3	CR	barra3	.9899	-12.45	94.2	-2.1	2	-70.98	-1.39
							4	-23.22	3.47
		REAT.GER.= 21.1	[LIMITES:MAX= 40.	MIN= 0.]					
4	CG	barra4	.9976	-9.94	47.8	-3.9	2	-54.74	-6.61
							3	23.61	-5.90
							5	-62.19	-7.1
							7	28.99	8.13
							9	16.54	2.99
5	CG	barra5	1.0063	-8.45	7.6	1.6	1	-72.17	-8.03
							2	-40.90	-1.74
							4	62.71	1.06
							6	42.76	7.11
6	CR	barra6	1.0077	-14.63	11.2	-9.7	5	-42.76	-2.43
							11	6.55	2.80
							12	7.67	2.44
							13	17.34	6.87
		REAT.GER.= 17.2	[LIMITES:MAX= 24.	MIN= -6.]					
7	CG	barra7	1.0044	-13.49	.0	.0	4	-28.99	-6.22
							8	.00	-1.08
							9	28.99	6.31
8	CR	barra8	1.0045	-13.49	.0	-1.1			

REAT.GER.= .1 [LIMITES:MAX= 24. MIN= -6.]					7	.00	.08
9	CG	barra9	.9980 -15.31	29.5	16.6		
					4	-16.54	-1.42
					7	-28.99	-5.35
					10	6.03	4.97
					14	10.00	4.12
CAP/REAT					18.9		
10	CG	barra10	.9919 -15.51	9.0	5.8		
					9	-6.01	-4.92
					11	-2.99	-.88
11	CG	barra11	.9961 -15.22	3.5	1.8		
					6	-6.50	-2.70
					10	3.00	.90
12	CG	barra12	.9923 -15.58	6.1	1.6		
					6	-7.59	-2.28
					13	1.49	.68
13	CG	barra13	.9876 -15.67	13.5	5.8		
					6	-17.12	-6.42
					12	-1.49	-.67
					14	5.10	1.30
14	CG	barra14	.9743 -16.59	14.9	5.0		
					9	-9.85	-3.80
					13	-5.05	-1.20

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP ATUAL	DO MINIMO	TRANSFORMADOR MAXIMO
4	7	.978	.900	1.000
4	9	.987	.900	1.000
5	6	.987	.900	1.000

PERDAS=13.506 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .7184

2.c.2) $F_{\max 9-14} = 16,0 \text{ MW}$

```
*****
* 2c2.out *
```

```
NUMERO DE BARRA-CARGA= 9
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 12
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 52
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10
```

SISTEMA COM: 14-BARRAS 20-LINHAS 3-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 10 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA

FLUXOS NAS LINHAS

BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR			
1	SL	barra1	1.0689	.00	-229.1	-33.4	BARRA	MW	MVAR
							2	154.12	19.15
							5	74.96	14.26
2	GE	barra2	1.0319	-4.52	-21.7	2.2			
							1	-150.01	-12.42
							3	73.39	7.10
							4	56.50	2.07
							5	41.84	1.08
3	CR	barra3	.9899	-12.45	94.2	-2.1			
							2	-70.98	-1.39
							4	-23.22	3.47
		REAT.GER.=	21.1	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	0.]			
4	CG	barra4	.9976	-9.94	47.8	-3.9			
							2	-54.74	-6.61
							3	23.61	-5.90
							5	-62.19	-7.71
							7	28.99	8.13
							9	16.54	2.99
5	CG	barra5	1.0063	-8.45	7.6	1.6			
							1	-72.17	-8.03
							2	-40.90	-1.74
							4	62.71	1.06
							6	42.76	7.11
6	CR	barra6	1.0077	-14.63	11.2	-9.7			
							5	-42.76	-2.43
							11	6.55	2.80
							12	7.67	2.44
							13	17.34	6.87
		REAT.GER.=	17.2	[LIMITES:MAX=	24. MIN=	-6.]			
7	CG	barra7	1.0044	-13.49	.0	.0			
							4	-28.99	-6.22
							8	.00	-1.08
							9	28.99	6.31
8	CR	barra8	1.0045	-13.49	.0	-.1			
							7	.00	.08
		REAT.GER.=	.1	[LIMITES:MAX=	24. MIN=	-6.]			
9	CG	barra9	.9980	-15.31	29.5	16.6			
							4	-16.54	-1.42
							7	-28.99	-5.35
							10	6.03	4.97
							14	10.00	4.12
		CAP/REAT				18.9			
10	CG	barra10	.9919	-15.51	9.0	5.8			
							9	-6.01	-4.92
							11	-2.99	-1.88
11	CG	barra11	.9961	-15.22	3.5	1.8			
							6	-6.50	-2.70
							10	3.00	.90
12	CG	barra12	.9923	-15.58	6.1	1.6			
							6	-7.59	-2.28
							13	1.49	.68
13	CG	barra13	.9876	-15.67	13.5	5.8			
							6	-17.12	-6.42

						12	-1.49	-.67
						14	5.10	1.30
14	CG	barra14	.9743	-16.59	14.9	5.0		
						9	-9.85	-3.80
						13	-5.05	-1.20

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP ATUAL	DO MINIMO	TRANSFORMADOR MAXIMO
4	7	.978	.900	1.000
4	9	.987	.900	1.000
5	6	.987	.900	1.000

PERDAS=13.505 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .5600

$$2.c.3) F_{\max 9-14} = 10,0 \text{ MW}$$

```
*****
* 2c3.out *
*****
```

```
NUMERO DE BARRA-CARGA= 9
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 12
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 52
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10
```

SISTEMA COM: 14-BARRAS 20-LINHAS 3-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 10 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS			
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	barra1	1.0685	.00	-229.3	-19.8	2	154.10	10.02
							5	75.25	9.78
2	GE	barra2	1.0366	-4.59	-21.3	-2.8	1	-150.04	-3.48
							3	73.04	7.98
							4	56.50	-.31
							5	41.78	-1.41
3	CR	barra3	.9930	-12.39	94.2	2.3	2	-70.66	-2.46
							4	-23.54	.13
REAT.GER.= 16.7 [LIMITES:MAX= 40. MIN= 0.]									
4	CG	barra4	1.0066	-10.01	47.8	-3.9	2	-54.77	1.64
							3	23.92	-2.62
							5	-62.75	-1.02
							7	29.02	4.89
							9	16.78	1.00

5	CG	barra5	1.0154	-8.54	7.6	1.6			
							1	-72.49	-3.76
							2	-40.86	.66
							4	63.27	1.34
							6	42.49	.16
6	CR	barra6	.9972	-14.47	11.2	-13.9			
							5	-42.49	4.26
							11	6.42	1.32
							12	7.61	2.26
							13	17.25	6.11
		REAT.GER.=	21.4	[LIMITES:MAX=	24.	MIN=	-6.]		
7	CG	barra7	1.0061	-13.48	.0	.0			
							4	-29.02	-3.10
							8	.00	-7.82
							9	29.02	10.92
8	CR	barra8	1.0198	-13.48	.0	-7.9			
							7	.00	7.92
		REAT.GER.=	7.9	[LIMITES:MAX=	24.	MIN=	-6.]		
9	CG	barra9	.9946	-15.31	29.7	16.6			
							4	-16.78	.55
							7	-29.02	-9.88
							10	6.15	6.45
							14	10.00	5.08
		CAP/REAT				18.8			
10	CG	barra10	.9872	-15.49	9.0	5.8			
							9	-6.12	-6.38
							11	-2.88	.58
11	CG	barra11	.9885	-15.14	3.5	1.8			
							6	-6.38	-1.23
							10	2.88	-.57
12	CG	barra12	.9821	-15.44	6.1	1.6			
							6	-7.53	-2.09
							13	1.43	.49
13	CG	barra13	.9779	-15.55	13.5	5.8			
							6	-17.03	-5.68
							12	-1.43	-.49
							14	4.96	.37
14	CG	barra14	.9681	-16.56	14.8	5.0			
							9	-9.84	-4.72
							13	-4.91	-.28

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA	BARRA	TAP DO TRANSFORMADOR		
INICIAL	FINAL	ATUAL	MINIMO	MAXIMO
4	7	.992	.900	1.100
4	9	1.011	.900	1.100
5	6	1.023	.900	1.100

PERDAS=13.335 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .0000

Apêndice 3

Estudo 3:

Banco de Entrada de Dados
e Relatórios de Saída de Dados
para o Sistema IEEE 30 Barras

Banco de Entrada de Dados para o Sistema IEEE 30 Barras

1	1	BARRA1	1053	.0	-9999	9999	0.	0.	
2	1	BARRA2	1032	-.09 40.	-40	50	21.7	12.7	
3	0	BARRA3	1000	.00			2.4	1.2	
4	0	BARRA4	1000	.00			7.6	1.6	
5	-1	BARRA5	1010	-.25	-40	40	94.2	19.0	
6	0	BARRA6	1000	.00			.0	.0	
7	0	BARRA7	1000	.00			22.8	10.9	
8	-1	BARRA8	1010	-.21	-10	40	30.0	30.0	
9	0	BARRA9	1000	.00			.0	.0	
10	0	BARRA10	1000	.00			5.8	2.0	19.
11	-1	BARRA11	1072	-.26	-6	24	.0	.0	
12	0	BARRA12	1000	.00			11.2	7.5	
13	-1	BARRA13	1057	-.27	-6	24	.0	.0	
14	0	BARRA14	1000	.00			6.2	1.6	
15	0	BARRA15	1000	.00			8.2	2.5	
16	0	BARRA16	1000	.00			3.5	1.8	
17	0	BARRA17	1000	.00			9.0	5.8	
18	0	BARRA18	1000	.00			3.2	0.9	
19	0	BARRA19	1000	.00			9.5	3.4	
20	0	BARRA20	1000	.00			2.2	0.7	
21	0	BARRA21	1000	.00			17.5	11.2	
22	0	BARRA22	1000	.00			.0	.0	
23	0	BARRA23	1000	.00			3.2	1.6	
24	0	BARRA24	1000	.00			8.7	6.7	4.3
25	0	BARRA25	1000	.00			.0	.0	
26	0	BARRA26	1000	.00			3.5	2.3	
27	0	BARRA27	1000	.00			.0	.0	
28	0	BARRA28	1000	.00			.0	.0	
29	0	BARRA29	1000	.00			2.4	0.9	
30	0	BARRA30	1000	.00			10.6	1.9	
9999									
1	2		1.92	5.75	2.64				9000.
1	3		4.52	18.52	2.04				9000.
2	4		5.70	17.37	1.84				9000.
3	4		1.32	3.79	0.42				9000.
2	5		4.72	19.83	2.09				9000.
2	6		5.81	17.63	1.87				9000.
4	6		1.19	4.14	0.45				9000.
5	7		4.60	11.60	1.02				9000.
6	7		2.67	8.20	0.85				9000.
6	8		1.20	4.20	0.45				9000.
6	9		.0	20.80		1.0380	.9001	.100	9000.
6	10		.0	55.60		0.9560	.9001	.100	9000.
9	11		.001	20.80					9000.
9	10		.001	11.00					9000.
4	12		.0	25.60		1.0150	.9001	.100	9000.
12	13		.0	14.00					9000.
12	14		12.31	25.59					9000.
12	15		6.62	13.04					9000.
12	16		9.45	19.87					9000.
14	15		22.10	19.97					9000.
16	17		8.24	19.23					9000.
15	18		10.70	21.85					9000.

18	19	6.39	12.92		9000.
19	20	3.40	6.80		9000.
10	20	9.36	20.90		9000.
10	17	3.24	8.45		9000.
10	21	3.48	7.49		9000.
10	22	7.27	14.99		9000.
21	22	1.16	2.36		9000.
15	23	10.00	20.20		9000.
22	24	11.50	17.90		9000.
23	24	13.20	27.00		9000.
24	25	18.85	32.92		9000.
25	26	25.44	38.00		9000.
25	27	10.93	20.87		9000.
28	27	0.0	39.60	0.9580.9001.100	9000.
27	29	21.98	41.53		9000.
27	30	32.02	60.27		9000.
29	30	23.99	45.33		9000.
8	28	6.36	20.00	2.14	9000.
6	28	1.69	5.99	0.65	9000.
9999					
	0.90	1.10			
9999					
		900			
9999					

Relatórios de Saída de Dados para o Sistema IEEE 30 Barras

1) Caso Base

```

*****
*      b30.out      *
*****

```

```

NUMERO DE BARRA-CARGA= 24
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 28
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 116
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

```

SISTEMA COM: 30-BARRAS 41-LINHAS 4-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 20 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS			
BARRA	TP	NOME	TENSÃO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	BARRA1	1.0965	.00	-252.2	-52.9			
							2	171.60	24.34
							3	80.60	28.58

2	GE	BARRA2	1.0563	-4.64	-26.2	-25.0			
							1	-166.79	-12.99
							4	46.26	16.84
							5	83.76	9.24
							6	62.95	11.87

3	CG	BARRA3	1.0205	-6.97	2.4	1.2			
							1	-77.82	-19.49
							4	75.42	18.29
4	CG	BARRA4	1.0042	-8.43	7.0	61.0			
							2	-45.00	-14.97
							3	-74.66	-16.53
							6	70.63	-21.17
							12	42.03	-2.28
		CAP/REAT				6.1			
5	CR	BARRA5	1.0110	-13.32	94.2	-16.5			
							2	-80.75	1.19
							7	-13.45	15.33
		REAT.GER.=	35.5	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	-40.]			
6	CG	BARRA6	1.0050	-10.23	.0	.0			
							2	-60.80	-7.33
							4	-69.99	22.94
							7	36.81	-4.71
							8	29.87	-5.52
							9	28.93	-18.12
							10	15.43	7.53
							28	19.75	5.21
7	CG	BARRA7	.9992	-12.02	22.8	10.9			
							5	13.65	-15.87
							6	-36.45	4.97
8	CR	BARRA8	1.0037	-10.98	30.0	-7.1			
							6	-29.76	5.45
							28	-.24	1.65
		REAT.GER.=	37.1	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	-10.]			
9	CG	BARRA9	1.0139	-13.52	.0	.0			
							6	-28.93	20.52
							10	28.93	1.54
							11	.00	-22.07
10	CG	BARRA10	1.0127	-15.30	5.8	2.0			
							6	-15.43	-5.91
							9	-28.93	-.65
							17	6.15	6.45
							20	9.52	4.57
							21	15.48	9.06
							22	7.41	3.98
		CAP/REAT				19.5			
11	CR	BARRA11	1.0591	-13.52	.0	-23.1			
							9	.00	23.05
		REAT.GER.=	23.1	[LIMITES:MAX=	24. MIN=	-6.]			
12	CG	BARRA12	1.0151	-14.49	11.2	7.5			
							4	-42.03	6.77
							13	.00	-21.96
							14	7.50	1.87
							15	16.90	4.51
							16	6.42	1.31
13	CR	BARRA13	1.0453	-14.49	.0	-22.6			
							12	.00	22.62
		REAT.GER.=	22.6	[LIMITES:MAX=	24. MIN=	-6.]			
14	CG	BARRA14	1.0014	-15.44	6.2	1.6			
							12	-7.43	-1.72
							15	1.23	.12

15	CG	BARRA15	.9984	-15.56	8.2	2.5			
							12	-16.71	-4.12
							14	-1.23	-1.12
							18	5.54	.78
							23	4.19	.97
16	CG	BARRA16	1.0066	-15.13	3.5	1.8			
							12	-6.38	-1.23
							17	2.88	-1.57
17	CG	BARRA17	1.0053	-15.47	9.0	5.8			
							10	-6.13	-6.39
							16	-2.87	.59
18	CG	BARRA18	.9908	-16.22	3.2	.9			
							15	-5.51	-1.71
							19	2.31	-1.19
19	CG	BARRA19	.9896	-16.40	9.5	3.4			
							18	-2.31	.20
							20	-7.19	-3.60
20	CG	BARRA20	.9946	-16.19	2.2	.7			
							10	-9.42	-4.34
							19	7.22	3.64
21	CG	BARRA21	1.0007	-15.77	17.5	11.2			
							10	-15.37	-8.82
							22	-2.13	-2.38
22	CG	BARRA22	1.0015	-15.76	.0	.0			
							10	-7.36	-3.88
							21	2.13	2.38
							24	5.23	1.50
23	CG	BARRA23	.9923	-16.00	3.2	1.6			
							15	-4.17	-1.93
							24	.97	-1.67
24	CG	BARRA24	.9928	-16.20	8.7	6.7			
							22	-5.20	-1.45
							23	-.97	.68
							25	-2.53	-1.69
		CAP/REAT				4.2			
25	CG	BARRA25	1.0033	-15.91	.0	.0			
							24	2.55	1.72
							26	3.55	2.37
							27	-6.10	-4.09
26	CG	BARRA26	.9853	-16.34	3.5	2.3			
							25	-3.50	-2.30
27	CG	BARRA27	1.0185	-15.44	.0	.0			
							25	6.16	4.20
							28	-19.44	-7.54
							29	6.19	1.67
							30	7.09	1.67
28	CG	BARRA28	.9984	-10.86	.0	.0			
							6	-19.68	-5.61
							8	.24	-3.78
							27	19.44	9.39
29	CG	BARRA29	.9985	-16.68	2.4	.9			
							27	-6.10	-1.51
							30	3.70	.61

```

30 CG BARRA30 .9870 -17.58 10.6 1.9
                                         27 -6.93 -1.36
                                         29 -3.67 -.54
-----

```

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP ATUAL	MINIMO	MAXIMO
6	9	1.030	.900	1.100
6	10	.955	.900	1.100
4	12	1.001	.900	1.100
28	27	.947	.900	1.100

PERDAS=17.279 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .9996

2) Estudos com Restrição na Transmissão

2.a) Restrição entre duas Barras de Geração

2.a.1) $F_{\max 1-2} = 180,0 \text{ MW}$

```

*****
* 2al.out *
*****

```

```

NUMERO DE BARRA-CARGA= 24
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 28
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 116
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

```

SISTEMA COM: 30-BARRAS 41-LINHAS 4-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 20 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS			
BARRA	TP	NOME	TENSÃO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	BARRA1	1.0901	.00	-252.1	-57.3	2	171.50	26.89
							3	80.58	30.41
2	GE	BARRA2	1.0483	-4.69	-26.3	-25.3	1	-167.01	-15.22
							4	46.32	18.17
							5	83.87	9.83
							6	63.10	12.50
3	CG	BARRA3	1.0106	-7.04	2.4	1.2	1	-77.73	-20.99
							4	75.33	19.79

4	CG	BARRA4	.9935	-8.51	7.0	61.0	2	-45.01	-16.12
							3	-74.54	-17.95
							6	70.68	-23.92
							12	41.87	2.91
		CAP/REAT				5.9			
5	CR	BARRA5	1.0016	-13.52	94.2	-16.3	2	-80.80	.88
							7	-13.40	15.38
		REAT.GER.=	35.3	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	-40.]			
6	CG	BARRA6	.9955	-10.37	.0	.0	2	-60.90	-7.77
							4	-70.01	25.81
							7	36.77	-4.70
							8	29.90	-7.53
							9	28.87	-15.68
							10	15.58	4.67
							28	19.79	5.19
7	CG	BARRA7	.9896	-12.19	22.8	10.9	5	13.60	-15.89
							6	-36.40	4.99
8	CR	BARRA8	.9950	-11.15	30.0	-9.6	6	-29.79	7.49
							28	-.21	2.09
		REAT.GER.=	39.6	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	-10.]			
9	CG	BARRA9	1.0156	-13.73	.0	.0	6	-28.87	17.94
							10	28.87	3.29
							11	.00	-21.23
10	CG	BARRA10	1.0125	-15.50	5.8	2.0	6	-15.58	-3.19
							9	-28.87	-2.39
							17	6.23	6.07
							20	9.55	4.34
							21	15.46	8.82
							22	7.40	3.82
		CAP/REAT				19.5			
11	CR	BARRA11	1.0591	-13.73	.0	-22.1	9	.00	22.14
		REAT.GER.=	22.1	[LIMITES:MAX=	24. MIN=	-6.]			
12	CG	BARRA12	1.0165	-14.76	11.2	7.5	4	-41.87	1.66
							13	.00	-17.55
							14	7.50	1.94
							15	16.84	4.76
							16	6.33	1.69
13	CR	BARRA13	1.0407	-14.76	.0	-18.0	12	.00	17.97
		REAT.GER.=	18.0	[LIMITES:MAX=	24. MIN=	-6.]			
14	CG	BARRA14	1.0027	-15.70	6.2	1.6	12	-7.43	-1.79
							15	1.23	.19
15	CG	BARRA15	.9996	-15.82	8.2	2.5	12	-16.65	-4.38
							14	-1.22	-.19
							18	5.51	1.00

							23	4.16	1.06
16	CG	BARRA16	1.0074 -15.37	3.5	1.8		12	-6.30	-1.61
							17	2.80	-.19
17	CG	BARRA17	1.0055 -15.69	9.0	5.8		10	-6.21	-6.01
							16	-2.79	.21
18	CG	BARRA18	.9916 -16.45	3.2	.9		15	-5.48	-.94
							19	2.28	.04
19	CG	BARRA19	.9901 -16.62	9.5	3.4		18	-2.27	-.03
							20	-7.23	-3.37
20	CG	BARRA20	.9949 -16.41	2.2	.7		10	-9.45	-4.12
							19	7.25	3.42
21	CG	BARRA21	1.0007 -15.98	17.5	11.2		10	-15.36	-8.59
							22	-2.14	-2.61
22	CG	BARRA22	1.0016 -15.97	.0	.0		10	-7.35	-3.72
							21	2.14	2.61
							24	5.21	1.11
23	CG	BARRA23	.9933 -16.24	3.2	1.6		15	-4.14	-1.02
							24	.94	-.58
24	CG	BARRA24	.9936 -16.43	8.7	6.7		22	-5.18	-1.06
							23	-.94	.58
							25	-2.59	-1.97
		CAP/REAT			4.2				
25	CG	BARRA25	1.0051 -16.16	.0	.0		24	2.61	2.01
							26	3.55	2.37
							27	-6.15	-4.38
26	CG	BARRA26	.9872 -16.59	3.5	2.3		25	-3.50	-2.30
27	CG	BARRA27	1.0209 -15.71	.0	.0		25	6.21	4.49
							28	-19.50	-7.83
							29	6.19	1.67
							30	7.09	1.66
28	CG	BARRA28	.9889 -11.01	.0	.0		6	-19.72	-5.58
							8	.22	-4.17
							27	19.50	9.75
29	CG	BARRA29	1.0010 -16.94	2.4	.9		27	-6.10	-1.51
							30	3.70	.61
30	CG	BARRA30	.9895 -17.83	10.6	1.9		27	-6.93	-1.36
							29	-3.67	-.54

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP ATUAL	DO MINIMO	TRANSFORMADOR MAXIMO
6	9	1.014	.900	1.100
6	10	.961	.900	1.100
4	12	.976	.900	1.100
28	27	.934	.900	1.100

PERDAS=17.672 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .0703

2.a.2) $F_{\max 1-2} = 176,0 \text{ MW}$

* 2a2.out *

NUMERO DE BARRA-CARGA= 24
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 28
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 116
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

SISTEMA COM: 30-BARRAS 41-LINHAS 4-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 20 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS			
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	BARRA1	1.0916	.00	-252.4	-55.9	2	171.51	25.96
							3	80.90	29.93
2	GE	BARRA2	1.0503	-4.68	-26.3	-24.1	1	-166.97	-14.37
							4	46.26	17.91
							5	83.96	8.39
							6	63.03	12.17
3	CG	BARRA3	1.0130	-7.02	2.4	1.2	1	-77.72	-20.60
							4	75.32	19.40
4	CG	BARRA4	.9961	-8.49	7.0	61.0	2	-44.97	-15.90
							3	-74.54	-17.59
							6	70.63	-24.19
							12	41.88	2.63
		CAP/REAT				6.0			
5	CR	BARRA5	1.0065	-13.49	94.2	-18.7	2	-80.91	2.23
							7	-13.29	16.46
		REAT.GER.=	37.7	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	-40.]			
6	CG	BARRA6	.9982	-10.34	.0	.0	2	-60.84	-7.51

						4	-69.97	26.06
						7	36.67	-5.76
						8	29.90	-7.12
						9	28.86	-15.87
						10	15.57	4.94
						28	19.80	5.25
7	CG	BARRA7	.9933 -12.16	22.8	10.9			
						5	13.51	-16.94
						6	-36.31	6.04
8	CR	BARRA8	.9976 -11.11	30.0	-9.1			
						6	-29.79	7.07
						28	-.21	2.02
		REAT.GER.=	39.1 [LIMITES:MAX=	40. MIN=	-10.]			
9	CG	BARRA9	1.0157 -13.68	.0	.0			
						6	-28.86	18.13
						10	28.86	3.09
						11	.00	-21.22
10	CG	BARRA10	1.0129 -15.45	5.8	2.0			
						6	-15.57	-3.45
						9	-28.86	-2.19
						17	6.23	6.11
						20	9.55	4.36
						21	15.46	8.83
						22	7.40	3.83
		CAP/REAT			19.5			
11	CR	BARRA11	1.0592 -13.68	.0	-22.1			
						9	.00	22.13
		REAT.GER.=	22.1 [LIMITES:MAX=	24. MIN=	-6.]			
12	CG	BARRA12	1.0167 -14.70	11.2	7.5			
						4	-41.88	1.91
						13	.00	-17.71
						14	7.50	1.93
						15	16.84	4.73
						16	6.34	1.65
13	CR	BARRA13	1.0410 -14.70	.0	-18.1			
						12	.00	18.14
		REAT.GER.=	18.1 [LIMITES:MAX=	24. MIN=	-6.]			
14	CG	BARRA14	1.0029 -15.64	6.2	1.6			
						12	-7.43	-1.78
						15	1.23	.18
15	CG	BARRA15	.9998 -15.76	8.2	2.5			
						12	-16.64	-4.34
						14	-1.22	-.18
						18	5.51	.98
						23	4.15	1.04
16	CG	BARRA16	1.0076 -15.32	3.5	1.8			
						12	-6.30	-1.57
						17	2.80	-.23
17	CG	BARRA17	1.0058 -15.63	9.0	5.8			
						10	-6.21	-6.05
						16	-2.79	.25
18	CG	BARRA18	.9918 -16.40	3.2	.9			
						15	-5.48	-.91
						19	2.28	.01
19	CG	BARRA19	.9903 -16.57	9.5	3.4			

						18	-2.28	-.01
						20	-7.22	-3.39
20	CG	BARRA20	.9952	-16.35	2.2	.7		
						10	-9.45	-4.14
						19	7.25	3.44
21	CG	BARRA21	1.0010	-15.93	17.5	11.2		
						10	-15.35	-8.60
						22	-2.15	-2.60
22	CG	BARRA22	1.0019	-15.92	.0	.0		
						10	-7.35	-3.73
						21	2.15	2.60
						24	5.20	1.12
23	CG	BARRA23	.9936	-16.19	3.2	1.6		
						15	-4.13	-1.00
						24	.93	-.60
24	CG	BARRA24	.9940	-16.38	8.7	6.7		
						22	-5.17	-1.07
						23	-.93	.60
						25	-2.60	-1.98
		CAP/REAT				4.2		
25	CG	BARRA25	1.0055	-16.10	.0	.0		
						24	2.62	2.02
						26	3.55	2.37
						27	-6.17	-4.39
26	CG	BARRA26	.9876	-16.53	3.5	2.3		
						25	-3.50	-2.30
27	CG	BARRA27	1.0213	-15.65	.0	.0		
						25	6.23	4.50
						28	-19.51	-7.84
						29	6.19	1.67
						30	7.09	1.66
28	CG	BARRA28	.9916	-10.97	.0	.0		
						6	-19.73	-5.64
						8	.22	-4.11
						27	19.51	9.75
29	CG	BARRA29	1.0014	-16.88	2.4	.9		
						27	-6.10	-1.51
						30	3.70	.61
30	CG	BARRA30	.9899	-17.77	10.6	1.9		
						27	-6.93	-1.36
						29	-3.67	-.54

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP ATUAL	DO TRANSFORMADOR MINIMO	MAXIMO
6	9	1.017	.900	1.100
6	10	.962	.900	1.100
4	12	.979	.900	1.100
28	27	.936	.900	1.100

PERDAS=17.578 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .0283

2.a.3) $F_{\max 1-2} = 170,0 \text{ MW}$

```

*****
*      2a3.out      *
*****

```

```

NUMERO DE BARRA-CARGA= 24
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 28
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 116
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

```

SISTEMA COM: 30-BARRAS 41-LINHAS 4-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 20 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS			
BARRA	TP	NOME	TENSÃO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	BARRA1	1.0870	.00	-252.5	-45.5	2	171.49	17.07
							3	81.03	28.40
2	GE	BARRA2	1.0506	-4.76	-26.3	-34.2	1	-167.27	-5.67
							4	46.35	18.94
							5	84.10	8.10
							6	63.12	12.82
3	CG	BARRA3	1.0109	-7.07	2.4	1.2	1	-77.46	-19.17
							4	75.06	17.97
4	CG	BARRA4	.9946	-8.55	7.0	61.0	2	-45.03	-16.86
							3	-74.29	-16.18
							6	70.51	-25.59
							12	41.81	3.57
		CAP/REAT				5.9			
5	CR	BARRA5	1.0073	-13.59	94.2	-19.8	2	-81.04	2.55
							7	-13.16	17.29
		REAT.GER.=	38.8	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	-40.]			
6	CG	BARRA6	.9973	-10.42	.0	.0	2	-60.92	-8.12
							4	-69.84	27.50
							7	36.55	-6.56
							8	29.91	-7.73
							9	28.89	-15.11
							10	15.60	4.84
							28	19.81	5.18
7	CG	BARRA7	.9931	-12.25	22.8	10.9	5	13.39	-17.75
							6	-36.19	6.85
8	CR	BARRA8	.9969	-11.19	30.0	-9.8	6	-29.79	7.68
							28	-.21	2.12
		REAT.GER.=	39.8	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	-10.]			

9	CG	BARRA9	1.0160	-13.77	.0	.0			
							6	-28.89	17.33
							10	28.89	3.33
							11	.00	-20.67
10	CG	BARRA10	1.0129	-15.54	5.8	2.0			
							6	-15.60	-3.34
							9	-28.89	-2.43
							17	6.26	6.19
							20	9.56	4.41
							21	15.46	8.84
							22	7.40	3.84
		CAP/REAT				19.5			
11	CR	BARRA11	1.0583	-13.77	.0	-21.5			
							9	.00	21.53
		REAT.GER.=	21.5	[LIMITES:MAX=	24.	MIN=	-6.]		
12	CG	BARRA12	1.0163	-14.79	11.2	7.5			
							4	-41.81	.99
							13	.00	-16.63
							14	7.49	1.91
							15	16.81	4.65
							16	6.31	1.57
13	CR	BARRA13	1.0392	-14.79	.0	-17.0			
							12	.00	17.00
		REAT.GER.=	17.0	[LIMITES:MAX=	24.	MIN=	-6.]		
14	CG	BARRA14	1.0025	-15.73	6.2	1.6			
							12	-7.41	-1.76
							15	1.21	.16
15	CG	BARRA15	.9995	-15.85	8.2	2.5			
							12	-16.62	-4.27
							14	-1.21	-.16
							18	5.50	.94
							23	4.13	.99
16	CG	BARRA16	1.0074	-15.41	3.5	1.8			
							12	-6.27	-1.49
							17	2.77	-.31
17	CG	BARRA17	1.0057	-15.72	9.0	5.8			
							10	-6.23	-6.13
							16	-2.77	.33
18	CG	BARRA18	.9917	-16.49	3.2	.9			
							15	-5.46	-.87
							19	2.26	-.03
19	CG	BARRA19	.9902	-16.66	9.5	3.4			
							18	-2.26	.04
							20	-7.24	-3.44
20	CG	BARRA20	.9951	-16.44	2.2	.7			
							10	-9.46	-4.18
							19	7.26	3.48
21	CG	BARRA21	1.0011	-16.02	17.5	11.2			
							10	-15.36	-8.61
							22	-2.14	-2.59
22	CG	BARRA22	1.0019	-16.01	.0	.0			
							10	-7.35	-3.74
							21	2.15	2.59
							24	5.21	1.14

23	CG	BARRA23	.9934	-16.27	3.2	1.6	15	-4.11	-1.96
							24	.91	-1.64
24	CG	BARRA24	.9940	-16.47	8.7	6.7	22	-5.17	-1.09
							23	-.91	.65
		CAP/REAT				4.2	25	-2.61	-2.00
25	CG	BARRA25	1.0056	-16.19	.0	.0	24	2.63	2.04
							26	3.55	2.37
							27	-6.18	-4.41
26	CG	BARRA26	.9877	-16.62	3.5	2.3	25	-3.50	-2.30
27	CG	BARRA27	1.0215	-15.74	.0	.0	25	6.24	4.53
							28	-19.53	-7.86
							29	6.19	1.67
							30	7.09	1.66
28	CG	BARRA28	.9907	-11.05	.0	.0	6	-19.74	-5.57
							8	.21	-4.22
							27	19.53	9.79
29	CG	BARRA29	1.0016	-16.97	2.4	.9	27	-6.10	-1.51
							30	3.70	.61
30	CG	BARRA30	.9901	-17.86	10.6	1.9	27	-6.93	-1.36
							29	-3.67	-.54

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA	BARRA	TAP DO TRANSFORMADOR		
INICIAL	FINAL	ATUAL	MINIMO	MAXIMO
6	9	1.014	.900	1.100
6	10	.962	.900	1.100
4	12	.975	.900	1.100
28	27	.935	.900	1.100

PERDAS=17.538 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .0000

2.b) Restrição entre uma Barra de Geração e uma Barra de Carga

2.b.1) $F_{\max 2-6} = 70,0$ MW

```

*****
* 2b1.out *
*****

```

```

NUMERO DE BARRA-CARGA= 24
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 28
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2

```

NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 116
 TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
 TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
 LIMITES DE TENSAO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

SISTEMA COM: 30-BARRAS 41-LINHAS 4-TRAFO COM TAP VARIAVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 20 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA							FLUXOS NAS LINHAS		
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	BARRA1	1.0945	.00	-255.5	-71.3	2	174.30	38.99
							3	81.20	32.27
2	GE	BARRA2	1.0460	-4.63	-23.5	-8.6	1	-169.17	-26.64
							4	46.02	16.46
							5	83.83	7.91
							6	62.83	10.90
3	CG	BARRA3	1.0119	-7.01	2.4	1.2	1	-78.29	-22.61
							4	75.89	21.41
4	CG	BARRA4	.9942	-8.49	7.0	61.0	2	-44.76	-14.53
							3	-75.08	-19.53
							6	70.94	-23.65
							12	41.90	2.64
		CAP/REAT				5.9			
5	CR	BARRA5	1.0030	-13.51	94.2	-18.6	2	-80.77	2.78
							7	-13.43	15.87
		REAT.GER.=	37.6	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	-40.]			
6	CG	BARRA6	.9960	-10.35	.0	.0	2	-60.65	-6.26
							4	-70.27	25.55
							7	36.81	-5.17
							8	29.90	-7.92
							9	28.86	-15.97
							10	15.57	4.65
							28	19.78	5.13
7	CG	BARRA7	.9905	-12.18	22.8	10.9	5	13.64	-16.37
							6	-36.44	5.47
8	CR	BARRA8	.9957	-11.13	30.0	-10.0	6	-29.79	7.88
							28	-.21	2.15
		REAT.GER.=	40.0	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	-10.]			
9	CG	BARRA9	1.0157	-13.70	.0	.0	6	-28.86	18.25
							10	28.86	3.28
							11	.00	-21.53
10	CG	BARRA10	1.0126	-15.47	5.8	2.0	6	-15.57	-3.17
							9	-28.86	-2.38
							17	6.22	6.06
							20	9.54	4.33
							21	15.46	8.82

CAP/REAT						22	7.40	3.82
						19.5		
11	CR	BARRA11	1.0598	-13.70	.0	-22.5		
REAT.GER.= 22.5 [LIMITES:MAX= 24. MIN= -6.]						9	.00	22.46
12	CG	BARRA12	1.0167	-14.73	11.2	7.5		
						4	-41.90	1.93
						13	.00	-17.85
						14	7.50	1.94
						15	16.85	4.78
						16	6.35	1.70
13	CR	BARRA13	1.0413	-14.73	.0	-18.3		
REAT.GER.= 18.3 [LIMITES:MAX= 24. MIN= -6.]						12	.00	18.28
14	CG	BARRA14	1.0029	-15.67	6.2	1.6		
						12	-7.43	-1.79
						15	1.23	.19
15	CG	BARRA15	.9998	-15.79	8.2	2.5		
						12	-16.66	-4.39
						14	-1.23	-1.19
						18	5.52	1.01
						23	4.17	1.07
16	CG	BARRA16	1.0075	-15.34	3.5	1.8		
						12	-6.31	-1.62
						17	2.81	-1.18
17	CG	BARRA17	1.0056	-15.66	9.0	5.8		
						10	-6.20	-5.99
						16	-2.80	.19
18	CG	BARRA18	.9917	-16.42	3.2	.9		
						15	-5.49	-.94
						19	2.29	.04
19	CG	BARRA19	.9902	-16.59	9.5	3.4		
						18	-2.28	-.04
						20	-7.22	-3.36
20	CG	BARRA20	.9950	-16.37	2.2	.7		
						10	-9.44	-4.11
						19	7.24	3.41
21	CG	BARRA21	1.0008	-15.95	17.5	11.2		
						10	-15.36	-8.59
						22	-2.14	-2.61
22	CG	BARRA22	1.0017	-15.94	.0	.0		
						10	-7.35	-3.72
						21	2.15	2.62
						24	5.20	1.10
23	CG	BARRA23	.9935	-16.21	3.2	1.6		
						15	-4.15	-1.03
						24	.95	-.57
24	CG	BARRA24	.9938	-16.40	8.7	6.7		
						22	-5.17	-1.05
						23	-.95	.57
						25	-2.58	-1.97
CAP/REAT						4.2		
25	CG	BARRA25	1.0052	-16.13	.0	.0		

						24	2.60	2.01
						26	3.55	2.37
						27	-6.15	-4.38
26	CG	BARRA26	.9873	-16.56	3.5	2.3		
						25	-3.50	-2.30
27	CG	BARRA27	1.0210	-15.68	.0	.0		
						25	6.21	4.49
						28	-19.49	-7.83
						29	6.19	1.67
						30	7.09	1.66
28	CG	BARRA28	.9894	-10.99	.0	.0		
						6	-19.71	-5.51
						8	.22	-4.24
						27	19.49	9.75
29	CG	BARRA29	1.0011	-16.91	2.4	.9		
						27	-6.10	-1.51
						30	3.70	.61
30	CG	BARRA30	.9896	-17.80	10.6	1.9		
						27	-6.93	-1.36
						29	-3.67	-.54

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP DO TRANSFORMADOR ATUAL	MINIMO	MAXIMO
6	9	1.015	.900	1.100
6	10	.962	.900	1.100
4	12	.977	.900	1.100
28	27	.934	.900	1.100

PERDAS=17.912 (MW)

MARGEM DE SEGURANÇA= .1477

$$2.b.2) F_{\max 2-6} = 66,0 \text{ MW}$$

```

*****
* 2b2.out *
*****

```

```

NUMERO DE BARRA-CARGA= 24
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 28
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 116
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

```

SISTEMA COM: 30-BARRAS 41-LINHAS 4-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 14 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS		
BARRA TP	NOME	TENSÃO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1 SL	BARRA1	1.0912	.00	-256.1	-62.6			

						2	174.79	32.28
						3	81.29	30.30
2	GE	BARRA2	1.0462	-4.72	-22.8	-14.6		
						1	-169.68	-19.99
						4	45.98	16.20
						5	83.79	7.77
						6	62.76	10.64
3	CG	BARRA3	1.0118	-7.09	2.4	1.2		
						1	-78.40	-20.74
						4	76.00	19.54
4	CG	BARRA4	.9949	-8.58	7.0	61.0		
						2	-44.72	-14.29
						3	-75.21	-17.68
						6	70.90	-23.68
						12	42.03	.61
		CAP/REAT				5.9		
5	CR	BARRA5	1.0035	-13.60	94.2	-18.7		
						2	-80.73	2.90
						7	-13.47	15.78
		REAT.GER.=	37.7	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	-40.]		
6	CG	BARRA6	.9967	-10.44	.0	.0		
						2	-60.60	-6.03
						4	-70.23	25.57
						7	36.84	-5.08
						8	29.89	-7.69
						9	28.81	-16.78
						10	15.52	4.89
						28	19.76	5.12
7	CG	BARRA7	.9911	-12.26	22.8	10.9		
						5	13.67	-16.28
						6	-36.47	5.38
8	CR	BARRA8	.9963	-11.22	30.0	-9.7		
						6	-29.78	7.64
						28	-.22	2.10
		REAT.GER.=	39.7	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	-10.]		
9	CG	BARRA9	1.0151	-13.78	.0	.0		
						6	-28.81	19.11
						10	28.81	2.86
						11	.00	-21.97
10	CG	BARRA10	1.0125	-15.54	5.8	2.0		
						6	-15.52	-3.41
						9	-28.81	-1.96
						17	6.17	5.96
						20	9.51	4.28
						21	15.46	8.81
						22	7.40	3.82
		CAP/REAT				19.5		
11	CR	BARRA11	1.0601	-13.78	.0	-22.9		
						9	.00	22.94
		REAT.GER.=	22.9	[LIMITES:MAX=	24. MIN=	-6.]		
12	CG	BARRA12	1.0171	-14.80	11.2	7.5		
						4	-42.03	3.96
						13	.00	-20.10
						14	7.52	1.96
						15	16.91	4.87
						16	6.40	1.80

13	CR	BARRA13	1.0448	-14.80	.0	-20.6	12	.00	20.64
REAT.GER.= 20.6 [LIMITES:MAX= 24. MIN= -6.]									
14	CG	BARRA14	1.0032	-15.74	6.2	1.6	12	-7.45	-1.81
							15	1.25	.21
15	CG	BARRA15	1.0000	-15.86	8.2	2.5	12	-16.71	-4.48
							14	-1.25	-.21
							18	5.55	1.06
							23	4.20	1.13
16	CG	BARRA16	1.0077	-15.41	3.5	1.8	12	-6.36	-1.72
							17	2.86	-.08
17	CG	BARRA17	1.0055	-15.73	9.0	5.8	10	-6.15	-5.90
							16	-2.85	.10
18	CG	BARRA18	.9918	-16.49	3.2	.9	15	-5.52	-.99
							19	2.32	.09
19	CG	BARRA19	.9902	-16.66	9.5	3.4	18	-2.31	-.09
							20	-7.19	-3.31
20	CG	BARRA20	.9950	-16.45	2.2	.7	10	-9.41	-4.06
							19	7.21	3.36
21	CG	BARRA21	1.0007	-16.02	17.5	11.2	10	-15.35	-8.58
							22	-2.15	-2.62
22	CG	BARRA22	1.0015	-16.01	.0	.0	10	-7.35	-3.71
							21	2.15	2.62
							24	5.19	1.09
23	CG	BARRA23	.9936	-16.28	3.2	1.6	15	-4.19	-1.09
							24	.99	-.51
24	CG	BARRA24	.9936	-16.48	8.7	6.7	22	-5.16	-1.04
							23	-.98	.52
							25	-2.56	-1.93
CAP/REAT						4.2			
25	CG	BARRA25	1.0049	-16.20	.0	.0	24	2.57	1.96
							26	3.55	2.37
							27	-6.12	-4.33
26	CG	BARRA26	.9870	-16.63	3.5	2.3	25	-3.50	-2.30
27	CG	BARRA27	1.0206	-15.75	.0	.0	25	6.18	4.45
							28	-19.47	-7.78
							29	6.19	1.67
							30	7.09	1.66
28	CG	BARRA28	.9901	-11.07	.0	.0			

							6	-19.69	-5.51
							8	.23	-4.19
							27	19.47	9.69
29	CG	BARRA29	1.0007	-16.99	2.4	.9			
							27	-6.10	-1.51
							30	3.70	.61
30	CG	BARRA30	.9892	-17.88	10.6	1.9			
							27	-6.93	-1.36
							29	-3.67	-.54

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP ATUAL	DO TRANSFORMADOR MINIMO	MAXIMO
6	9	1.018	.900	1.100
6	10	.961	.900	1.100
4	12	.982	.900	1.100
28	27	.935	.900	1.100

PERDAS=17.833 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .0432

$$2.b.3) F_{\max 2-6} = 62,0 \text{ MW}$$

```

*****
* 2b3.out *
*****

```

```

NUMERO DE BARRA-CARGA= 24
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 28
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 116
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSAO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

```

SISTEMA COM: 30-BARRAS 41-LINHAS 4-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 13 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA							FLUXOS NAS LINHAS		
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	BARRA1	1.0883	.00	-256.7	-56.1	2	175.35	27.20
							3	81.40	28.93
2	GE	BARRA2	1.0458	-4.80	-22.2	-20.2	1	-170.23	-14.87
							4	45.95	16.13
							5	83.75	8.12
							6	62.71	10.80
3	CG	BARRA3	1.0111	-7.16	2.4	1.2	1	-78.52	-19.40
							4	76.12	18.20
4	CG	BARRA4	.9946	-8.66	7.0	61.0	2	-44.69	-14.23
							3	-75.33	-16.35

						6	70.84	-22.75
						12	42.18	-1.73
		CAP/REAT			5.9			
5	CR	BARRA5	1.0024	-13.68	94.2	-18.2		
						2	-80.68	2.56
						7	-13.52	15.60
		REAT.GER.=	37.2	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	-40.]		
6	CG	BARRA6	.9960	-10.52	.0	.0		
						2	-60.55	-6.19
						4	-70.18	24.62
						7	36.89	-4.90
						8	29.88	-6.16
						9	28.77	-17.76
						10	15.45	5.08
						28	19.74	5.30
7	CG	BARRA7	.9903	-12.34	22.8	10.9		
						5	13.72	-16.10
						6	-36.52	5.20
8	CR	BARRA8	.9950	-11.28	30.0	-7.9		
						6	-29.76	6.11
						28	-.24	1.83
		REAT.GER.=	37.9	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	-10.]		
9	CG	BARRA9	1.0141	-13.84	.0	.0		
						6	-28.77	20.15
						10	28.77	2.41
						11	.00	-22.56
10	CG	BARRA10	1.0120	-15.61	5.8	2.0		
						6	-15.45	-3.60
						9	-28.77	-1.52
						17	6.11	5.80
						20	9.47	4.20
						21	15.45	8.80
						22	7.39	3.81
		CAP/REAT			19.5			
11	CR	BARRA11	1.0604	-13.84	.0	-23.6		
						9	.00	23.59
		REAT.GER.=	23.6	[LIMITES:MAX=	24. MIN=	-6.]		
12	CG	BARRA12	1.0174	-14.87	11.2	7.5		
						4	-42.18	6.35
						13	.00	-22.82
						14	7.54	2.00
						15	16.98	5.02
						16	6.46	1.96
13	CR	BARRA13	1.0488	-14.87	.0	-23.5		
						12	.00	23.52
		REAT.GER.=	23.5	[LIMITES:MAX=	24. MIN=	-6.]		
14	CG	BARRA14	1.0034	-15.81	6.2	1.6		
						12	-7.47	-1.85
						15	1.27	.25
15	CG	BARRA15	1.0001	-15.93	8.2	2.5		
						12	-16.78	-4.62
						14	-1.27	-.24
						18	5.59	1.14
						23	4.25	1.22
16	CG	BARRA16	1.0077	-15.48	3.5	1.8		
						12	-6.42	-1.87

						17	2.92	.07
17	CG	BARRA17	1.0052 -15.80	9.0	5.8	10	-6.09	-5.75
						16	-2.91	-.05
18	CG	BARRA18	.9917 -16.56	3.2	.9	15	-5.56	-1.07
						19	2.36	.17
19	CG	BARRA19	.9900 -16.73	9.5	3.4	18	-2.35	-.17
						20	-7.15	-3.23
20	CG	BARRA20	.9947 -16.51	2.2	.7	10	-9.37	-3.98
						19	7.17	3.28
21	CG	BARRA21	1.0002 -16.09	17.5	11.2	10	-15.34	-8.56
						22	-2.16	-2.64
22	CG	BARRA22	1.0011 -16.08	.0	.0	10	-7.34	-3.71
						21	2.16	2.64
						24	5.19	1.07
23	CG	BARRA23	.9935 -16.35	3.2	1.6	15	-4.23	-1.18
						24	1.03	-.42
24	CG	BARRA24	.9932 -16.55	8.7	6.7	22	-5.15	-1.02
						23	-1.03	.42
						25	-2.51	-1.86
		CAP/REAT			4.2			
25	CG	BARRA25	1.0042 -16.27	.0	.0	24	2.53	1.89
						26	3.55	2.37
						27	-6.08	-4.26
26	CG	BARRA26	.9863 -16.70	3.5	2.3	25	-3.50	-2.30
27	CG	BARRA27	1.0197 -15.82	.0	.0	25	6.14	4.38
						28	-19.42	-7.71
						29	6.19	1.67
						30	7.09	1.67
28	CG	BARRA28	.9893 -11.15	.0	.0	6	-19.66	-5.69
						8	.24	-3.92
						27	19.42	9.61
29	CG	BARRA29	.9998 -17.06	2.4	.9	27	-6.10	-1.51
						30	3.70	.61
30	CG	BARRA30	.9882 -17.95	10.6	1.9	27	-6.93	-1.36
						29	-3.67	-.54

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP DO TRANSFORMADOR		
		ATUAL	MINIMO	MAXIMO
6	9	1.020	.900	1.100
6	10	.960	.900	1.100
4	12	.988	.900	1.100
28	27	.936	.900	1.100

PERDAS=17,820 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .0000

2.c) Restrição entre duas Barras de Carga

2.c.1) $F_{\max 12-15} = 19,0$ MW

```
*****
* 2c1.out *
*****
```

NUMERO DE BARRA-CARGA= 24
 NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 28
 NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
 NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 116
 TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
 TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
 LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

SISTEMA COM: 30-BARRAS 41-LINHAS 4-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 16 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS			
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	BARRA1	1.0909	.00	-253.8	-60.4	2	172.91	30.42
							3	80.91	29.95
2	GE	BARRA2	1.0471	-4.68	-25.0	-16.6	1	-167.92	-18.50
							4	46.14	16.43
							5	83.86	7.84
							6	62.89	10.87
3	CG	BARRA3	1.0121	-7.06	2.4	1.2	1	-78.05	-20.51
							4	75.65	19.31
4	CG	BARRA4	.9953	-8.55	7.0	61.0	2	-44.88	-14.50
							3	-74.86	-17.47
							6	70.72	-23.69
							12	42.02	.60
		CAP/REAT				5.9			
5	CR	BARRA5	1.0042	-13.55	94.2	-18.7	2	-80.80	2.82
							7	-13.40	15.90
		REAT.GER.=	37.7	[LIMITES:MAX=	40.	MIN=	-40.]		

6	CG	BARRA6	.9971	-10.40	.0	.0	2	-60.72	-6.24
							4	-70.06	25.56
							7	36.78	-5.20
							8	29.89	-7.37
							9	28.82	-16.88
							10	15.52	4.97
							28	19.77	5.17
7	CG	BARRA7	.9917	-12.22	22.8	10.9	5	13.61	-16.40
							6	-36.41	5.50
8	CR	BARRA8	.9966	-11.17	30.0	-9.4	6	-29.78	7.33
							28	-.22	2.05
		REAT.GER.=	39.4	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	-10.]			
9	CG	BARRA9	1.0150	-13.73	.0	.0	6	-28.82	19.21
							10	28.82	2.82
							11	.00	-22.03
10	CG	BARRA10	1.0125	-15.50	5.8	2.0	6	-15.52	-3.48
							9	-28.82	-1.92
							17	6.17	5.97
							20	9.51	4.28
							21	15.46	8.81
							22	7.40	3.82
		CAP/REAT				19.5			
11	CR	BARRA11	1.0602	-13.73	.0	-23.0	9	.00	23.01
		REAT.GER.=	23.0	[LIMITES:MAX=	24. MIN=	-6.]			
12	CG	BARRA12	1.0170	-14.75	11.2	7.5	4	-42.02	3.96
							13	.00	-20.08
							14	7.52	1.96
							15	16.90	4.86
							16	6.40	1.79
13	CR	BARRA13	1.0447	-14.75	.0	-20.6	12	.00	20.62
		REAT.GER.=	20.6	[LIMITES:MAX=	24. MIN=	-6.]			
14	CG	BARRA14	1.0031	-15.70	6.2	1.6	12	-7.45	-1.81
							15	1.25	.21
15	CG	BARRA15	1.0000	-15.81	8.2	2.5	12	-16.70	-4.47
							14	-1.24	-.21
							18	5.55	1.06
							23	4.20	1.12
16	CG	BARRA16	1.0076	-15.37	3.5	1.8	12	-6.36	-1.71
							17	2.86	-.09
17	CG	BARRA17	1.0055	-15.68	9.0	5.8	10	-6.15	-5.91
							16	-2.85	.11
18	CG	BARRA18	.9918	-16.45	3.2	.9	15	-5.51	-.99

						19	2.31	.09
19	CG	BARRA19	.9902 -16.62	9.5	3.4	18	-2.31	-1.08
						20	-7.19	-3.32
20	CG	BARRA20	.9949 -16.40	2.2	.7	10	-9.41	-4.06
						19	7.21	3.36
21	CG	BARRA21	1.0007 -15.98	17.5	11.2	10	-15.35	-8.58
						22	-2.15	-2.62
22	CG	BARRA22	1.0015 -15.97	.0	.0	10	-7.35	-3.72
						21	2.15	2.62
						24	5.19	1.09
23	CG	BARRA23	.9935 -16.24	3.2	1.6	15	-4.18	-1.08
						24	.98	-.52
24	CG	BARRA24	.9936 -16.43	8.7	6.7	22	-5.16	-1.04
						23	-.98	.52
						25	-2.56	-1.93
		CAP/REAT			4.2			
25	CG	BARRA25	1.0049 -16.16	.0	.0	24	2.58	1.96
						26	3.55	2.37
						27	-6.13	-4.33
26	CG	BARRA26	.9870 -16.59	3.5	2.3	25	-3.50	-2.30
27	CG	BARRA27	1.0206 -15.71	.0	.0	25	6.19	4.45
						28	-19.47	-7.78
						29	6.19	1.67
						30	7.09	1.66
28	CG	BARRA28	.9905 -11.03	.0	.0	6	-19.70	-5.56
						8	.23	-4.14
						27	19.47	9.69
29	CG	BARRA29	1.0007 -16.94	2.4	.9	27	-6.10	-1.51
						30	3.70	.61
30	CG	BARRA30	.9892 -17.83	10.6	1.9	27	-6.93	-1.36
						29	-3.67	-.54

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP ATUAL	DO TRANSFORMADOR MINIMO	MAXIMO
6	9	1.019	.900	1.100
6	10	.961	.900	1.100
4	12	.983	.900	1.100
28	27	.936	.900	1.100

PERDAS=17.686 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .1562

2.c.2) $F_{\max 12-15} = 18,0 \text{ MW}$

```

*****
*   2c2.out   *
*****

```

NUMERO DE BARRA-CARGA= 24
 NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 28
 NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
 NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 116
 TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
 TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
 LIMITES DE TENSAO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

SISTEMA COM: 30-BARRAS 41-LINHAS 4-TRAFO COM TAP VARIAVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 16 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS			
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	BARRA1	1.0910	.00	-253.9	-60.3			
							2	172.95	30.27
							3	80.91	29.99
2	GE	BARRA2	1.0473	-4.69	-24.9	-17.1			
							1	-167.97	-18.35
							4	46.14	16.54
							5	83.86	7.97
							6	62.89	10.98
3	CG	BARRA3	1.0122	-7.06	2.4	1.2			
							1	-78.05	-20.55
							4	75.65	19.35
4	CG	BARRA4	.9954	-8.54	7.0	61.0			
							2	-44.88	-14.60
							3	-74.86	-17.52
							6	70.73	-23.65
							12	42.01	.71
							CAP/REAT		
5	CR	BARRA5	1.0042	-13.54	94.2	-18.6			
							2	-80.79	2.69
							7	-13.41	15.87
REAT.GER.=			37.6	[LIMITES:MAX=	40.	MIN=	-40.]		
6	CG	BARRA6	.9972	-10.40	.0	.0			
							2	-60.72	-6.34
							4	-70.06	25.53
							7	36.78	-5.17
							8	29.89	-7.30
							9	28.82	-16.84
							10	15.52	4.95
							28	19.77	5.18
7	CG	BARRA7	.9917	-12.22	22.8	10.9			
							5	13.61	-16.37
							6	-36.41	5.47
8	CR	BARRA8	.9966	-11.17	30.0	-9.3			
							6	-29.78	7.25
							28	-.22	2.03

REAT.GER.= 39.3 [LIMITE:MAX= 40. MIN= -10.]								
9	CG	BARRA9	1.0151 -13.73	.0	.0			
						6	-28.82	19.17
						10	28.82	2.84
						11	.00	-22.01
10	CG	BARRA10	1.0125 -15.50	5.8	2.0			
						6	-15.52	-3.47
						9	-28.82	-1.94
						17	6.18	5.97
						20	9.51	4.29
						21	15.46	8.81
						22	7.40	3.82
CAP/REAT 19.5								
11	CR	BARRA11	1.0602 -13.73	.0	-23.0			
						9	.00	22.99
REAT.GER.= 23.0 [LIMITE:MAX= 24. MIN= -6.]								
12	CG	BARRA12	1.0170 -14.75	11.2	7.5			
						4	-42.01	3.85
						13	.00	-19.95
						14	7.52	1.96
						15	16.90	4.86
						16	6.39	1.79
13	CR	BARRA13	1.0445 -14.75	.0	-20.5			
						12	.00	20.49
REAT.GER.= 20.5 [LIMITE:MAX= 24. MIN= -6.]								
14	CG	BARRA14	1.0031 -15.70	6.2	1.6			
						12	-7.45	-1.81
						15	1.25	.21
15	CG	BARRA15	1.0000 -15.81	8.2	2.5			
						12	-16.70	-4.47
						14	-1.24	-.21
						18	5.55	1.06
						23	4.20	1.12
16	CG	BARRA16	1.0077 -15.37	3.5	1.8			
						12	-6.35	-1.70
						17	2.85	-.10
17	CG	BARRA17	1.0055 -15.68	9.0	5.8			
						10	-6.15	-5.91
						16	-2.85	.11
18	CG	BARRA18	.9918 -16.45	3.2	.9			
						15	-5.51	-.99
						19	2.31	.09
19	CG	BARRA19	.9902 -16.62	9.5	3.4			
						18	-2.31	-.08
						20	-7.19	-3.32
20	CG	BARRA20	.9950 -16.40	2.2	.7			
						10	-9.41	-4.07
						19	7.21	3.37
21	CG	BARRA21	1.0007 -15.98	17.5	11.2			
						10	-15.35	-8.58
						22	-2.15	-2.62
22	CG	BARRA22	1.0016 -15.97	.0	.0			
						10	-7.35	-3.72
						21	2.15	2.62

						24	5.19	1.09
23	CG	BARRA23	.9936	-16.24	3.2	1.6		
						15	-4.18	-1.08
						24	.98	-.52
24	CG	BARRA24	.9937	-16.43	8.7	6.7		
						22	-5.16	-1.04
						23	-.98	.52
						25	-2.56	-1.93
		CAP/REAT			4.2			
25	CG	BARRA25	1.0049	-16.15	.0	.0		
						24	2.58	1.97
						26	3.55	2.37
						27	-6.13	-4.34
26	CG	BARRA26	.9870	-16.58	3.5	2.3		
						25	-3.50	-2.30
27	CG	BARRA27	1.0206	-15.70	.0	.0		
						25	6.19	4.45
						28	-19.47	-7.79
						29	6.19	1.67
						30	7.09	1.66
28	CG	BARRA28	.9906	-11.03	.0	.0		
						6	-19.70	-5.57
						8	.23	-4.13
						27	19.47	9.70
29	CG	BARRA29	1.0007	-16.94	2.4	.9		
						27	-6.10	-1.51
						30	3.70	.61
30	CG	BARRA30	.9892	-17.83	10.6	1.9		
						27	-6.93	-1.36
						29	-3.67	-.54

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA	BARRA	TAP DO TRANSFORMADOR		
INICIAL	FINAL	ATUAL	MINIMO	MAXIMO
6	9	1.019	.900	1.100
6	10	.961	.900	1.100
4	12	.983	.900	1.100
28	27	.936	.900	1.100

PERDAS=17.685 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .0601

2.c.3) $F_{\max 12-15} = 17,0 \text{ MW}$

```

*****
* 2c3.out *
*****

```

```

NUMERO DE BARRA-CARGA= 24
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 28
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2

```

NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 116
 TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
 TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
 LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

SISTEMA COM: 30-BARRAS 41-LINHAS 4-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 17 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS			
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	BARRA1	1.0914	.00	-253.3	-61.7	2	172.51	31.42
							3	80.84	30.27
2	GE	BARRA2	1.0471	-4.66	-25.4	-16.3	1	-167.54	-19.54
							4	46.19	16.55
							5	83.84	8.28
							6	62.94	11.00
3	CG	BARRA3	1.0121	-7.05	2.4	1.2	1	-77.98	-20.83
							4	75.58	19.63
4	CG	BARRA4	.9952	-8.53	7.0	61.0	2	-44.92	-14.57
							3	-74.79	-17.79
							6	70.72	-23.48
							12	41.99	.78
		CAP/REAT				5.9			
5	CR	BARRA5	1.0034	-13.52	94.2	-18.0	2	-80.78	2.40
							7	-13.42	15.60
		REAT.GER.=	37.0	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	-40.]			
6	CG	BARRA6	.9969	-10.38	.0	.0	2	-60.76	-6.35
							4	-70.06	25.35
							7	36.79	-4.91
							8	29.90	-7.51
							9	28.83	-16.63
							10	15.53	4.89
							28	19.77	5.16
7	CG	BARRA7	.9912	-12.20	22.8	10.9	5	13.62	-16.10
							6	-36.42	5.20
8	CR	BARRA8	.9965	-11.15	30.0	-9.5	6	-29.78	7.47
							28	-.22	2.07
		REAT.GER.=	39.5	[LIMITES:MAX=	40. MIN=	-10.]			
9	CG	BARRA9	1.0153	-13.71	.0	.0	6	-28.83	18.95
							10	28.83	2.98
							11	.00	-21.93
10	CG	BARRA10	1.0126	-15.48	5.8	2.0	6	-15.53	-3.41
							9	-28.83	-2.08
							17	6.19	6.01
							20	9.52	4.31
							21	15.46	8.82

							22	7.40	3.82
		CAP/REAT				19.5			
11	CR	BARRA11	1.0602	-13.71	.0	-22.9			
		REAT.GER.=	22.9	[LIMITES:MAX=	24.	MIN=	9	.00	22.90
12	CG	BARRA12	1.0169	-14.73	11.2	7.5			
							4	-41.99	3.78
							13	.00	-19.79
							14	7.51	1.95
							15	16.89	4.82
							16	6.39	1.75
13	CR	BARRA13	1.0441	-14.73	.0	-20.3			
		REAT.GER.=	20.3	[LIMITES:MAX=	24.	MIN=	12	.00	20.32
14	CG	BARRA14	1.0030	-15.68	6.2	1.6			
							12	-7.44	-1.80
							15	1.24	.20
15	CG	BARRA15	.9999	-15.79	8.2	2.5			
							12	-16.69	-4.43
							14	-1.24	-.20
							18	5.54	1.03
							23	4.19	1.09
16	CG	BARRA16	1.0076	-15.35	3.5	1.8			
							12	-6.35	-1.66
							17	2.85	-.14
17	CG	BARRA17	1.0056	-15.67	9.0	5.8			
							10	-6.16	-5.95
							16	-2.84	.15
18	CG	BARRA18	.9918	-16.43	3.2	.9			
							15	-5.51	-.96
							19	2.31	.06
19	CG	BARRA19	.9902	-16.60	9.5	3.4			
							18	-2.30	-.06
							20	-7.20	-3.34
20	CG	BARRA20	.9950	-16.38	2.2	.7			
							10	-9.42	-4.09
							19	7.22	3.39
21	CG	BARRA21	1.0008	-15.96	17.5	11.2			
							10	-15.35	-8.59
							22	-2.15	-2.61
22	CG	BARRA22	1.0016	-15.95	.0	.0			
							10	-7.35	-3.72
							21	2.15	2.62
							24	9.20	1.10
23	CG	BARRA23	.9935	-16.22	3.2	1.6			
							15	-4.17	-1.06
							24	.97	-.54
24	CG	BARRA24	.9937	-16.41	8.7	6.7			
							22	-5.16	-1.05
							23	-.97	.55
							25	-2.57	-1.95
		CAP/REAT				4.2			
25	CG	BARRA25	1.0050	-16.14	.0	.0			

							24	2.59	1.98
							26	3.55	2.37
							27	-6.13	-4.35
26	CG	BARRA26	.9871	-16.57	3.5	2.3			
							25	-3.50	-2.30
27	CG	BARRA27	1.0208	-15.69	.0	.0			
							25	6.19	4.47
							28	-19.48	-7.80
							29	6.19	1.67
							30	7.09	1.66
28	CG	BARRA28	.9903	-11.01	.0	.0			
							6	-19.70	-5.55
							8	.22	-4.16
							27	19.48	9.72
29	CG	BARRA29	1.0009	-16.93	2.4	.9			
							27	-6.10	-1.51
							30	3.70	.61
30	CG	BARRA30	.9894	-17.81	10.6	1.9			
							27	-6.93	-1.36
							29	-3.67	-.54

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP DO TRANSFORMADOR ATUAL	MINIMO	MAXIMO
6	9	1.018	.900	1.100
6	10	.961	.900	1.100
4	12	.982	.900	1.100
28	27	.935	.900	1.100

PERDAS=17.675 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .0000

Apêndice 4

Estudo 4:

Banco de Entrada de Dados
e Relatórios de Saída de Dados
para o Sistema IEEE 57 Barras

Banco de Entrada de Dados para o Sistema IEEE 57 Barras

1	1	BARRA1.SLAC	1040	.0	0	0-9999	9999	55.0	17.0	0. 1 .
2	-1	BARRA2.C.RE	1010	.0	0	0 -17.	50.	3.0	88.0	0. 1 .
3	-1	BARRA3.GERA	0985	.0	48	0 -10.	60.	41.0	21.0	0. 1 .
4	0	BARRA4.CARG	1000	.0	0	0	0	.0	.0	0. 1 .
5	0	BARRA5.CARG	1000	.0	0	0	0	13.0	4.0	0. 1 .
6	-1	BARRA6.C.RE	980	.0	0	0 -8.	25.	75.0	2.0	0. 1 .
7	0	BARRA7.CARG	1000	.0	0	0	0	.0	.0	0. 1 .
8	1	BARRA8.GERA	1005	.0	450	0-140.	200.	150.0	22.0	0. 1 .
9	-1	BARRA9.C.RE	980	.0	0	0 -3.	9.	121.0	26.0	0. 1 .
10	0	BARRA10.CAR	1000	.0	0	0	0	5.0	2.0	0. 1 .
11	0	BARRA11.CAR	1000	.0	0	0	0	.0	.0	0. 1 .
12	-1	BARRA12.GER	1015	.0	372	0 -50.	155.	377.0	24.0	0. 1 .
13	0	BARRA13.CAR	1000	.0	0	0	0	18.0	2.3	0. 1 .
14	0	BARRA14.CAR	1000	.0	0	0	0	10.5	5.3	0. 1 .
15	0	BARRA15.CAR	1000	.0	0	0	0	22.0	5.0	0. 1 .
16	0	BARRA16.CAR	1000	.0	0	0	0	43.0	3.0	0. 1 .
17	0	BARRA17.CAR	1000	.0	0	0	0	42.0	8.0	0. 1 .
18	0	BARRA18.CAR	1000	.0	0	0	0	27.2	9.8	10. 1 .
19	0	BARRA19.CAR	1000	.0	0	0	0	3.3	0.6	0. 1 .
20	0	BARRA20.CAR	1000	.0	0	0	0	2.3	1.0	0. 1 .
21	0	BARRA21.CAR	1000	.0	0	0	0	.0	.0	0. 1 .
22	0	BARRA22.CAR	1000	.0	0	0	0	.0	.0	0. 1 .
23	0	BARRA23.CAR	1000	.0	0	0	0	6.3	2.1	0. 1 .
24	0	BARRA24.CAR	1000	.0	0	0	0	.0	.0	0. 1 .
25	0	BARRA25.CAR	1000	.0	0	0	0	6.3	3.2	5.9 1 .
26	0	BARRA26.CAR	1000	.0	0	0	0	.0	.0	0. 1 .
27	0	BARRA27.CAR	1000	.0	0	0	0	9.3	0.5	0. 1 .
28	0	BARRA28.CAR	1000	.0	0	0	0	4.6	2.3	0. 1 .
29	0	BARRA29.CAR	1000	.0	0	0	0	17.0	2.6	0. 1 .
30	0	BARRA30.CAR	1000	.0	0	0	0	3.6	1.8	0. 1 .
31	0	BARRA31.CAR	1000	.0	0	0	0	5.8	2.9	0. 1 .
32	0	BARRA32.CAR	1000	.0	0	0	0	1.6	0.8	0. 1 .
33	0	BARRA33.CAR	1000	.0	0	0	0	3.8	1.9	0. 1 .
34	0	BARRA34.CAR	1000	.0	0	0	0	.0	.0	0. 1 .
35	0	BARRA35.CAR	1000	.0	0	0	0	6.0	3.0	0. 1 .
36	0	BARRA36.CAR	1000	.0	0	0	0	.0	.0	0. 1 .
37	0	BARRA37.CAR	1000	.0	0	0	0	0	.0	0. 1 .
38	0	BARRA38.CAR	1000	.0	0	0	0	14.0	7.0	0. 1 .
39	0	BARRA39.CAR	1000	.0	0	0	0	.0	.0	0. 1 .
40	0	BARRA40.CAR	1000	.0	0	0	0	.0	.0	0. 1 .
41	0	BARRA41.CAR	1000	.0	0	0	0	6.3	3.0	0. 1 .
42	0	BARRA42.CAR	1000	.0	0	0	0	7.1	4.4	0. 1 .
43	0	BARRA43.CAR	1000	.0	0	0	0	2.0	1.0	0. 1 .
44	0	BARRA44.CAR	1000	.0	0	0	0	12.0	1.8	0. 1 .
45	0	BARRA45.CAR	1000	.0	0	0	0	.0	.0	0. 1 .
46	0	BARRA46.CAR	1000	.0	0	0	0	.0	.0	0. 1 .
47	0	BARRA47.CAR	1000	.0	0	0	0	29.7	11.6	0. 1 .
48	0	BARRA48.CAR	1000	.0	0	0	0	.0	.0	0. 1 .
49	0	BARRA49.CAR	1000	.0	0	0	0	18.0	8.5	0. 1 .
50	0	BARRA50.CAR	1000	.0	0	0	0	21.0	10.5	0. 1 .
51	0	BARRA51.CAR	1000	.0	0	0	0	18.0	5.3	0. 1 .
52	0	BARRA52.CAR	1000	.0	0	0	0	4.9	2.2	0. 1 .
53	0	BARRA53.C.R	1000	.0	0	0	0	20.0	10.0	6.3 1 .
54	0	BARRA54.CAR	1000	.0	0	0	0	4.1	1.4	0. 1 .

55	0	BARRA55.CAR	1000	.0	0	0	0	0	6.8	3.4	0.1	.
56	0	BARRA56.CAR	1000	.0	0	0	0	0	7.6	2.2	0.1	.
57	0	BARRA57.CAR	1000	.0	0	0	0	0	6.7	2.0	0.1	.
9999												
1	2		0.83	2.80	6.45							9000.0
2	3		2.98	8.50	4.09							9000.0
3	4		1.12	3.66	1.90							9000.0
4	5		6.25	13.20	1.29							9000.0
4	6		4.30	14.80	1.74							9000.0
6	7		2.00	10.20	1.38							9000.0
6	8		3.39	17.30	2.35							9000.0
8	9		.99	5.05	2.74							9000.0
9	10		3.69	16.79	2.20							9000.0
9	11		2.58	8.48	1.09							9000.0
9	12		6.48	29.50	3.86							9000.0
9	13		4.81	15.80	2.03							9000.0
13	14		1.32	4.34	0.55							9000.0
13	15		2.69	8.69	1.15							9000.0
1	15		1.78	9.10	4.94							9000.0
1	16		4.54	20.60	2.73							9000.0
1	17		2.38	10.80	1.43							9000.0
3	15		1.62	5.30	2.72							9000.0
4	18		.0	55.50	.0	0.9700.9001.050						9000.0
4	18		.0	43.00	.0	.9780.9001.050						9000.0
5	6		3.02	6.41	0.62							9000.0
7	8		1.39	7.12	0.97							9000.0
10	12		2.77	12.62	1.64							9000.0
11	13		2.23	7.32	0.94							9000.0
12	13		1.78	5.80	3.02							9000.0
12	16		1.80	8.13	1.08							9000.0
12	17		3.97	17.90	2.38							9000.0
14	15		1.71	5.47	0.74							9000.0
18	19		46.10	68.50	.0							9000.0
19	20		28.30	43.40	.0							9000.0
21	20		.0	77.67	.0	1.0430.90	1.05					9000.0
21	22		7.36	11.70	.0							9000.0
22	23		0.99	1.52	.0							9000.0
23	24		16.60	25.60	0.42							9000.0
24	25		.0	118.20	.0	1.0000.90	1.05					9000.0
24	25		.0	123.00	.0	1.0000.90	1.05					9000.0
24	26		.0	4.73	.0	1.0430.90	1.05					9000.0
26	27		16.50	25.40	.0							9000.0
27	28		6.18	9.54	.0							9000.0
28	29		4.18	5.87	.0							9000.0
7	29		.0	6.48	.0	0.9600.90	1.05					9000.0
25	30		13.50	20.20	.0							9000.0
30	31		32.60	49.70	.0							9000.0
31	32		50.70	75.50	.0							9000.0
32	33		3.92	3.60	.0							9000.0
34	32		.0	95.30	.0	0.9750.9001.05						9000.0
34	35		5.20	7.80	0.16							9000.0
35	36		4.30	5.37	0.08							9000.0
36	37		2.90	3.66	.0							9000.0
37	38		6.51	10.09	0.01							9000.0
37	39		2.39	3.79	.0							9000.0
36	40		3.00	4.66	.0							9000.0
22	38		1.92	2.95	.0							9000.0

11	41	.0	74.90	.0	.9550.90	1.05	9000.0
41	42	20.70	35.20	.0			9000.0
41	43	.0	41.20	.0			9000.0
38	44	2.89	5.85	0.10			9000.0
15	45	.0	10.42	.0	.9550.90	1.05	9000.0
14	46	.0	7.35	.0	.90 0.90	1.05	9000.0
46	47	2.30	6.80	0.16			9000.0
47	48	1.82	2.33	.0			9000.0
48	49	8.34	12.90	0.24			9000.0
49	50	8.01	12.80	.0			9000.0
50	51	13.86	22.00	.0			9000.0
10	51	.0	7.12	.0	.93 0.90	1.05	9000.0
13	49	.0	19.10	.0	.8950.90	1.05	9000.0
29	52	14.42	18.70	.0			9000.0
52	53	7.62	9.84	.0			9000.0
53	54	18.78	23.20	.0			9000.0
54	55	17.32	22.65	.0			9000.0
11	43	.0	15.30	.0	.9580.90	1.05	9000.0
44	45	6.24	12.42	.02			9000.0
40	56	.0	119.50	.0	.9580.9001.05		9000.0
56	41	55.30	54.90	.0			9000.0
56	42	21.25	35.40	.0			9000.0
39	57	.0	135.50	.0	.98 0.90	1.05	9000.0
57	56	17.40	26.00	.0			9000.0
38	49	11.50	17.70	0.30			9000.0
38	48	3.12	4.82	.0			9000.0
9	55	.0	12.05	.0	.94 0.90	1.05	9000.0
9999							
	0.90	1.1					
9999							
		900.					
9999							

Relatórios de Saída de Dados para o Sistema IEEE 57 Barras

1) Caso Base

```

*****
*      b57.out      *
*****

NUMERO DE BARRA-CARGA= 50
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 55
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 236
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSAO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

SISTEMA COM: 57-BARRAS 80-LINHAS 17-TRAFO COM TAP VARIABEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 20 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA                                FLUXOS NAS LINHAS

```


BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR			
1	SL	BARRA1.SLAC	1.0392	.00	-271.8	-129.2	BARRA	MW	MVAR
							2	62.42	85.05
							15	95.99	33.41
							16	49.64	3.00
							17	63.73	7.72
2	CR	BARRA2.C.RE	1.0104	-.55	3.0	99.8	1	-61.52	-88.78
							3	58.52	-10.97
		REAT.GER.=	-11.8	[LIMITES:MAX=	50. MIN=	-17.]			
3	CR	BARRA3.GERA	1.0020	-3.52	-7.0	-19.5	2	-57.50	9.75
							4	31.13	6.37
							15	33.37	3.34
		REAT.GER.=	40.5	[LIMITES:MAX=	60. MIN=	-10.]			
4	CG	BARRA4.CARG	.9959	-4.13	.0	.0	3	-31.01	-7.89
							5	2.43	2.55
							6	-3.05	1.77
							18	17.88	1.24
							18	13.75	2.33
5	CG	BARRA5.CARG	.9901	-4.20	13.0	4.0	4	-2.42	-3.81
							6	-10.58	-1.19
6	CR	BARRA6.C.RE	.9933	-3.80	75.0	-1.4	4	3.06	-3.46
							5	10.62	-1.34
							7	-30.36	5.71
							8	-58.32	-1.49
		REAT.GER.=	3.4	[LIMITES:MAX=	25. MIN=	-8.]			
7	CG	BARRA7.CARG	.9934	-1.93	.0	.0	6	30.55	-6.08
							8	-97.93	-11.29
							29	67.38	17.37
8	GE	BARRA8.GERA	1.0172	1.94	-375.0	-49.7	6	59.49	4.08
							7	99.29	17.32
							9	216.19	28.28
9	CR	BARRA9.C.RE	.9869	-4.13	121.0	20.7	8	-211.64	-7.79
							10	22.96	-7.10
							11	27.40	1.82
							12	7.20	-12.16
							13	16.04	-3.00
							55	17.04	7.54
		REAT.GER.=	5.3	[LIMITES:MAX=	9. MIN=	-3.]			
10	CG	BARRA10.CAR	.9894	-6.52	5.0	2.0	9	-22.74	5.92
							12	-14.40	-16.28
							51	32.15	8.36
11	CG	BARRA11.CAR	.9780	-5.47	.0	.0	9	-27.20	-2.21
							13	2.70	-7.51
							41	9.41	4.52
							43	15.09	5.20
12	CR	BARRA12.GER	1.0133	-5.73	5.0	-73.7			

						9	-7.10	8.78
						10	14.53	15.21
						13	13.82	47.75
						16	-5.59	.78
						17	-20.66	1.20
REAT.GER.= 97.7 [LIMITES:MAX= 155. MIN= -50.]								
13	CG BARRA13.CAR	.9827	-5.69	18.0	2.3			
						9	-15.92	1.46
						11	-2.69	6.65
						12	-13.36	-49.27
						14	9.06	14.60
						15	-24.98	-5.65
						49	29.89	29.92
14	CG BARRA14.CAR	.9749	-5.80	10.5	5.3			
						13	-9.02	-14.99
						15	-46.61	-19.79
						46	45.13	29.48
15	CG BARRA15.CAR	.9942	-4.49	22.0	5.0			
						1	-94.26	-29.66
						3	-33.19	-5.45
						13	25.17	5.11
						14	47.07	20.54
						45	33.22	4.46
16	CG BARRA16.CAR	1.0133	-5.46	43.0	3.0			
						1	-48.60	-1.14
						12	5.60	-1.86
17	CG BARRA17.CAR	1.0178	-3.62	42.0	8.0			
						1	-62.82	-5.10
						12	20.82	-2.90
18	CG BARRA18.CAR	1.0180	-8.58	27.2	9.8			
						4	-17.88	.15
						4	-13.75	-1.24
						19	4.43	1.65
CAP/REAT					10.4			
19	CG BARRA19.CAR	.9871	-9.88	3.3	.6			
						18	-4.34	-1.50
						20	1.04	.90
20	CG BARRA20.CAR	.9802	-10.00	2.3	1.0			
						19	-1.03	-1.90
						21	-1.27	-1.10
21	CG BARRA21.CAR	1.0096	-9.44	.0	.0			
						20	1.27	.12
						22	-1.27	-1.12
22	CG BARRA22.CAR	1.0107	-9.36	.0	.0			
						21	1.27	.12
						23	5.12	2.79
						38	-6.39	-2.91
23	CG BARRA23.CAR	1.0097	-9.39	6.3	2.1			
						22	-5.11	-2.78
						24	-1.19	.68
24	CG BARRA24.CAR	1.0094	-9.14	.0	.0			
						23	1.19	-1.11
						25	7.02	1.38
						25	7.30	1.51
						26	-15.50	-1.79

25	CG BARRA25.CAR	1.0164	-14.06	6.3	3.2			
						24	-7.02	-1.77
						24	-7.30	-1.86
						30	8.01	4.53
	CAP/REAT				6.1			
26	CG BARRA26.CAR	.9663	-8.72	.0	.0			
						24	15.50	1.90
						27	-15.50	-1.90
27	CG BARRA27.CAR	.9985	-6.57	9.3	.5			
						26	15.93	2.56
						28	-25.23	-3.06
28	CG BARRA28.CAR	1.0172	-5.32	4.6	2.3			
						27	25.63	3.68
						29	-30.23	-5.98
29	CG BARRA29.CAR	1.0332	-4.49	17.0	2.6			
						7	-67.38	-14.19
						28	30.62	6.52
						52	19.76	5.07
30	CG BARRA30.CAR	.9969	-14.63	3.6	1.8			
						25	-7.90	-4.36
						31	4.30	2.56
31	CG BARRA31.CAR	.9701	-15.40	5.8	2.9			
						30	-4.22	-2.44
						32	-1.58	-1.46
32	CG BARRA32.CAR	.9820	-14.83	1.6	.8			
						31	1.59	.49
						33	3.81	1.91
						34	-7.00	-3.19
33	CG BARRA33.CAR	.9798	-14.86	3.8	1.9			
						32	-3.80	-1.90
34	CG BARRA34.CAR	.9622	-10.53	.0	.0			
						32	7.00	3.85
						35	-7.00	-3.85
35	CG BARRA35.CAR	.9691	-10.32	6.0	3.0			
						34	7.04	3.75
						36	-13.04	-6.75
36	CG BARRA36.CAR	.9786	-10.07	.0	.0			
						35	13.14	6.80
						37	-15.65	-9.92
						40	2.52	3.12
37	CG BARRA37.CAR	.9870	-9.90	.0	.0			
						36	15.76	10.05
						38	-18.94	-12.93
						39	3.18	2.87
38	CG BARRA38.CAR	1.0127	-9.29	14.0	7.0			
						22	6.40	2.92
						37	19.29	13.46
						44	-20.46	-1.08
						48	-14.93	-16.65
						49	-4.30	-6.64
39	CG BARRA39.CAR	.9851	-9.93	.0	.0			
						37	-3.18	-2.86
						57	3.18	2.86

40	CG BARRA40.CAR	.9763	-10.09	.0	.0	36	-2.51	-3.11
						56	2.51	3.11
41	CG BARRA41.CAR	1.0121	-9.84	6.3	3.0	11	-9.41	-3.67
						42	9.66	3.85
						43	-13.09	-3.07
						56	6.54	-1.11
42	CG BARRA42.CAR	.9793	-11.35	7.1	4.4	41	-9.44	-3.48
						56	2.34	-1.92
43	CG BARRA43.CAR	1.0260	-6.87	2.0	1.0	11	-15.09	-4.80
						41	13.09	3.80
44	CG BARRA44.CAR	1.0186	-8.62	12.0	1.8	38	20.58	.22
						45	-32.58	-2.02
45	CG BARRA45.CAR	1.0418	-6.51	.0	.0	15	-33.22	-3.27
						44	33.22	3.27
46	CG BARRA46.CAR	1.0582	-7.85	.0	.0	14	-45.13	-27.23
						47	45.13	27.23
47	CG BARRA47.CAR	1.0311	-9.13	29.7	11.6	46	-44.55	-25.72
						48	14.85	14.12
48	CG BARRA48.CAR	1.0252	-9.18	.0	.0	38	15.08	16.89
						47	-14.78	-14.03
						49	-1.30	-2.86
49	CG BARRA49.CAR	1.0289	-9.28	18.0	8.5	13	-29.89	-26.38
						38	4.36	6.44
						48	.31	2.62
						50	7.22	8.82
50	CG BARRA50.CAR	1.0123	-9.40	21.0	10.5	49	-7.12	-8.67
						51	-13.88	-1.83
51	CG BARRA51.CAR	1.0357	-7.87	18.0	5.3	10	-32.15	-7.55
						50	14.15	2.25
52	CG BARRA52.CAR	.9969	-6.14	4.9	2.2	29	-19.19	-4.35
						53	14.29	2.15
53	CG BARRA53.CAR	.9839	-6.86	20.0	10.0	52	-14.13	-1.94
						54	-5.87	-1.96
	CAP/REAT				6.1			
54	CG BARRA54.CAR	.9998	-6.29	4.1	1.4	53	5.94	2.05
						55	-10.04	-3.45
55	CG BARRA55.CAR	1.0251	-5.35	6.8	3.4	9	-17.04	-7.11

						54	10.24	3.71
56	CG BARRA56.CAR	.9776	-11.96	7.6	2.2	40	-2.51	-2.91
						41	-6.31	.34
						42	-2.32	.95
						57	3.55	-.57
57	CG BARRA57.CAR	.9729	-12.58	6.7	2.0	39	-3.18	-2.61
						56	-3.52	.61

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP DO TRANSFORMADOR ATUAL	MINIMO	MAXIMO
4	18	.968	.900	1.050
4	18	.976	.900	1.050
21	20	1.029	.900	1.050
24	25	.979	.900	1.050
24	25	.980	.900	1.050
24	26	1.046	.900	1.050
7	29	.951	.900	1.050
34	32	.944	.900	1.050
11	41	.935	.900	1.050
15	45	.950	.900	1.050
14	46	.901	.900	1.050
10	51	.950	.900	1.050
13	49	.900	.900	1.050
11	43	.946	.900	1.050
40	56	.960	.900	1.050
39	57	.973	.900	1.050
9	55	.954	.900	1.050

PERDAS=20.969 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .9994

2) Estudos com Restrição na Transmissão

2.a) Restrição entre uma Barra de Geração e uma barra de Carga

2.a.1) $F_{\max 8-7} = 110,0 \text{ MW}$

```

*****
*      2a1.out      *
*****

```

```

NUMERO DE BARRA-CARGA= 50
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 55
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 236
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSAO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

```

SISTEMA COM: 57-BARRAS 80-LINHAS 17-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO
CONVERGÊNCIA EM 20 ITERAÇÕES

ESTADO DO SISTEMA

FLUXOS NAS LINHAS

BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR			
1	SL	BARRA1.SLAC	1.0632	.00	-324.2	-162.0	BARRA	MW	MVAR
							2	79.83	71.39
							15	115.35	56.37
							16	57.46	14.77
							17	71.59	19.52
2	CR	BARRA2.C.RE	1.0373	-.84	3.0	56.7			
							1	-78.95	-75.54
							3	75.95	18.80
		REAT.GER.=	31.3	[LIMITES:MAX=	50. MIN=	-17.]			
3	CR	BARRA3.GERA	.9999	-4.06	-7.0	21.8			
							2	-74.23	-18.14
							4	48.22	2.49
							15	33.01	-6.14
		REAT.GER.=	-.8	[LIMITES:MAX=	60. MIN=	-10.]			
4	CG	BARRA4.CARG	.9934	-5.06	.0	.0			
							3	-47.96	-3.52
							5	9.27	.11
							6	7.02	-.17
							18	17.90	1.30
							18	13.77	2.28
5	CG	BARRA5.CARG	.9866	-5.74	13.0	4.0			
							4	-9.21	-1.26
							6	-3.79	-2.74
6	CR	BARRA6.C.RE	.9893	-5.64	75.0	-3.0			
							4	-7.00	-1.46
							5	3.79	2.15
							7	-22.52	4.67
							8	-49.28	-2.33
		REAT.GER.=	5.0	[LIMITES:MAX=	25. MIN=	-8.]			
7	CG	BARRA7.CARG	.9887	-4.24	.0	.0			
							6	22.63	-5.46
							8	-87.14	-13.19
							29	64.51	18.66
8	GE	BARRA8.GERA	1.0119	-.78	-322.8	-50.7			
							6	50.12	4.27
							7	88.24	17.87
							9	184.48	28.58
9	CR	BARRA9.C.RE	.9830	-5.98	121.0	17.2			
							8	-181.10	-14.08
							10	16.63	-3.47
							11	18.02	3.30
							12	1.04	-8.80
							13	6.86	-1.38
							55	17.55	7.23
		REAT.GER.=	8.8	[LIMITES:MAX=	9. MIN=	-3.]			
10	CG	BARRA10.CAR	.9813	-7.70	5.0	2.0			
							9	-16.52	1.84
							12	-20.02	-13.18
							51	31.54	9.34

11	CG BARRA11.CAR	.9751	-6.84	.0	.0	9	-17.93	-4.05
						13	-6.10	-5.60
						41	9.21	4.36
						43	14.82	5.29
12	CR BARRA12.GER	1.0031	-6.43	5.0	-32.3	9	-1.01	5.14
						10	20.18	12.29
						13	16.90	32.74
						16	-12.98	-9.11
						17	-28.09	-8.74
	REAT.GER.= 56.3 [LIMITES:MAX= 155. MIN= -50.]							
13	CG BARRA13.CAR	.9803	-6.64	18.0	2.3	9	-6.84	-5.50
						11	6.11	4.76
						12	-16.64	-34.87
						14	2.31	9.54
						15	-32.69	-9.08
						49	29.74	27.85
14	CG BARRA14.CAR	.9757	-6.62	10.5	5.3	13	-2.29	-10.02
						15	-53.55	-21.41
						46	45.34	26.13
15	CG BARRA15.CAR	.9972	-5.11	22.0	5.0	1	-112.70	-48.09
						3	-32.83	4.01
						13	33.01	8.99
						14	54.14	22.59
						45	36.39	7.50
16	CG BARRA16.CAR	1.0124	-5.92	43.0	3.0	1	-56.03	-11.21
						12	13.03	8.21
17	CG BARRA17.CAR	1.0288	-3.80	42.0	8.0	1	-70.42	-15.79
						12	28.42	7.79
18	CG BARRA18.CAR	1.0173	-9.54	27.2	9.8	4	-17.90	.10
						4	-13.77	-1.19
						19	4.47	1.64
	CAP/REAT 10.3							
19	CG BARRA19.CAR	.9863	-10.86	3.3	.6	18	-4.37	-1.49
						20	1.07	.89
20	CG BARRA20.CAR	.9793	-10.99	2.3	1.0	19	-1.06	-8.88
						21	-1.24	-1.12
21	CG BARRA21.CAR	1.0092	-10.45	.0	.0	20	1.24	.13
						22	-1.24	-1.13
22	CG BARRA22.CAR	1.0103	-10.37	.0	.0	21	1.24	.13
						23	7.08	1.44
						38	-8.32	-1.57
23	CG BARRA23.CAR	1.0094	-10.42	6.3	2.1	22	-7.08	-1.43
						24	.78	-.67

24	CG BARRA24.CAR	1.0093	-10.58	.0	.0	23	-7.77	.25
						25	6.93	1.44
						25	7.21	1.58
						26	-13.36	-3.26
25	CG BARRA25.CAR	1.0171	-15.45	6.3	3.2	24	-6.93	-1.84
						24	-7.21	-1.94
						30	7.84	4.68
	CAP/REAT				6.1			
26	CG BARRA26.CAR	.9660	-10.22	.0	.0	24	13.36	3.35
						27	-13.36	-3.35
27	CG BARRA27.CAR	.9981	-8.53	9.3	.5	26	13.70	3.87
						28	-23.00	-4.37
28	CG BARRA28.CAR	1.0167	-7.45	4.6	2.3	27	23.34	4.89
						29	-27.94	-7.19
29	CG BARRA29.CAR	1.0324	-6.72	17.0	2.6	7	-64.51	-15.67
						28	28.28	7.67
						52	19.23	5.40
30	CG BARRA30.CAR	.9974	-15.98	3.6	1.8	25	-7.73	-4.52
						31	4.13	2.72
31	CG BARRA31.CAR	.9704	-16.67	5.8	2.9	30	-4.05	-2.60
						32	-1.75	-1.30
32	CG BARRA32.CAR	.9820	-15.97	1.6	.8	31	1.77	.33
						33	3.81	1.91
						34	-7.18	-3.03
33	CG BARRA33.CAR	.9798	-16.01	3.8	1.9	32	-3.80	-1.90
34	CG BARRA34.CAR	.9615	-11.57	.0	.0	32	7.18	3.70
						35	-7.18	-3.70
35	CG BARRA35.CAR	.9683	-11.34	6.0	3.0	34	7.21	3.61
						36	-13.21	-6.61
36	CG BARRA36.CAR	.9778	-11.08	.0	.0	35	13.31	6.66
						37	-16.07	-9.85
						40	2.76	3.19
37	CG BARRA37.CAR	.9863	-10.90	.0	.0	36	16.18	9.98
						38	-19.56	-12.79
						39	3.37	2.81
38	CG BARRA38.CAR	1.0123	-10.25	14.0	7.0	22	8.33	1.59
						37	19.92	13.35
						44	-23.46	-2.52

						48	-14.82	-13.59
						49	-3.98	-5.83
39	CG BARRA39.CAR	.9844	-10.94	.0	.0			
						37	-3.37	-2.80
						57	3.37	2.80
40	CG BARRA40.CAR	.9754	-11.10	.0	.0			
						36	-2.76	-3.18
						56	2.76	3.18
41	CG BARRA41.CAR	1.0111	-11.14	6.3	3.0			
						11	-9.21	-3.55
						42	9.43	3.81
						43	-12.82	-3.19
						56	6.30	-1.08
42	CG BARRA42.CAR	.9788	-12.60	7.1	4.4			
						41	-9.22	-3.46
						56	2.12	-1.94
43	CG BARRA43.CAR	1.0254	-8.22	2.0	1.0			
						11	-14.82	-4.89
						41	12.82	3.89
44	CG BARRA44.CAR	1.0205	-9.53	12.0	1.8			
						38	23.61	2.74
						45	-35.61	-4.54
45	CG BARRA45.CAR	1.0486	-7.31	.0	.0			
						15	-36.39	-6.05
						44	36.39	6.05
46	CG BARRA46.CAR	1.0537	-8.67	.0	.0			
						14	-45.34	-24.01
						47	45.34	24.01
47	CG BARRA47.CAR	1.0285	-10.01	29.7	11.6			
						46	-44.79	-22.57
						48	15.09	10.97
48	CG BARRA48.CAR	1.0234	-10.09	.0	.0			
						38	14.94	13.78
						47	-15.03	-10.89
						49	.09	-2.88
49	CG BARRA49.CAR	1.0268	-10.22	18.0	8.5			
						13	-29.74	-24.55
						38	4.03	5.60
						48	-1.09	2.64
						50	7.80	7.81
50	CG BARRA50.CAR	1.0110	-10.43	21.0	10.5			
						49	-7.71	-7.66
						51	-13.29	-2.84
51	CG BARRA51.CAR	1.0357	-9.04	18.0	5.3			
						10	-31.54	-8.54
						50	13.54	3.24
52	CG BARRA52.CAR	.9961	-8.29	4.9	2.2			
						29	-18.69	-4.70
						53	13.79	2.50
53	CG BARRA53.CAR	.9832	-8.97	20.0	10.0			
						52	-13.64	-2.30
						54	-6.36	-1.61
	CAP/REAT				6.1			

54	CG BARRA54.CAR	.9992	-8.28	4.1	1.4	53	6.44	1.71
						55	-10.54	-3.11
55	CG BARRA55.CAR	1.0247	-7.25	6.8	3.4	9	-17.55	-6.78
						54	10.75	3.38
56	CG BARRA56.CAR	.9777	-13.17	7.6	2.2	40	-2.76	-2.96
						41	-6.09	.30
						42	-2.11	.96
						57	3.35	-.50
57	CG BARRA57.CAR	.9731	-13.75	6.7	2.0	39	-3.37	-2.53
						56	-3.33	.53

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP DO TRANSFORMADOR ATUAL	MINIMO	MAXIMO
4	18	.967	.900	1.050
4	18	.974	.900	1.050
21	20	1.030	.900	1.050
24	25	.978	.900	1.050
24	25	.979	.900	1.050
24	26	1.046	.900	1.050
7	29	.947	.900	1.050
34	32	.944	.900	1.050
11	41	.934	.900	1.050
15	45	.944	.900	1.050
14	46	.908	.900	1.050
10	51	.941	.900	1.050
13	49	.904	.900	1.050
11	43	.943	.900	1.050
40	56	.959	.900	1.050
39	57	.973	.900	1.050
9	55	.951	.900	1.050

PERDAS=21.270 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .3475

$$2.a.2) F_{\max 8-7} = 100,0 \text{ MW}$$

```
*****
* 2a2.out *
*****
```

NUMERO DE BARRA-CARGA= 50
 NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 55
 NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
 NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 236
 TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
 TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
 LIMITES DE TENSAO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

SISTEMA COM: 57-BARRAS 80-LINHAS 17-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 20 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS			
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	BARRA1.SLAC	1.0567	.00	-324.3	-160.4	2	79.26	85.51
							15	115.70	48.65
							16	57.62	10.77
							17	71.73	15.51
2	CR	BARRA2.C.RE	1.0270	-.78	3.0	84.2	1	-78.20	-88.94
		REAT.GER.= 3.8 [LIMITES:MAX=			50. MIN=	-17.]	3	75.20	4.76
3	CR	BARRA3.GERA	1.0012	-4.23	-7.0	4.8	2	-73.59	-4.37
							4	48.12	2.73
							15	32.47	-3.19
		REAT.GER.= 16.2 [LIMITES:MAX=			60. MIN=	-10.]			
4	CG	BARRA4.CARG	.9947	-5.22	.0	.0	3	-47.86	-3.77
							5	9.24	.22
							6	6.96	-.02
							18	17.90	1.27
							18	13.76	2.31
5	CG	BARRA5.CARG	.9878	-5.90	13.0	4.0	4	-9.19	-1.37
							6	-3.81	-2.62
6	CR	BARRA6.C.RE	.9904	-5.80	75.0	-1.9	4	-6.94	-1.62
							5	3.82	2.03
							7	-22.62	4.16
							8	-49.27	-2.66
		REAT.GER.= 3.9 [LIMITES:MAX=			25. MIN=	-8.]			
7	CG	BARRA7.CARG	.9903	-4.39	.0	.0	6	22.72	-4.96
							8	-87.01	-13.28
							29	64.29	18.24
8	GE	BARRA8.GERA	1.0136	-.96	-322.7	-50.9	6	50.10	4.59
							7	88.11	17.92
							9	184.51	28.39
9	CR	BARRA9.C.RE	.9847	-6.14	121.0	18.5	8	-181.14	-13.96
							10	16.56	-4.44
							11	18.02	3.40
							12	1.05	-9.68
							13	6.86	-1.31
							55	17.66	7.43
		REAT.GER.= 7.5 [LIMITES:MAX=			9. MIN=	-3.]			
10	CG	BARRA10.CAR	.9847	-7.86	5.0	2.0	9	-16.45	2.80
							12	-19.97	-13.97
							51	31.42	9.17
11	CG	BARRA11.CAR	.9767	-6.99	.0	.0	9	-17.93	-4.16
							13	-6.11	-5.57
							41	9.22	4.46
							43	14.82	5.26

12	CR BARRA12.GER	1.0075	-6.62	5.0	-46.5			
						9	-1.01	6.04
						10	20.14	13.09
						13	17.31	37.44
						16	-13.17	-5.24
						17	-28.26	-4.86
	REAT.GER.= 70.5 [LIMITES:MAX= 155. MIN= -50.]							
13	CG BARRA13.CAR	.9820	-6.80	18.0	2.3			
						9	-6.83	-5.58
						11	6.12	4.72
						12	-16.99	-39.39
						14	2.65	12.34
						15	-32.71	-7.11
						49	29.77	27.73
14	CG BARRA14.CAR	.9760	-6.76	10.5	5.3			
						13	-2.62	-12.79
						15	-53.78	-20.49
						46	45.90	27.98
15	CG BARRA15.CAR	.9971	-5.23	22.0	5.0			
						1	-113.14	-40.80
						3	-32.29	1.03
						13	33.02	6.99
						14	54.37	21.66
						45	36.05	6.12
16	CG BARRA16.CAR	1.0136	-6.06	43.0	3.0			
						1	-56.21	-7.30
						12	13.21	4.30
17	CG BARRA17.CAR	1.0262	-3.89	42.0	8.0			
						1	-70.58	-11.83
						12	28.58	3.83
18	CG BARRA18.CAR	1.0177	-9.69	27.2	9.8			
						4	-17.90	.13
						4	-13.76	-1.21
						19	4.46	1.64
	CAP/REAT				10.4			
19	CG BARRA19.CAR	.9867	-11.01	3.3	.6			
						18	-4.36	-1.49
						20	1.06	.89
20	CG BARRA20.CAR	.9798	-11.13	2.3	1.0			
						19	-1.06	-.88
						21	-1.24	-1.12
21	CG BARRA21.CAR	1.0095	-10.59	.0	.0			
						20	1.24	.13
						22	-1.24	-.13
22	CG BARRA22.CAR	1.0105	-10.51	.0	.0			
						21	1.25	.13
						23	7.16	1.55
						38	-8.41	-1.69
23	CG BARRA23.CAR	1.0096	-10.56	6.3	2.1			
						22	-7.16	-1.54
						24	.86	-.56
24	CG BARRA24.CAR	1.0091	-10.72	.0	.0			
						23	-.86	.13
						25	6.92	1.42
						25	7.20	1.55

						26	-13.26	-3.10
25	CG BARRA25.CAR	1.0164	-15.58	6.3	3.2			
						24	-6.92	-1.82
						24	-7.20	-1.92
						30	7.82	4.63
	CAP/REAT				6.1			
26	CG BARRA26.CAR	.9662	-10.37	.0	.0			
						24	13.26	3.19
						27	-13.26	-3.19
27	CG BARRA27.CAR	.9977	-8.68	9.3	.5			
						26	13.59	3.69
						28	-22.89	-4.19
28	CG BARRA28.CAR	1.0160	-7.59	4.6	2.3			
						27	23.23	4.71
						29	-27.83	-7.01
29	CG BARRA29.CAR	1.0316	-6.86	17.0	2.6			
						7	-64.29	-15.29
						28	28.16	7.48
						52	19.13	5.21
30	CG BARRA30.CAR	.9968	-16.12	3.6	1.8			
						25	-7.71	-4.47
						31	4.11	2.67
31	CG BARRA31.CAR	.9701	-16.82	5.8	2.9			
						30	-4.03	-2.55
						32	-1.77	-1.35
32	CG BARRA32.CAR	.9822	-16.12	1.6	.8			
						31	1.79	.37
						33	3.81	1.91
						34	-7.19	-3.08
33	CG BARRA33.CAR	.9799	-16.16	3.8	1.9			
						32	-3.80	-1.90
34	CG BARRA34.CAR	.9617	-11.71	.0	.0			
						32	7.19	3.76
						35	-7.19	-3.76
35	CG BARRA35.CAR	.9686	-11.48	6.0	3.0			
						34	7.23	3.67
						36	-13.23	-6.67
36	CG BARRA36.CAR	.9782	-11.23	.0	.0			
						35	13.33	6.72
						37	-16.09	-9.83
						40	2.76	3.11
37	CG BARRA37.CAR	.9866	-11.05	.0	.0			
						36	16.20	9.96
						38	-19.57	-12.77
						39	3.37	2.81
38	CG BARRA38.CAR	1.0126	-10.39	14.0	7.0			
						22	8.42	1.71
						37	19.93	13.32
						44	-23.14	-1.24
						48	-15.21	-14.87
						49	-4.00	-5.93
39	CG BARRA39.CAR	.9847	-11.08	.0	.0			
						37	-3.37	-2.80

						57	3.37	2.80
40	CG BARRA40.CAR	.9758 -11.25	.0	.0				
					36	-2.75	-3.10	
					56	2.75	3.10	
41	CG BARRA41.CAR	1.0115 -11.28	6.3	3.0				
					11	-9.22	-3.64	
					42	9.43	3.85	
					43	-12.82	-3.17	
					56	6.31	-.05	
42	CG BARRA42.CAR	.9792 -12.74	7.1	4.4				
					41	-9.22	-3.49	
					56	2.12	-.91	
43	CG BARRA43.CAR	1.0258 -8.37	2.0	1.0				
					11	-14.82	-4.87	
					41	12.82	3.87	
44	CG BARRA44.CAR	1.0200 -9.66	12.0	1.8				
					38	23.29	1.45	
					45	-35.29	-3.25	
45	CG BARRA45.CAR	1.0463 -7.41	.0	.0				
					15	-36.05	-4.72	
					44	36.05	4.72	
46	CG BARRA46.CAR	1.0564 -8.84	.0	.0				
					14	-45.90	-25.75	
					47	45.90	25.75	
47	CG BARRA47.CAR	1.0300 -10.17	29.7	11.6				
					46	-45.33	-24.23	
					48	15.63	12.63	
48	CG BARRA48.CAR	1.0244 -10.24	.0	.0				
					38	15.35	15.08	
					47	-15.56	-12.54	
					49	.21	-2.54	
49	CG BARRA49.CAR	1.0273 -10.37	18.0	8.5				
					13	-29.77	-24.45	
					38	4.06	5.70	
					48	-.21	2.29	
					50	7.92	7.96	
50	CG BARRA50.CAR	1.0112 -10.57	21.0	10.5				
					49	-7.82	-7.81	
					51	-13.18	-2.69	
51	CG BARRA51.CAR	1.0354 -9.19	18.0	5.3				
					10	-31.42	-8.38	
					50	13.42	3.08	
52	CG BARRA52.CAR	.9958 -8.43	4.9	2.2				
					29	-18.59	-4.52	
					53	13.69	2.32	
53	CG BARRA53.C.R	.9831 -9.12	20.0	10.0				
					52	-13.55	-2.12	
					54	-6.45	-1.79	
	CAP/REAT			6.1				
54	CG BARRA54.CAR	.9997 -8.44	4.1	1.4				
					53	6.54	1.89	
					55	-10.64	-3.29	

55	CG BARRA55.CAR	1.0258	-7.41	6.8	3.4			
						9	-17.66	-6.98
						54	10.86	3.58
56	CG BARRA56.CAR	.9779	-13.31	7.6	2.2			
						40	-2.75	-2.89
						41	-6.10	.26
						42	-2.11	.93
						57	3.35	-.50
57	CG BARRA57.CAR	.9733	-13.88	6.7	2.0			
						39	-3.37	-2.53
						56	-3.33	.53

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP DO TRANSFORMADOR ATUAL	MINIMO	MAXIMO
4	18	.968	.900	1.100
4	18	.975	.900	1.100
21	20	1.029	.900	1.100
24	25	.978	.900	1.100
24	25	.979	.900	1.100
24	26	1.046	.900	1.100
7	29	.949	.900	1.100
11	41	.934	.900	1.100
15	45	.948	.900	1.100
14	46	.905	.900	1.100
10	51	.945	.900	1.100
13	49	.905	.900	1.100
11	43	.944	.900	1.100
40	56	.960	.900	1.100
39	57	.973	.900	1.100
9	55	.951	.900	1.100

PERDAS=21.234 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .2129

2.a.3) $F_{\max 8-7} = 88,0$ MW

```
*****
* 2a3.out *
```

```
NUMERO DE BARRA-CARGA= 50
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 55
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 236
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10
```

SISTEMA COM: 57-BARRAS 80-LINHAS 17-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 18 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS			
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	BARRA1.SLAC	1.0502	.00	-325.3	-142.9	2	79.15	82.66

						15	116.24	41.38
						16	57.89	7.07
						17	71.99	11.81
2	CR BARRA2.C.RE	1.0210	-.80	3.0	89.5			
						1	-78.12	-86.10
						3	75.12	-3.36
	REAT.GER.=	-1.5	[LIMITES:MAX=	50. MIN=	-17.]			
3	CR BARRA3.GERA	1.0021	-4.40	-7.0	-6.1			
						2	-73.50	3.77
						4	48.40	2.93
						15	32.11	-5.56
	REAT.GER.=	27.1	[LIMITES:MAX=	60. MIN=	-10.]			
4	CG BARRA4.CARG	.9954	-5.39	.0	.0			
						3	-48.13	-3.96
						5	9.36	.29
						6	7.11	.10
						18	17.90	1.25
						18	13.76	2.32
5	CG BARRA5.CARG	.9884	-6.08	13.0	4.0			
						4	-9.31	-1.45
						6	-3.69	-2.55
6	CR BARRA6.C.RE	.9910	-5.98	75.0	-.5			
						4	-7.09	-1.74
						5	3.70	1.96
						7	-22.56	3.43
						8	-49.05	-3.18
	REAT.GER.=	2.5	[LIMITES:MAX=	25. MIN=	-8.]			
7	CG BARRA7.CARG	.9916	-4.59	.0	.0			
						6	22.67	-4.24
						8	-86.63	-13.45
						29	63.96	17.69
8	GE BARRA8.GERA	1.0148	-1.18	-321.7	-50.4			
						6	49.88	5.06
						7	87.71	18.03
						9	184.09	27.31
9	CR BARRA9.C.RE	.9866	-6.34	121.0	17.7			
						8	-180.75	-13.03
						10	16.43	-5.06
						11	17.88	3.86
						12	.96	-10.25
						13	6.71	-.88
						55	17.77	7.65
	REAT.GER.=	8.3	[LIMITES:MAX=	9. MIN=	-3.]			
10	CG BARRA10.CAR	.9877	-8.05	5.0	2.0			
						9	-16.32	3.41
						12	-20.04	-14.49
						51	31.36	9.08
11	CG BARRA11.CAR	.9782	-7.18	.0	.0			
						9	-17.79	-4.62
						13	-6.24	-5.17
						41	9.23	4.54
						43	14.81	5.25
12	CR BARRA12.GER	1.0110	-6.82	5.0	-59.1			
						9	-.92	6.61
						10	20.21	13.61
						13	17.67	41.54
						16	-13.44	-1.55

REAT.GER.= 83.1 [LIMITES:MAX= 155. MIN= -50.]					17	-28.52	-1.16
13	CG BARRA13.CAR	.9832	-6.97	18.0	2.3		
					9	-6.69	-1.02
					11	6.26	4.32
					12	-17.29	-43.31
					14	2.72	14.47
					15	-32.85	-5.13
					49	29.86	28.38
14	CG BARRA14.CAR	.9763	-6.92	10.5	5.3		
					13	-2.69	-14.90
					15	-54.01	-19.03
					46	46.20	28.63
15	CG BARRA15.CAR	.9966	-5.37	22.0	5.0		
					1	-113.75	-33.80
					3	-31.94	-1.61
					13	33.16	5.00
					14	54.60	20.19
					45	35.93	5.23
16	CG BARRA16.CAR	1.0143	-6.22	43.0	3.0		
					1	-56.48	-3.59
					12	13.48	.59
17	CG BARRA17.CAR	1.0234	-3.99	42.0	8.0		
					1	-70.84	-8.12
					12	28.84	.12
18	CG BARRA18.CAR	1.0179	-9.86	27.2	9.8		
					4	-17.90	.15
					4	-13.76	-1.23
					19	4.46	1.64
CAP/REAT					10.4		
19	CG BARRA19.CAR	.9869	-11.17	3.3	.6		
					18	-4.36	-1.49
					20	1.06	.89
20	CG BARRA20.CAR	.9800	-11.29	2.3	1.0		
					19	-1.05	-.88
					21	-1.25	-.12
21	CG BARRA21.CAR	1.0096	-10.75	.0	.0		
					20	1.25	.13
					22	-1.25	-.13
22	CG BARRA22.CAR	1.0107	-10.67	.0	.0		
					21	1.25	.13
					23	7.33	1.76
					38	-8.58	-1.90
23	CG BARRA23.CAR	1.0097	-10.73	6.3	2.1		
					22	-7.33	-1.75
					24	1.03	-.35
24	CG BARRA24.CAR	1.0083	-10.89	.0	.0		
					23	-1.02	-.08
					25	6.91	1.40
					25	7.19	1.53
					26	-13.07	-2.85
25	CG BARRA25.CAR	1.0156	-15.75	6.3	3.2		
					24	-6.91	-.80
					24	-7.19	-.90
					30	7.80	4.59

CAP/REAT					6.1				
26	CG	BARRA26.CAR	.9670	-10.54	.0	.0	24	13.07	2.94
							27	-13.07	-2.94
27	CG	BARRA27.CAR	.9975	-8.85	9.3	.5	26	13.39	3.42
							28	-22.69	-3.92
28	CG	BARRA28.CAR	1.0155	-7.77	4.6	2.3	27	23.02	4.43
							29	-27.62	-6.73
29	CG	BARRA29.CAR	1.0308	-7.03	17.0	2.6	7	-63.96	-14.79
							28	27.95	7.19
							52	19.01	5.00
30	CG	BARRA30.CAR	.9962	-16.29	3.6	1.8	25	-7.69	-4.43
							31	4.09	2.63
31	CG	BARRA31.CAR	.9698	-16.99	5.8	2.9	30	-4.01	-2.51
							32	-1.79	-3.39
32	CG	BARRA32.CAR	.9822	-16.30	1.6	.8	31	1.80	.42
							33	3.81	1.91
							34	-7.21	-3.13
33	CG	BARRA33.CAR	.9800	-16.33	3.8	1.9	32	-3.80	-1.90
34	CG	BARRA34.CAR	.9618	-11.87	.0	.0	32	7.21	3.81
							35	-7.21	-3.81
35	CG	BARRA35.CAR	.9688	-11.65	6.0	3.0	34	7.25	3.72
							36	-13.25	-6.72
36	CG	BARRA36.CAR	.9784	-11.39	.0	.0	35	13.35	6.77
							37	-16.11	-9.82
							40	2.76	3.05
37	CG	BARRA37.CAR	.9868	-11.21	.0	.0	36	16.22	9.95
							38	-19.59	-12.75
							39	3.37	2.79
38	CG	BARRA38.CAR	1.0128	-10.55	14.0	7.0	22	8.59	1.92
							37	19.95	13.30
							44	-23.03	-3.38
							48	-15.46	-15.59
							49	-4.05	-6.24
39	CG	BARRA39.CAR	.9849	-11.25	.0	.0	37	-3.37	-2.79
							57	3.37	2.79
40	CG	BARRA40.CAR	.9761	-11.41	.0	.0	36	-2.75	-3.04
							56	2.75	3.04

41	CG BARRA41.CAR	1.0120	-11.46	6.3	3.0			
						11	-9.23	-3.72
						42	9.42	3.88
						43	-12.81	-3.15
						56	6.32	-0.01
42	CG BARRA42.CAR	.9795	-12.91	7.1	4.4			
						41	-9.21	-3.53
						56	2.11	-0.87
43	CG BARRA43.CAR	1.0262	-8.54	2.0	1.0			
						11	-14.81	-4.85
						41	12.81	3.85
44	CG BARRA44.CAR	1.0197	-9.81	12.0	1.8			
						38	23.18	.58
						45	-35.18	-2.38
45	CG BARRA45.CAR	1.0449	-7.54	.0	.0			
						15	-35.93	-3.85
						44	35.93	3.85
46	CG BARRA46.CAR	1.0576	-9.01	.0	.0			
						14	-46.20	-26.35
						47	46.20	26.35
47	CG BARRA47.CAR	1.0308	-10.34	29.7	11.6			
						46	-45.62	-24.81
						48	15.92	13.21
48	CG BARRA48.CAR	1.0250	-10.41	.0	.0			
						38	15.61	15.82
						47	-15.84	-13.11
						49	.24	-2.71
49	CG BARRA49.CAR	1.0281	-10.54	18.0	8.5			
						13	-29.86	-25.03
						38	4.11	6.02
						48	-.23	2.46
						50	7.98	8.04
50	CG BARRA50.CAR	1.0119	-10.75	21.0	10.5			
						49	-7.88	-7.88
						51	-13.12	-2.62
51	CG BARRA51.CAR	1.0358	-9.37	18.0	5.3			
						10	-31.36	-8.30
						50	13.36	3.00
52	CG BARRA52.CAR	.9955	-8.62	4.9	2.2			
						29	-18.49	-4.32
						53	13.59	2.12
53	CG BARRA53.CAR	.9831	-9.30	20.0	10.0			
						52	-13.44	-1.93
						54	-6.56	-1.98
	CAP/REAT				6.1			
54	CG BARRA54.CAR	1.0004	-8.64	4.1	1.4			
						53	6.65	2.10
						55	-10.75	-3.50
55	CG BARRA55.CAR	1.0271	-7.62	6.8	3.4			
						9	-17.77	-7.18
						54	10.97	3.78
56	CG BARRA56.CAR	.9781	-13.47	7.6	2.2			
						40	-2.75	-2.83

					41	-6.10	.23
					42	-2.10	.89
					57	3.36	-.49
57	CG BARRA57.CAR	.9735	-14.05	6.7	2.0		
					39	-3.37	-2.52
					56	-3.33	.52

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP DO TRANSFORMADOR ATUAL	MINIMO	MAXIMO
4	18	.968	.900	1.050
4	18	.976	.900	1.050
21	20	1.029	.900	1.050
24	25	.979	.900	1.050
24	25	.979	.900	1.050
24	26	1.044	.900	1.050
7	29	.952	.900	1.050
34	32	.944	.900	1.050
11	41	.935	.900	1.050
15	45	.949	.900	1.050
14	46	.903	.900	1.050
10	51	.947	.900	1.050
13	49	.904	.900	1.050
11	43	.946	.900	1.050
40	56	.960	.900	1.050
39	57	.974	.900	1.050
9	55	.952	.900	1.050

PERDAS=21.150 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .0000

2.b) Restrição entre duas Barras de Carga

2. b.1) $F_{\max 46-47} = 55,0 \text{ MW}$

```

*****
*      2b1.out      *
*****

```

```

NUMERO DE BARRA-CARGA= 50
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 55
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 236
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSAO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

```

SISTEMA COM: 57-BARRAS 80-LINHAS 17-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 19 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS		
BARRA TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL BARRA1.SLAC	1.0410	.00	-270.0	-130.7			
						2	61.97	83.89
						15	95.25	35.00

						16	49.36	3.53
						17	63.45	8.24
2	CR BARRA2.C.RE	1.0126	- .55	3.0	96.3			
						1	-61.09	-87.72
						3	58.09	-8.56
	REAT.GER.=	-8.3	[LIMITES:MAX=	50.	MIN=	-17.]		
3	CR BARRA3.GERA	1.0022	-3.45	-7.0	-17.1			
						2	-57.10	7.24
						4	30.57	7.04
						15	33.53	2.77
	REAT.GER.=	38.1	[LIMITES:MAX=	60.	MIN=	-10.]		
4	CG BARRA4.CARG	.9959	-4.04	.0	.0			
						3	-30.46	-8.57
						5	2.22	2.85
						6	-3.40	2.14
						18	17.89	1.25
						18	13.75	2.33
5	CG BARRA5.CARG	.9899	-4.08	13.0	4.0			
						4	-2.21	-4.10
						6	-10.79	.10
6	CR BARRA6.C.RE	.9929	-3.67	75.0	-.7			
						4	3.41	-3.83
						5	10.83	-.63
						7	-30.61	5.70
						8	-58.63	-5.51
	REAT.GER.=	2.7	[LIMITES:MAX=	25.	MIN=	-8.]		
7	CG BARRA7.CARG	.9931	-1.78	.0	.0			
						6	30.81	-6.05
						8	-98.32	-11.35
						29	67.52	17.41
8	GE BARRA8.GERA	1.0170	2.11	-376.8	-51.1			
						6	59.81	4.17
						7	99.70	17.44
						9	217.24	29.52
9	CR BARRA9.C.RE	.9860	-4.00	121.0	24.0			
						8	-212.63	-8.76
						10	23.20	-7.44
						11	27.68	1.05
						12	7.43	-12.60
						13	16.32	-3.78
						55	17.00	7.51
	REAT.GER.=	2.0	[LIMITES:MAX=	9.	MIN=	-3.]		
10	CG BARRA10.CAR	.9891	-6.43	5.0	2.0			
						9	-22.98	6.30
						12	-14.24	-16.86
						51	32.22	8.56
11	CG BARRA11.CAR	.9777	-5.37	.0	.0			
						9	-27.47	-1.43
						13	2.95	-8.31
						41	9.42	4.52
						43	15.10	5.22
12	CR BARRA12.GER	1.0137	-5.65	5.0	-73.8			
						9	-7.32	9.26
						10	14.37	15.80
						13	13.67	47.94
						16	-5.33	.18
						17	-20.39	.61

REAT.GER.= 97.8 [LIMITE:MAX= 155. MIN= -50.]									
13	CG BARRA13.CAR	.9829	-5.60	18.0	2.3				
						9	-16.19	2.26	
						11	-2.93	7.46	
						12	-13.21	-49.46	
						14	9.23	14.30	
						15	-24.70	-5.97	
						49	29.80	29.11	
14	CG BARRA14.CAR	.9753	-5.73	10.5	5.3				
						13	-9.19	-14.69	
						15	-46.30	-20.04	
						46	44.99	29.43	
15	CG BARRA15.CAR	.9947	-4.43	22.0	5.0				
						1	-93.53	-31.31	
						3	-33.34	-4.88	
						13	24.88	5.42	
						14	46.75	20.78	
						45	33.24	4.99	
16	CG BARRA16.CAR	1.0140	-5.40	43.0	3.0				
						1	-48.33	-1.73	
						12	5.33	-1.27	
17	CG BARRA17.CAR	1.0191	-3.59	42.0	8.0				
						1	-62.55	-5.67	
						12	20.55	-3.33	
18	CG BARRA18.CAR	1.0181	-8.50	27.2	9.8				
						4	-17.89	.14	
						4	-13.75	-1.24	
						19	4.44	1.67	
	CAP/REAT				10.4				
19	CG BARRA19.CAR	.9871	-9.79	3.3	.6				
						18	-4.34	-1.52	
						20	1.04	.92	
20	CG BARRA20.CAR	.9800	-9.91	2.3	1.0				
						19	-1.03	-.91	
						21	-1.27	-.09	
21	CG BARRA21.CAR	1.0094	-9.35	.0	.0				
						20	1.27	.10	
						22	-1.27	-.10	
22	CG BARRA22.CAR	1.0105	-9.27	.0	.0				
						21	1.27	.10	
						23	5.03	2.82	
						38	-6.30	-2.92	
23	CG BARRA23.CAR	1.0096	-9.30	6.3	2.1				
						22	-5.02	-2.81	
						24	-1.28	.71	
24	CG BARRA24.CAR	1.0093	-9.03	.0	.0				
						23	1.28	-1.14	
						25	7.02	1.39	
						25	7.30	1.51	
						26	-15.60	-1.76	
25	CG BARRA25.CAR	1.0164	-13.96	6.3	3.2				
						24	-7.02	-.77	
						24	-7.30	-.86	
						30	8.02	4.53	
	CAP/REAT				6.1				

26	CG BARRA26.CAR	.9661	-8.62	.0	.0	24	15.60	1.87
						27	-15.60	-1.87
27	CG BARRA27.CAR	.9984	-6.44	9.3	.5	26	16.04	2.54
						28	-25.34	-3.04
28	CG BARRA28.CAR	1.0172	-5.19	4.6	2.3	27	25.74	3.67
						29	-30.34	-5.97
29	CG BARRA29.CAR	1.0332	-4.35	17.0	2.6	7	-67.52	-14.21
						28	30.73	6.51
						52	19.79	5.10
30	CG BARRA30.CAR	.9968	-14.53	3.6	1.8	25	-7.91	-4.36
						31	4.31	2.56
31	CG BARRA31.CAR	.9700	-15.30	5.8	2.9	30	-4.23	-2.43
						32	-1.57	-.47
32	CG BARRA32.CAR	.9819	-14.73	1.6	.8	31	1.59	.49
						33	3.81	1.91
						34	-6.99	-3.19
33	CG BARRA33.CAR	.9797	-14.77	3.8	1.9	32	-3.80	-1.90
34	CG BARRA34.CAR	.9621	-10.44	.0	.0	32	6.99	3.85
						35	-6.99	-3.85
35	CG BARRA35.CAR	.9689	-10.23	6.0	3.0	34	7.03	3.75
						36	-13.03	-6.75
36	CG BARRA36.CAR	.9785	-9.98	.0	.0	35	13.13	6.80
						37	-15.63	-9.92
						40	2.51	3.12
37	CG BARRA37.CAR	.9868	-9.81	.0	.0	36	15.74	10.05
						38	-18.91	-12.92
						39	3.17	2.87
38	CG BARRA38.CAR	1.0125	-9.20	14.0	7.0	22	6.30	2.94
						37	19.26	13.45
						44	-20.48	-.61
						48	-14.81	-16.39
						49	-4.27	-6.39
39	CG BARRA39.CAR	.9849	-9.84	.0	.0	37	-3.17	-2.86
						57	3.17	2.86
40	CG BARRA40.CAR	.9762	-10.00	.0	.0	36	-2.50	-3.11
						56	2.50	3.11
41	CG BARRA41.CAR	1.0121	-9.74	6.3	3.0			

						11	-9.42	-3.66
						42	9.67	3.86
						43	-13.10	-3.08
						56	6.56	-1.11
42	CG BARRA42.CAR	.9792	-11.25	7.1	4.4			
						41	-9.45	-3.48
						56	2.35	-1.92
43	CG BARRA43.CAR	1.0260	-6.77	2.0	1.0			
						11	-15.10	-4.81
						41	13.10	3.81
44	CG BARRA44.CAR	1.0188	-8.54	12.0	1.8			
						38	20.60	.75
						45	-32.60	-2.55
45	CG BARRA45.CAR	1.0425	-6.45	.0	.0			
						15	-33.24	-3.80
						44	33.24	3.80
46	CG BARRA46.CAR	1.0578	-7.76	.0	.0			
						14	-44.99	-27.20
						47	44.99	27.20
47	CG BARRA47.CAR	1.0307	-9.04	29.7	11.6			
						46	-44.42	-25.69
						48	14.72	14.09
48	CG BARRA48.CAR	1.0249	-9.09	.0	.0			
						38	14.96	16.61
						47	-14.64	-14.00
						49	-.32	-2.61
49	CG BARRA49.CAR	1.0283	-9.18	18.0	8.5			
						13	-29.80	-25.68
						38	4.34	6.18
						48	.32	2.37
						50	7.14	8.63
50	CG BARRA50.CAR	1.0120	-9.30	21.0	10.5			
						49	-7.05	-8.48
						51	-13.95	-2.02
51	CG BARRA51.CAR	1.0358	-7.78	18.0	5.3			
						10	-32.22	-7.75
						50	14.22	2.45
52	CG BARRA52.CAR	.9968	-6.00	4.9	2.2			
						29	-19.23	-4.37
						53	14.33	2.17
53	CG BARRA53.CAR	.9838	-6.73	20.0	10.0			
						52	-14.16	-1.96
	CAP/REAT				6.1	54	-5.84	-1.94
54	CG BARRA54.CAR	.9996	-6.15	4.1	1.4			
						53	5.91	2.03
						55	-10.01	-3.43
55	CG BARRA55.CAR	1.0248	-5.22	6.8	3.4			
						9	-17.00	-7.09
						54	10.20	3.69
56	CG BARRA56.CAR	.9775	-11.86	7.6	2.2			
						40	-2.50	-2.91
						41	-6.32	.34

						42	-2.33	.94
						57	3.56	-.57
57	CG	BARRA57.CAR	.9727	-12.48	6.7	2.0		
						39	-3.17	-2.61
						56	-3.53	.61

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP ATUAL	DO MINIMO	TRANSFORMADOR MAXIMO
4	18	.968	.900	1.050
4	18	.976	.900	1.050
21	20	1.029	.900	1.050
24	25	.979	.900	1.050
24	25	.980	.900	1.050
24	26	1.046	.900	1.050
7	29	.951	.900	1.050
34	32	.944	.900	1.050
11	41	.935	.900	1.050
15	45	.950	.900	1.050
14	46	.902	.900	1.050
10	51	.949	.900	1.050
13	49	.903	.900	1.050
11	43	.945	.900	1.050
40	56	.960	.900	1.050
39	57	.973	.900	1.050
9	55	.953	.900	1.050

PERDAS=20.992 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .3156

2.b.2) $F_{\max 46-47} = 50,0 \text{ MW}$

```

*****
*      2b2.out      *
*****

```

```

NUMERO DE BARRA-CARGA= 50
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 55
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 236
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSAO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

```

SISTEMA COM: 57-BARRAS 80-LINHAS 17-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 20 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS			
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	BARRA1.SLAC	1.0409	.00	-270.3	-130.6	2	62.03	83.81
							15	95.33	34.99
							16	49.40	3.52
							17	63.49	8.24

2	CR	BARRA2.C.RE	1.0126	-.55	3.0	96.2	1	-61.16	-87.65

REAT.GER.= -8.2 [LIMITES:MAX= 50. MIN= -17.]					3	58.16	-8.56	
3	CR BARRA3.GERA	1.0022	-3.45	-7.0	-17.0	2	-57.16	7.25
						4	30.64	7.01
						15	33.52	2.78
REAT.GER.= 38.0 [LIMITES:MAX= 60. MIN= -10.]								
4	CG BARRA4.CARG	.9959	-4.04	.0	.0	3	-30.53	-8.54
						5	2.25	2.84
						6	-3.36	2.12
						18	17.89	1.25
						18	13.75	2.33
5	CG BARRA5.CARG	.9899	-4.09	13.0	4.0	4	-2.24	-4.09
						6	-10.76	.09
6	CR BARRA6.C.RE	.9929	-3.68	75.0	-.7	4	3.37	-3.81
						5	10.80	-.62
						7	-30.58	5.69
						8	-58.59	-.52
REAT.GER.= 2.7 [LIMITES:MAX= 25. MIN= -8.]								
7	CG BARRA7.CARG	.9931	-1.79	.0	.0	6	30.77	-6.05
						8	-98.28	-11.36
						29	67.50	17.41
8	GE BARRA8.GERA	1.0170	2.09	-376.5	-51.1	6	59.77	4.17
						7	99.66	17.44
						9	217.10	29.53
9	CR BARRA9.C.RE	.9860	-4.01	121.0	24.0	8	-212.50	-8.79
						10	23.17	-7.44
						11	27.64	1.06
						12	7.40	-12.59
						13	16.28	-3.77
						55	17.01	7.51
REAT.GER.= 2.0 [LIMITES:MAX= 9. MIN= -3.]								
10	CG BARRA10.CAR	.9891	-6.43	5.0	2.0	9	-22.96	6.29
						12	-14.26	-16.85
						51	32.22	8.56
11	CG BARRA11.CAR	.9777	-5.38	.0	.0	9	-27.43	-1.44
						13	2.91	-8.30
						41	9.42	4.52
						43	15.10	5.22
12	CR BARRA12.GER	1.0137	-5.66	5.0	-73.8	9	-7.29	9.25
						10	14.39	15.80
						13	13.68	47.93
						16	-5.36	.20
						17	-20.42	.62
REAT.GER.= 97.8 [LIMITES:MAX= 155. MIN= -50.]								
13	CG BARRA13.CAR	.9829	-5.61	18.0	2.3	9	-16.15	2.25
						11	-2.90	7.45

						12	-13.23	-49.45
						14	9.20	14.31
						15	-24.73	-5.95
						49	29.80	29.11
14	CG BARRA14.CAR	.9753	-5.73	10.5	5.3			
						13	-9.16	-14.70
						15	-46.33	-20.03
						46	44.99	29.43
15	CG BARRA15.CAR	.9947	-4.43	22.0	5.0			
						1	-93.61	-31.28
						3	-33.34	-4.89
						13	24.91	5.41
						14	46.79	20.77
						45	33.25	4.99
16	CG BARRA16.CAR	1.0140	-5.41	43.0	3.0			
						1	-48.36	-1.72
						12	5.36	-1.28
17	CG BARRA17.CAR	1.0191	-3.59	42.0	8.0			
						1	-62.59	-5.66
						12	20.59	-2.34
18	CG BARRA18.CAR	1.0181	-8.50	27.2	9.8			
						4	-17.89	.14
						4	-13.75	-1.24
						19	4.44	1.67
	CAP/REAT			10.4				
19	CG BARRA19.CAR	.9871	-9.80	3.3	.6			
						18	-4.34	-1.52
						20	1.04	.92
20	CG BARRA20.CAR	.9800	-9.91	2.3	1.0			
						19	-1.03	-.91
						21	-1.27	-.09
21	CG BARRA21.CAR	1.0094	-9.36	.0	.0			
						20	1.27	.10
						22	-1.27	-.10
22	CG BARRA22.CAR	1.0105	-9.28	.0	.0			
						21	1.27	.10
						23	5.04	2.81
						38	-6.30	-2.92
23	CG BARRA23.CAR	1.0096	-9.31	6.3	2.1			
						22	-5.03	-2.81
						24	-1.27	.71
24	CG BARRA24.CAR	1.0093	-9.04	.0	.0			
						23	1.27	-1.13
						25	7.02	1.39
						25	7.30	1.51
						26	-15.59	-1.76
25	CG BARRA25.CAR	1.0164	-13.97	6.3	3.2			
						24	-7.02	-.77
						24	-7.30	-.86
						30	8.02	4.53
	CAP/REAT			6.1				
26	CG BARRA26.CAR	.9661	-8.62	.0	.0			
						24	15.59	1.88
						27	-15.59	-1.88

27	CG BARRA27.CAR	.9984	-6.46	9.3	.5	26	16.03	2.55
						28	-25.33	-3.05
28	CG BARRA28.CAR	1.0172	-5.20	4.6	2.3	27	25.73	3.67
						29	-30.33	-5.97
29	CG BARRA29.CAR	1.0332	-4.36	17.0	2.6	7	-67.50	-14.22
						28	30.72	6.51
						52	19.79	5.10
30	CG BARRA30.CAR	.9968	-14.54	3.6	1.8	25	-7.91	-4.36
						31	4.31	2.56
31	CG BARRA31.CAR	.9700	-15.31	5.8	2.9	30	-4.23	-2.43
						32	-1.57	-.47
32	CG BARRA32.CAR	.9819	-14.74	1.6	.8	31	1.59	.49
						33	3.81	1.91
						34	-6.99	-3.19
33	CG BARRA33.CAR	.9797	-14.78	3.8	1.9	32	-3.80	-1.90
34	CG BARRA34.CAR	.9621	-10.45	.0	.0	32	6.99	3.85
						35	-6.99	-3.85
35	CG BARRA35.CAR	.9689	-10.24	6.0	3.0	34	7.03	3.75
						36	-13.03	-6.75
36	CG BARRA36.CAR	.9785	-9.99	.0	.0	35	13.13	6.80
						37	-15.63	-9.92
						40	2.51	3.12
37	CG BARRA37.CAR	.9868	-9.82	.0	.0	36	15.74	10.05
						38	-18.91	-12.91
						39	3.17	2.87
38	CG BARRA38.CAR	1.0125	-9.21	14.0	7.0	22	6.31	2.93
						37	19.26	13.45
						44	-20.49	-.61
						48	-14.82	-16.38
						49	-4.27	-6.39
39	CG BARRA39.CAR	.9849	-9.85	.0	.0	37	-3.17	-2.86
						57	3.17	2.86
40	CG BARRA40.CAR	.9762	-10.00	.0	.0	36	-2.50	-3.11
						56	2.50	3.11
41	CG BARRA41.CAR	1.0121	-9.75	6.3	3.0	11	-9.42	-3.66
						42	9.66	3.86
						43	-13.10	-3.08
						56	6.55	-.11

42	CG BARRA42.CAR	.9792	-11.26	7.1	4.4			
						41	-9.45	-3.48
						56	2.35	-.92
43	CG BARRA43.CAR	1.0260	-6.77	2.0	1.0			
						11	-15.10	-4.81
						41	13.10	3.81
44	CG BARRA44.CAR	1.0188	-8.55	12.0	1.8			
						38	20.61	.74
						45	-32.61	-2.54
45	CG BARRA45.CAR	1.0425	-6.45	.0	.0			
						15	-33.25	-3.80
						44	33.25	3.80
46	CG BARRA46.CAR	1.0578	-7.77	.0	.0			
						14	-44.99	-27.20
						47	44.99	27.20
47	CG BARRA47.CAR	1.0307	-9.05	29.7	11.6			
						46	-44.42	-25.69
						48	14.72	14.09
48	CG BARRA48.CAR	1.0249	-9.09	.0	.0			
						38	14.96	16.61
						47	-14.65	-14.00
						49	-.31	-2.61
49	CG BARRA49.CAR	1.0283	-9.19	18.0	8.5			
						13	-29.80	-25.68
						38	4.34	6.18
						48	.32	2.37
						50	7.15	8.63
50	CG BARRA50.CAR	1.0120	-9.31	21.0	10.5			
						49	-7.05	-8.48
						51	-13.95	-2.02
51	CG BARRA51.CAR	1.0358	-7.78	18.0	5.3			
						10	-32.22	-7.75
						50	14.22	2.45
52	CG BARRA52.CAR	.9968	-6.01	4.9	2.2			
						29	-19.22	-4.37
						53	14.32	2.17
53	CG BARRA53.C.R	.9838	-6.74	20.0	10.0			
						52	-14.16	-1.96
						54	-5.84	-1.94
	CAP/REAT				6.1			
54	CG BARRA54.CAR	.9996	-6.16	4.1	1.4			
						53	5.91	2.03
						55	-10.01	-3.43
55	CG BARRA55.CAR	1.0248	-5.23	6.8	3.4			
						9	-17.01	-7.08
						54	10.21	3.68
56	CG BARRA56.CAR	.9775	-11.87	7.6	2.2			
						40	-2.50	-2.91
						41	-6.32	.34
						42	-2.33	.94
						57	3.56	-.57
57	CG BARRA57.CAR	.9727	-12.49	6.7	2.0			
						39	-3.17	-2.60

56 -3.53 .60

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA INICIAL	BARRA FINAL	TAP DO TRANSFORMADOR ATUAL	MINIMO	MAXIMO
4	18	.968	.900	1.050
4	18	.976	.900	1.050
21	20	1.029	.900	1.050
24	25	.979	.900	1.050
24	25	.980	.900	1.050
24	26	1.046	.900	1.050
7	29	.951	.900	1.050
34	32	.944	.900	1.050
11	41	.935	.900	1.050
15	45	.950	.900	1.050
14	46	.902	.900	1.050
10	51	.949	.900	1.050
13	49	.903	.900	1.050
11	43	.945	.900	1.050
40	56	.960	.900	1.050
39	57	.973	.900	1.050
9	55	.953	.900	1.050

PERDAS=20.989 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .1717

2.b.3) $F_{\max 46-47} = 45,0 \text{ MW}$

* 2b3.out *

NUMERO DE BARRA-CARGA= 50
NUMERO DE BARRAS-CARGA E CONTROLE DE REATIVO= 55
NUMERO DE BARRA DE GERACAO= 2
NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ= 236
TOLERANCIA POTENCIA ATIVA= .0100
TOLERANCIA POTENCIA REATIVA= .0400
LIMITES DE TENSÃO(p.u.):MIN.= .90 MAX.=1.10

SISTEMA COM: 57-BARRAS 80-LINHAS 17-TRAFO COM TAP VARIÁVEL 0-TRAFO COM TAP FIXO

CONVERGENCIA EM 20 ITERACOES

ESTADO DO SISTEMA						FLUXOS NAS LINHAS			
BARRA	TP	NOME	TENSAO	ANG.	MW	MVAR	BARRA	MW	MVAR
1	SL	BARRA1.SLAC	1.0409	.00	-270.3	-130.5	2	62.05	83.79
							15	95.36	34.99
							16	49.41	3.52
							17	63.50	8.24

2	CR	BARRA2.C.RE	1.0126	-.55	3.0	96.2	1	-61.17	-87.63
							3	58.17	-8.55
		REAT.GER.=	-8.2	[LIMITES:MAX=	50.	MIN=	-17.]		

3	CR BARRA3.GERA	1.0022	-3.45	-7.0	-17.0			
						2	-57.18	7.24
						4	30.66	7.00
						15	33.52	2.77
	REAT.GER.=	38.0	[LIMITES:MAX=	60. MIN=	-10.]			
4	CG BARRA4.CARG	.9959	-4.05	.0	.0			
						3	-30.55	-8.53
						5	2.26	2.83
						6	-3.35	2.11
						18	17.89	1.25
						18	13.75	2.33
5	CG BARRA5.CARG	.9899	-4.09	13.0	4.0			
						4	-2.25	-4.08
						6	-10.75	.08
6	CR BARRA6.C.RE	.9929	-3.68	75.0	-.7			
						4	3.36	-3.81
						5	10.79	-.61
						7	-30.57	5.69
						8	-58.58	-.52
	REAT.GER.=	2.7	[LIMITES:MAX=	25. MIN=	-8.]			
7	CG BARRA7.CARG	.9931	-1.80	.0	.0			
						6	30.77	-6.04
						8	-98.27	-11.37
						29	67.50	17.41
8	GE BARRA8.GERA	1.0170	2.09	-376.5	-51.2			
						6	59.76	4.17
						7	99.64	17.45
						9	217.07	29.55
9	CR BARRA9.C.RE	.9860	-4.01	121.0	24.0			
						8	-212.47	-8.82
						10	23.17	-7.44
						11	27.63	1.06
						12	7.40	-12.59
						13	16.27	-3.77
						55	17.01	7.51
	REAT.GER.=	2.0	[LIMITES:MAX=	9. MIN=	-3.]			
10	CG BARRA10.CAR	.9891	-6.43	5.0	2.0			
						9	-22.95	6.29
						12	-14.27	-16.85
						51	32.21	8.56
11	CG BARRA11.CAR	.9777	-5.38	.0	.0			
						9	-27.42	-1.44
						13	2.90	-8.29
						41	9.42	4.52
						43	15.10	5.22
12	CR BARRA12.GER	1.0137	-5.66	5.0	-73.8			
						9	-7.28	9.25
						10	14.40	15.80
						13	13.69	47.93
						16	-5.37	.20
						17	-20.43	.62
	REAT.GER.=	97.8	[LIMITES:MAX=	155. MIN=	-50.]			
13	CG BARRA13.CAR	.9829	-5.61	18.0	2.3			
						9	-16.14	2.24
						11	-2.89	7.45
						12	-13.23	-49.45
						14	9.19	14.31
						15	-24.74	-5.95

						49	29.80	29.10
14	CG BARRA14.CAR	.9753	-5.73	10.5	5.3	13	-9.15	-14.70
						15	-46.34	-20.03
						46	44.99	29.43
15	CG BARRA15.CAR	.9947	-4.44	22.0	5.0	1	-93.63	-31.28
						3	-33.34	-4.88
						13	24.92	5.40
						14	46.80	20.77
						45	33.25	4.99
16	CG BARRA16.CAR	1.0140	-5.41	43.0	3.0	1	-48.37	-1.72
						12	5.37	-1.28
17	CG BARRA17.CAR	1.0191	-3.59	42.0	8.0	1	-62.60	-5.66
						12	20.60	-2.34
18	CG BARRA18.CAR	1.0181	-8.50	27.2	9.8	4	-17.89	.14
						4	-13.75	-1.24
						19	4.44	1.67
	CAP/REAT			10.4				
19	CG BARRA19.CAR	.9870	-9.80	3.3	.6	18	-4.34	-1.52
						20	1.04	.92
20	CG BARRA20.CAR	.9800	-9.91	2.3	1.0	19	-1.03	-.91
						21	-1.27	-.09
21	CG BARRA21.CAR	1.0094	-9.36	.0	.0	20	1.27	.10
						22	-1.27	-.10
22	CG BARRA22.CAR	1.0105	-9.28	.0	.0	21	1.27	.11
						23	5.04	2.81
						38	-6.31	-2.92
23	CG BARRA23.CAR	1.0096	-9.31	6.3	2.1	22	-5.04	-2.81
						24	-1.26	.71
24	CG BARRA24.CAR	1.0093	-9.04	.0	.0	23	1.27	-1.13
						25	7.02	1.39
						25	7.30	1.51
						26	-15.59	-1.77
25	CG BARRA25.CAR	1.0164	-13.97	6.3	3.2	24	-7.02	-.77
						24	-7.30	-.86
						30	8.02	4.53
	CAP/REAT			6.1				
26	CG BARRA26.CAR	.9661	-8.63	.0	.0	24	15.59	1.88
						27	-15.59	-1.88
27	CG BARRA27.CAR	.9984	-6.46	9.3	.5	26	16.03	2.55
						28	-25.33	-3.05

28	CG BARRA28.CAR	1.0172	-5.20	4.6	2.3	27	25.73	3.67
						29	-30.33	-5.97
29	CG BARRA29.CAR	1.0332	-4.37	17.0	2.6	7	-67.50	-14.22
						28	30.71	6.52
						52	19.79	5.10
30	CG BARRA30.CAR	.9968	-14.54	3.6	1.8	25	-7.91	-4.36
						31	4.31	2.56
31	CG BARRA31.CAR	.9700	-15.31	5.8	2.9	30	-4.23	-2.43
						32	-1.57	-1.47
32	CG BARRA32.CAR	.9819	-14.74	1.6	.8	31	1.59	.49
						33	3.81	1.91
						34	-6.99	-3.19
33	CG BARRA33.CAR	.9797	-14.78	3.8	1.9	32	-3.80	-1.90
34	CG BARRA34.CAR	.9621	-10.45	.0	.0	32	6.99	3.85
						35	-6.99	-3.85
35	CG BARRA35.CAR	.9689	-10.24	6.0	3.0	34	7.03	3.75
						36	-13.03	-6.75
36	CG BARRA36.CAR	.9785	-9.99	.0	.0	35	13.13	6.80
						37	-15.64	-9.92
						40	2.51	3.12
37	CG BARRA37.CAR	.9868	-9.82	.0	.0	36	15.74	10.05
						38	-18.91	-12.91
						39	3.17	2.87
38	CG BARRA38.CAR	1.0125	-9.21	14.0	7.0	22	6.32	2.93
						37	19.26	13.45
						44	-20.49	-1.60
						48	-14.82	-16.38
						49	-4.27	-6.39
39	CG BARRA39.CAR	.9849	-9.85	.0	.0	37	-3.17	-2.86
						57	3.17	2.86
40	CG BARRA40.CAR	.9762	-10.00	.0	.0	36	-2.50	-3.11
						56	2.50	3.11
41	CG BARRA41.CAR	1.0121	-9.75	6.3	3.0	11	-9.42	-3.66
						42	9.66	3.86
						43	-13.10	-3.08
						56	6.55	-1.11
42	CG BARRA42.CAR	.9792	-11.26	7.1	4.4	41	-9.45	-3.48
						56	2.35	-1.92

43	CG BARRA43.CAR	1.0260	-6.78	2.0	1.0	11	-15.10	-4.81
						41	13.10	3.81
44	CG BARRA44.CAR	1.0188	-8.55	12.0	1.8	38	20.61	.74
						45	-32.61	-2.54
45	CG BARRA45.CAR	1.0425	-6.45	.0	.0	15	-33.25	-3.80
						44	33.25	3.80
46	CG BARRA46.CAR	1.0578	-7.77	.0	.0	14	-44.99	-27.20
						47	44.99	27.20
47	CG BARRA47.CAR	1.0307	-9.05	29.7	11.6	46	-44.42	-25.69
						48	14.72	14.09
48	CG BARRA48.CAR	1.0249	-9.10	.0	.0	38	14.97	16.61
						47	-14.65	-14.00
						49	-.31	-2.61
49	CG BARRA49.CAR	1.0283	-9.19	18.0	8.5	13	-29.80	-25.67
						38	4.33	6.18
						48	.32	2.37
						50	7.15	8.63
50	CG BARRA50.CAR	1.0120	-9.31	21.0	10.5	49	-7.05	-8.48
						51	-13.95	-2.02
51	CG BARRA51.CAR	1.0358	-7.79	18.0	5.3	10	-32.21	-7.75
						50	14.21	2.45
52	CG BARRA52.CAR	.9968	-6.02	4.9	2.2	29	-19.22	-4.37
						53	14.32	2.17
53	CG BARRA53.C.R	.9838	-6.74	20.0	10.0	52	-14.16	-1.96
	CAP/REAT				6.1	54	-5.84	-1.94
54	CG BARRA54.CAR	.9996	-6.17	4.1	1.4	53	5.91	2.03
						55	-10.01	-3.43
55	CG BARRA55.CAR	1.0248	-5.23	6.8	3.4	9	-17.01	-7.08
						54	10.21	3.68
56	CG BARRA56.CAR	.9775	-11.87	7.6	2.2	40	-2.50	-2.91
						41	-6.32	.34
						42	-2.33	.94
						57	3.56	-.57
57	CG BARRA57.CAR	.9727	-12.49	6.7	2.0	39	-3.17	-2.60
						56	-3.53	.60

DADOS DOS TRANSFORMADORES DE TAP VARIÁVEL

BARRA		TAP DO TRANSFORMADOR		
INICIAL	FINAL	ATUAL	MINIMO	MAXIMO
4	18	.968	.900	1.050
4	18	.976	.900	1.050
21	20	1.029	.900	1.050
24	25	.979	.900	1.050
24	25	.980	.900	1.050
24	26	1.046	.900	1.050
7	29	.951	.900	1.050
34	32	.944	.900	1.050
11	41	.935	.900	1.050
15	45	.950	.900	1.050
14	46	.902	.900	1.050
10	51	.949	.900	1.050
13	49	.903	.900	1.050
11	43	.945	.900	1.050
40	56	.960	.900	1.050
39	57	.973	.900	1.050
9	55	.953	.900	1.050

PERDAS=20.988 (MW)

MARGEM DE SEGURANCA= .0000