SENSIBILIDADE EM FLUXO DE POTÊNCIA ÓTIMO

Edmarcio Antonio Belati

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

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

São Carlos
2003

*“O que vale na vida não é o ponto
de partida e sim a caminhada.
Caminhando e semeando, no fim
terás o que colher.”*

Cora Coralina

*Agradeço a Deus por me dar
saúde e forças para finalizar mais
uma etapa da minha vida e
coragem para continuar.*

*Dedico aos meus pais e à minha
irmã pelo apoio e carinho durante
esta etapa da minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Geraldo Roberto Martins da Costa, por sua valiosa orientação, paciência, disponibilidade e amizade durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Professora Dr.^a Edméa Cássia Baptista, pelo “apoio matemático”, pela amizade e companheirismo.

Aos amigos do LOSEP: Alessandra, Vanusa, Thales, Cristiano, Sandra, Sereno, Claudinho; e aos do Departamento de Engenharia Elétrica, pela valiosa convivência.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica da EESC-USP-São Carlos, pela colaboração e atenção.

A todos os amigos e amigas de república, da cidade e da EESC que conviveram comigo durante esse período, torcendo, apoiando e divertindo, meus agradecimentos.

À FAPESP pelo apoio financeiro, indispensável à realização deste trabalho.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	HISTÓRICO.....	5
2.1	HISTÓRICO DO PROBLEMA DE FLUXO DE POTÊNCIA ÓTIMO	5
2.2	HISTÓRICO DE SENSIBILIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA	11
3	FLUXO DE POTÊNCIA ÓTIMO.....	18
3.1	INTRODUÇÃO	18
3.2	O PROBLEMA DE FLUXO DE POTÊNCIA ÓTIMO	18
3.3	METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO APLICADA AO PROBLEMA DE FPO	21
3.4	A FUNÇÃO LAGRANGIANA AUMENTADA BARREIRA LOGARÍTMICA.....	22
3.5	O MÉTODO DA FUNÇÃO LAGRANGIANA AUMENTADA- BARREIRA LOGARÍTMICA	25
3.6	ALGORITMO.....	30
3.7	TÉCNICAS DE ESPARSIDADE.....	31
3.8	IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL.....	32
4	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	36
4.1	INTRODUÇÃO	36
4.2	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DA SENSIBILIDADE UTILIZADA.....	37
4.3	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SFPO.....	40
4.3.1	OBTENÇÃO DO PONTO ÓTIMO	41
4.3.2	ESTIMAÇÃO DO NOVO PONTO VIA SFPO	43
4.3.3	VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA SFPO	44

5	SENSIBILIDADE APLICADA AO PROBLEMA DE FPO	47
5.1	INTRODUÇÃO	47
5.2	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SFPO AO PROBLEMA DE FLUXO DE POTÊNCIA ÓTIMO	47
5.3	RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE FLUXO DE POTÊNCIA ÓTIMO PERTURBADO VIA SFPO	51
5.4	TÉCNICA DE ESPARSIDADE UTILIZADA	51
5.5	IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL	53
6	RESULTADOS NUMÉRICOS	56
6.1	INTRODUÇÃO	56
6.2	EXEMPLO 1: SISTEMA 3 BARRAS.....	57
6.3	EXEMPLO 2: SISTEMA IEEE 14 BARRAS.....	67
6.4	EXEMPLO 3: SISTEMA IEEE 30 BARRAS.....	82
6.5	EXEMPLO 4: SISTEMA CESP 53 BARRAS.....	85
6.6	EXEMPLO 5: SISTEMA IEEE 118 BARRAS.....	88
6.7	EXEMPLO 6: SISTEMA IEEE 162 BARRAS.....	90
6.8	EXEMPLO 6: SISTEMA IEEE 300 BARRAS.....	90
6.9	EXEMPLO 7: SISTEMA 9 BARRAS.....	92
7	CONCLUSÕES.....	97
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
	APÊNDICE A – BANCO DE DADOS E TABELAS DE CONVERGÊNCIA DOS SISTEMAS ELÉTRICOS UTILIZADOS	
	APÊNDICE B – RESULTADOS OBTIDOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Módulos do programa do Método da Função Lagrangiana Aumentada- Barreira Logarítmica, aplicado ao problema de FPO.....	33
Figura 4.1 – Solução ótima do problema, $\varepsilon_1 = 0$	42
Figura 4.2 – Solução do problema para $\varepsilon_1 = 0,02$	44
Figura 4.3 – Solução do problema para $\varepsilon_1 = 0,10$	45
Figura 4.4 – Solução do problema com $\varepsilon_1 = 0,20$	46
Figura 5.1 – Módulos do programa da metodologia SFPO	54
Figura 6.1 – Sistema 3 barras	58
Figura 6.2 – Sistema 14 barras	68
Figura 6.3 – Perdas de potência ativa na transmissão.....	69
Figura 6.4 – Ângulo de fase na barra 2.....	69
Figura 6.5 – Ângulo de fase na barra 3.....	70
Figura 6.6 – Ângulo de fase na barra 4.....	70
Figura 6.7 – Ângulo de fase na barra 5.....	70
Figura 6.8 – Ângulo de fase na barra 6.....	71
Figura 6.9 – Ângulo de fase na barra 7.....	71
Figura 6.10 – Ângulo de fase na barra 8.....	71
Figura 6.11 – Ângulo de fase na barra 9.....	72
Figura 6.12 – Ângulo de fase na barra 10.....	72
Figura 6.13 – Ângulo de fase na barra 11	72
Figura 6.14 – Ângulo de fase na barra 12.....	73
Figura 6.15 – Ângulo de fase na barra 13.....	73
Figura 6.16 – Ângulo de fase na barra 14.....	73
Figura 6.17 – Magnitude da tensão na barra 1	74
Figura 6.18 – Magnitude da tensão na barra 2	74
Figura 6.19 – Magnitude da tensão na barra 3	75
Figura 6.20 – Magnitude da tensão na barra 4	75
Figura 6.21 – Magnitude da tensão na barra 5	75

Figura 6.22 – Magnitude da tensão na barra 6	76
Figura 6.23 – Magnitude da tensão na barra 7	76
Figura 6.24 – Magnitude da tensão na barra 8	76
Figura 6.25 – Magnitude da tensão na barra 9	77
Figura 6.26 – Magnitude da tensão na barra 10	77
Figura 6.27 – Magnitude da tensão na barra 11	77
Figura 6.28 – Magnitude da tensão na barra 12	78
Figura 6.29 – Magnitude da tensão na barra 13	78
Figura 6.30 – Magnitude da tensão na barra 14	78
Figura 6.31 – Geração de potência reativa na barra 2	79
Figura 6.32 – Geração de potência reativa na barra 3	80
Figura 6.33 – Geração de potência reativa na barra 6	80
Figura 6.34 – Geração de potência reativa na barra 8	80
Figura 6.35 – Maior erro da potência ativa e reativa	81
Figura 6.36 – Sistema IEEE 30 barras	82
Figura 6.37 – Sistema CESP 53 barras	85
Figura 6.38 – Sistema IEEE 118 barras	89
Figura 6.39 – Sistema de 9 barras	93

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1 – Legenda de Símbolos	41
TABELA 4.2 – Solução ótima do problema para $\epsilon_1 = 0$	42
TABELA 4.3 – Soluções pós-perturbação, $\epsilon_1 = 0,02$	44
TABELA 4.4 – Soluções pós-perturbação para $\epsilon_1 = 0,10$	45
TABELA 4.5 – Soluções pós-perturbação para $\epsilon_1 = 0.20$	46
TABELA 6.1 – Condição inicial do sistema 3 barras	58
TABELA 6.2 – Limite das variáveis do sistema 3 barras.....	58
TABELA 6.3 – Variáveis primais, geração de potência reativa e perdas na transmissão obtidas via FPO para $(\epsilon=0,0)$	58
TABELA 6.4 – Variáveis duais obtidas via FPO.....	59
TABELA 6.5 – Alterações nos parâmetros da barras 3.....	65
TABELA 6.6 – Variáveis primais e geração de potência reativa após a perturbação.....	67
TABELA 6.7 – Variáveis duais após a perturbação.....	67
TABELA 6.8 – Solução ótima do sistema 30 barras $(\epsilon=0,0)$ usada pela SFPO	83
TABELA 6.9 – Solução do sistema 30 barras estimada pela SFPO após a perturbação	84
TABELA 6.10 – Solução ótima do sistema CESP $(\epsilon=0,0)$ usada pela SFPO	86
TABELA 6.10 – Solução do sistema CESP estimada pela SFPO após a perturbação.....	87
TABELA 6.11 – Análise de sensibilidade da injeção de potência reativa no sistema em relação ao aumento da carga	91
TABELA 6.12 – Solução ótima do sistema de 9 barras $(\epsilon=0,0)$ usada pela SFPO....	94
TABELA 6.13 – Solução do sistema de 9 barras estimada pela SFPO após a perturbação.....	94
TABELA 6.14 – Comparação das variáveis primais, obtidas via DOPA e via SFPO para o problema perturbado	95
TABELA 6.15 – Comparação dos fluxos de potência ativa e reativa nas linhas, obtidos via DOPA e via SFPO para o problema perturbado	95

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

SEP – Sistema Elétrico de Potência;
FPO – Fluxo de Potência Ótimo;
KKT – Karush-Kuhn-Tucker;
DE – Despacho Econômico;
UPFC – Unified Power Flow Controller;
FACTs – Flexible AC Transmission Systems;
SFPO – Sensibilidade Aplicada ao Problema de Fluxo de Potência Ótimo;
PIQM – Pontos Interiores Quadráticos Melhorado;
MW – Mega Watts;
MVar – Mega Volt Ampere Reativo;
AC – Corrente Alternada;
NBCCR – Número de Barras de Carga e Controle de Reativo;
NBC – Número de Barra de Carga;
NBCR – Número de Barras de Controle de Reativo;
NB – Número de Barras;
NT – Número de Transformadores;
PNL – Problema de Programação Não Linear;
PV – Barra de Controle de Reativo;
PQ – Barra de Carga;
CAG – Controlador Automático de Geração;
IEEE – International Electrical and Electronics Engineers;
CESP – Companhia Energética de São Paulo;
p.u. – por unidade;
PECO – Philadelphia Electric Company.

LISTA DE SÍMBOLOS

Ω_k – Conjunto de barras vizinhas à barra K .

V_k – Tensão da barra k ;

θ_k – Ângulo de tensão nodal da barra k ;

t_k – Tap k do transformador da k ;

P_k – Potência ativa líquida (geração menos carga) na barra k ;

Q_k – Potência reativa líquida na barra k ;

Q_k^{sh} – Componente de injeção de potência reativa devido ao elemento *shunt* da barra k ;

P_{km} – Fluxo de potência ativa no ramo $k - m$;

Q_{km} – Fluxo de potência reativa no ramo $k - m$;

g_{km} – Condutância série do ramo $k - m$;

x – Vetor das variáveis primais do problema;

$g(x)$ – Vetor das equações do fluxo de potência;

$h(x)$ – Vetor das equações funcionais do fluxo de potência;

$f(x)$ – Função objetivo;

z – Variáveis de folga;

su – Variáveis de folga;

si – Variáveis de excesso;

δ – Fator de barreira;

c – Fator de barreira;

λ – Vetor dos multiplicadores de Lagrange relacionados com as restrições de igualdade;

μ – Vetor dos multiplicadores de Lagrange relacionados com as restrições de desigualdade;

π_u – Vetor dos multiplicadores de Lagrange relacionados com as restrições de desigualdade canalizadas (barreira);

π_i – Vetor dos multiplicadores de Lagrange relacionados com as restrições de desigualdade canalizadas (barreira);

R – Conjunto dos números reais;

$\in$ – Pertence a;

∇_x – Vetor gradiente com relação à x ;

i, j, k, l, m – Número Inteiro;

α_p – Passo primal;

α_d – Passo dual;

S – Matriz Sensibilidade;

E – Vetor perturbação;

R_S – Vetor resposta;

ϵ_k^P – Vetor perturbação relacionado com as equações de igualdade das potências ativas;

ϵ_k^Q – Vetor perturbação relacionado com as equações de igualdade das potências reativas;

ϵ_i – Vetor que relaciona os ϵ_k^P e os ϵ_k^Q ;

$*$ – Indicação de variável ótima.

RESUMO

BELATI, E. A. (2003). *Sensibilidade em Fluxo de Potência Ótimo*. São Carlos, 2003. 106p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Neste trabalho propomos uma abordagem para a resolução do problema de Fluxo de Potência Ótimo (FPO) perturbado. A metodologia consiste na obtenção da solução ótima para o problema inicial via um programa de FPO, e na utilização de sensibilidade para estimar novas soluções depois de ocorridas algumas perturbações no problema. Essas perturbações são variações de carga em uma ou mais barras do sistema. A técnica de sensibilidade está baseada nas informações de segunda ordem e nas condições de otimalidade. A obtenção da solução após ocorrerem perturbações no sistema é direta e não necessita de parâmetros iniciais e de correção, como penalidade e barreira, utilizados nos programas de FPO convencionais. Os resultados numéricos apresentados evidenciam o potencial desta metodologia para resolução do problema de FPO perturbado.

Palavras – chave: Análise de Sensibilidade; Fluxo de Potência Ótimo; Perturbação; Perdas de Potência Ativa na Transmissão; Função Lagrangiana Aumentada; Pontos Interiores.

ABSTRACT

BELATI, E. A. (2003). *Sensitivity in Optimal Power Flow*. São Carlos, 2003. 106p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

An approach to solve the perturbed Optimal Power Flow (OPF) problem is proposed in this study. The methodology consists in obtaining the optimal solution for the initial problem via a program of OPF, and using sensitivity to estimate new solutions after the occurrence of some perturbations in the problem. These perturbations consist in load variations in some buses of the system. The sensitivity technique is based on both the information of second order and optimality conditions. The computation of the solutions after the occurrence of perturbations in the system does not depend of initial and correction parameters such as penalty and barrier used in the conventional OPF programs. The numerical results demonstrate the potential of this methodology for the solution of the perturbed OPF problem.

Keywords: Sensitivity Analysis; Optimal Power Flow Problem; Perturbation; Losses of Active Power in the Transmission; Augmented Lagrangian Function; Interior Points.

INTRODUÇÃO

O estudo das metodologias para se administrar uma perturbação local – análise de sensibilidade referente a mudanças do problema original – é uma exigência de várias disciplinas científicas. Em muitos casos, o estado de uma solução não pode ser inteiramente compreendido sem a análise de sensibilidade. Isso tem sido bem reconhecido desde o princípio das investigações científicas e vem sendo explicitamente utilizado por matemáticos. Na matemática, técnicas de sensibilidade são usadas para se obter condições de otimalidade, resultados duais, soluções de algoritmos, convergência e taxa de convergência, em adição a suas mais óbvias e imediatas aplicações em estimar soluções com diferentes parâmetros.

Em sistemas estáticos de energia elétrica, há dois tipos de sensibilidades predominantes: a sensibilidade de uma variável elétrica em relação à outra, como por exemplo, a tensão, V_i , na barra i , em relação à injeção de reativo, Q_j , na barra j , e a sensibilidade da função objetivo, $f(x)$, em relação às variáveis elétricas, como por exemplo, as perdas ativas na transmissão, em relação à injeção de potência P_i na barra i . O conhecimento dessas sensibilidades é de grande importância para várias

áreas do Sistema Elétrico de Potência (SEP). A sensibilidade pode ser aplicada no planejamento do sistema, na tarifação, no ajuste de uma solução factível do fluxo de carga para otimizar a solução, na implementação de uma técnica de despacho em tempo real aplicável a casos em que há pequenas variações na demanda, entre outras aplicações.

Neste trabalho utilizaremos a análise de sensibilidade para encontrar um novo ponto de operação para o problema de Fluxo de Potência Ótimo (FPO) depois de ocorridas pequenas perturbações no sistema. Este estudo de sensibilidade também permitirá a análise do sistema de maneira fácil e direta, isto é, a verificação do novo desempenho da rede (função objetivo) em relação às pequenas variações da demanda.

A metodologia utilizada consiste, primeiramente, na obtenção de uma solução ótima inicial para o problema via um programa FPO, e na utilização de sensibilidade para estimar novas soluções depois de ocorridas algumas perturbações na demanda do sistema. Essas perturbações poderão ser um acréscimo ou corte de carga em uma ou mais barras do sistema. A utilização da sensibilidade permitirá encontrar novos pontos de operação sem a necessidade de se reprocessar o FPO. Os maiores benefícios da técnica, em comparação aos FPOs, são a rapidez e robustez das soluções, a não necessidade da utilização de parâmetros de entrada e de correção como penalidade e barreira. Essas características fazem com que a aplicação da metodologia possa ser viável para as empresas de energia elétrica, pois para se

executar o programa não há a necessidade de operadores com conhecimentos de otimização.

O programa de FPO utilizado para a obtenção da solução inicial, consiste em uma abordagem da Função Lagrangiana Aumentada denominada de Método da Função Lagrangiana Aumentada-Barreira Logarítmica. Nessa abordagem, as restrições canalizadas são tratadas por uma função barreira; as restrições de igualdade, pelo método de Newton; e as desigualdades, pela função Lagrangiana Aumentada. O método preserva as características da função Lagrangiana Aumentada, pois caminha pelo exterior da região viável, obedecendo às restrições de canalização. Devido ao processo de linearização, é gerado um sistema matricial do tipo $Ax = b$. A matriz, A , é esparsa e simétrica de valor e posição. Essa característica é explorada através da técnica de esparsidade MA57¹, que visa melhorar o desempenho computacional. A convergência do algoritmo está diretamente ligada aos fatores iniciais de barreira e penalidade e de seus parâmetros de correção, o que não acontece na técnica de sensibilidade empregada.

A técnica de sensibilidade é baseada nas informações de segunda ordem e nas condições de otimalidade. A solução do problema é obtida após a resolução de um sistema matricial, do tipo $Ax = b$. A matriz, A , é esparsa e simétrica de posição, porém não de valores. Para resolver o sistema, empregamos a técnica de esparsidade MA28¹, que explora esta característica da matriz.

¹ Resolve um sistema simétrico e esparso de equações lineares. Catálogo disponível em http://www.hsl-library.com/cat_hsl2002.pdf.

Este trabalho é dividido em 7 capítulos. Neste capítulo, apresentamos a motivação, o objetivo e a organização do trabalho. No capítulo 2, faremos uma revisão bibliográfica sobre FPO e sensibilidade. No capítulo 3, mostraremos a metodologia utilizada na resolução do problema de FPO. No capítulo 4, desenvolveremos a técnica de sensibilidade utilizada neste trabalho. No capítulo 5, aplicaremos a técnica de sensibilidade, ao problema de FPO. No capítulo 6, apresentamos os resultados numéricos do método aos sistemas elétricos de 3 barras, 9 barras, IEEE 14 barras, IEEE 30 barras, CESP 53 barras, IEEE 118 barras, IEEE 162 barras e para o sistema IEEE 300 barras. Finalmente, no capítulo 7, apresentamos as conclusões do nosso trabalho e as perspectivas de continuidade deste.

HISTÓRICO

Apresentaremos a seguir um levantamento bibliográfico do problema de fluxo de potência ótimo e das técnicas de sensibilidade aplicadas em sistemas elétricos de potência.

2.1 HISTÓRICO DO PROBLEMA DE FLUXO DE POTÊNCIA ÓTIMO

O problema de FPO foi proposto por CARPENTIER (1962), no início da década de 60, a partir do problema de despacho econômico (DE). Historicamente, o problema de despacho econômico, foi o precursor do problema de fluxo de carga ótimo, o qual marcou o fim do período clássico do despacho econômico. Assim, o problema de DE passou a ser abordado como um caso particular do FPO. Desde então, muitos trabalhos foram realizados na tentativa de resolvê-lo. Mas, até o presente, não existe uma abordagem realmente robusta, confiável e rápida, que atenda às necessidades dos centros de operação das concessionárias de energia elétrica.

Uma das primeiras abordagens propostas para resolver o problema de fluxo de potência ótimo foi feita por DOMMEL & TINNEY (1968). Eles propuseram o método do gradiente reduzido para resolver o problema de fluxo de potência ótimo. Tal método consiste numa direção de passo descendente aplicado ao subespaço tangente das equações não lineares do fluxo de potência. É um método em que, as equações do fluxo de potência são resolvidas pelo método de Newton após mudanças nas variáveis de controle. Nesse método as restrições de igualdade são associadas à função Lagrangiana, através dos multiplicadores de Lagrange, enquanto que as restrições de desigualdade são tratadas através de parâmetros de penalidade. O método tem uma eficiência de primeira ordem para a minimização da função objetivo. Apesar de seu rigor matemático, esta abordagem apresenta convergência lenta, “zig-zagueando” próximo da solução ótima. Para a atualização dos novos valores das variáveis de controle utiliza-se um passo, que é determinado por uma busca unidimensional. O método apresenta dificuldades na modelagem dos componentes, tal como taps dos transformadores que são considerados no fluxo de carga e não na rotina de otimização. O método foi capaz de resolver problemas com até 500 barras. Este trabalho foi pioneiro e serviu como referência à produção de muitas abordagens para resolução do FPO.

SASSON. (1969) apresentou um combinado do método de Powell e Fletcher-Powell. O método de Powell é usado para resolver problemas de otimização restrita, enquanto que o método de Fletcher-Powell é usado para resolver problemas de otimização irrestrita. Ambos propuseram uma técnica de segunda ordem para resolver o problema, ou seja, utilizar a matriz Hessiana. Esta técnica tem o objetivo

de tornar o problema restrito em irrestrito, penalizando todas as restrições de desigualdade que são violadas e as de igualdade que ainda estão longe de zero. A ação da penalidade faz com que o valor da função objetivo tenda a aumentar quando uma restrição é violada. O algoritmo tentará minimizar a violação e, trazer as variáveis de volta para a região factível. Durante o processo de convergência, estes fatores de penalidade vão aumentando, o que pode causar mal condicionamento da matriz Hessiana, ou seja, elementos muito elevados na diagonal principal, comprometendo a convergência do método. O método foi testado no sistema IEEE 30-barras.

O método de penalidade, apresentado por SASSON et al. (1973), surgiu com o objetivo principal de acelerar a convergência do método utilizado por DOMMEL & TYNNEY (1968). A idéia desse método consiste em transformar o problema restrito em irrestrito, minimizando, assim, uma função auxiliar formada pela função objetivo e pela função de penalidade, que consiste nas restrições de igualdade e desigualdade penalizadas. A cada iteração são aumentados os fatores de penalidade, a matriz Hessiana da função auxiliar é calculada, e as variáveis são atualizadas. O processo é repetido até que todas as restrições estejam satisfeitas. A matriz Hessiana recebe influência direta dos fatores de penalidade; logo, para valores elevados dos fatores de penalidade, ela pode se tornar mal condicionada.

RASHED & KELLY. (1974), propuseram um método em que foram empregadas técnicas de programação não-linear para minimizar a função objetivo, isto é, as perdas na transmissão e o custo de geração. Os multiplicadores de Lagrange

e o método de Newton são utilizados na solução do problema de fluxo de potência ótimo. Nesse método, as restrições de igualdade, representadas pelas equações de fluxo de potência, são incorporadas à função Lagrangiana através dos multiplicadores de Lagrange, enquanto que as restrições de desigualdade são incorporadas através de parâmetros de penalidades. Para a correção das variáveis, utiliza-se a matriz Hessiana e o vetor gradiente da função Lagrangiana. Este trabalho foi uma continuação do trabalho de DOMMEL & TINNEY (1968). O método foi testado em um sistema de 179 barras.

SUN et al. (1984), utilizaram uma formulação explícita do método de Newton para resolução do problema de FPO. A cada iteração, a função Lagrangiana é aproximada por uma quadrática. O conjunto de restrições de desigualdade é dividido em dois grupos: restrições penalizadas, introduzidas na função objetivo através de termos de penalidade quadráticos, e restrições ativas na solução, incorporadas ao conjunto de restrições de igualdade do problema. A solução do problema ocorre quando as condições de otimalidade de KKT estão satisfeitas, e as equações do fluxo de carga convencional estão dentro das tolerâncias determinadas. O método apresenta convergência de segunda ordem e tem como deficiência a necessidade de identificar as restrições de desigualdade que são ativas na solução. O método foi testado num sistema de 912 barras.

SANTOS et al. (1988) desenvolveram um trabalho em que o problema do fluxo de potência ótimo é resolvido pelo método da Lagrangiana Aumentada, o qual está baseado nas técnicas de programação não-linear. A trajetória de convergência do

método é pela região infactível do problema. A cada iteração a função Lagrangiana Aumentada é minimizada em relação às variáveis primais, utilizando o método de Newton. Os multiplicadores de Lagrange são atualizados visando a maximização da função Lagrangiana Aumentada Dual, associada ao problema original. Este método não necessita de parâmetros de penalidade muito elevados. A solução é obtida quando todas as restrições de igualdade e de desigualdade estão sendo satisfeitas, dentro de uma tolerância especificada.

MONTICELLI & LIU (1992) propuseram uma nova abordagem do método de Newton, combinando o método dos multiplicadores de Lagrange e o método da função penalidade. A proposta é basicamente a mesma de SUN et al. (1984), a diferença está na utilização de uma penalidade adaptativa que assegura que a matriz Hessiana seja definida positiva ao longo do processo de solução, sem afetar a convergência do problema.

GRANVILLE (1994) propôs o método Primal-Dual Barreira-Logarítmica, um método de pontos interiores, que consiste em encontrar o ponto ótimo satisfazendo às restrições canalizadas durante o processo iterativo. Utiliza multiplicadores de Lagrange para as restrições de igualdade e transforma as desigualdades em equações de igualdade, através do uso de variáveis de folga. Estas variáveis são incorporadas à função objetivo através da função barreira logarítmica e dos parâmetros de barreira, que tende a zero com o aumento do número de iterações. Este algoritmo apresenta muita sensibilidade quanto à escolha do parâmetro de barreira, podendo divergir em alguns casos. A solução é encontrada quando todas as restrições do problema original

estão satisfeitas. Destaca-se também nesta mesma área de pontos interiores, o trabalho de WU et al. (1994), que sugere uma extensão do método primal-dual. Seu algoritmo é chamado de método preditor-corretor, e sua diferença em relação ao método primal-dual, está na introdução de termos não-lineares nas condições de otimalidade. O trabalho de QUINTANA et al. (1995), também contribuiu para o avanço das técnicas de otimização que utilizam pontos interiores.

COSTA (1997), propôs o método de Newton associado à Função Lagrangiana Aumentada, que basicamente associa os métodos propostos por SUN et al. (1984) e SANTOS et al. (1988). Este método não apresenta a necessidade de se identificar as restrições de desigualdade que estão ativas na solução, eliminando, assim, a deficiência do algoritmo de SUN et al. (1984). As restrições de igualdade são tratadas pelo método de Newton, e não são penalizadas. O método foi aplicado em sistemas de 57 e 662 barras.

TORRES & QUINTANA (1998) propuseram a resolução do problema FPO pelo Método dos Pontos Interiores, usando coordenadas retangulares de tensão. Algumas variantes do problema de FPO, quando formuladas na forma retangular têm função objetivo e restrições quadráticas. Tais características permitem facilidades para iniciar e incorporar informações de alta ordem em um procedimento preditor-corretor que melhora o desempenho do método dos pontos interiores. A técnica proposta teve um bom desempenho computacional.

MOMOH & ZHU (1999) apresentaram em 1999 o método dos Pontos Interiores Quadráticos Melhorado (PIQM) aplicado à solução do problema de FPO. A abordagem pode trabalhar com funções objetivo que podem ser o despacho ótimo, planejamento de reativos e minimização das perdas. É realizado um procedimento de eliminação para se obter uma redução no problema de FPO, onde a função objetivo é uma função quadrática sujeita às restrições lineares. As características do método PIQM são a possibilidade de um ponto de partida geral – ou seja, a não necessidade de um ponto inicial bom, como é requerido nos demais métodos de pontos interiores – e a rápida convergência. O método foi testado nos sistemas IEEE 14, 30 e 118 barras para o despacho ótimo, planejamento de reativos e minimização das perdas.

COSTA et al (2000) propuseram uma nova abordagem que melhora o método de Newton para o problema de FPO. No qual os multiplicadores de Lagrange são calculados diretamente do sistema linearizado. A fatoração é feita por elementos, ao invés de pela estrutura de blocos. As principais vantagens são o curto tempo de processamento computacional e a redução no uso de memória. Foram feitos testes numéricos para sistemas IEEE de 14, 30, 118 barras e para o sistema brasileiro de 810 barras, que mostraram a eficiência do método proposto.

2.2 HISTÓRICO DE SENSIBILIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

É de fundamental importância, em um sistema de controle, o completo entendimento de como as variações no sistema afetam seu estado. Tal

entendimento pode ser obtido a partir da análise de sensibilidade. A sensibilidade em SEP pode auxiliar no entendimento das soluções, para determinar se uma solução viola seu limite após alguma perturbação, para estimar novas soluções depois de ocorridas pequenas perturbações no sistema entre outras aplicações.

Abaixo apresentaremos um histórico de alguns trabalhos em que a análise de sensibilidade foi empregada para auxiliar na obtenção de resultados.

PESCHON et al. (1968) foram uns dos pioneiros a aplicar o estudo de sensibilidade em sistema de energia elétrica. Foi mostrado que a sensibilidade, dentro do despacho ótimo, pode ser aplicada à vários casos diferentes, dos quais destacamos, 1) a obtenção da factibilidade nas equações de fluxos de potência através de interpretações correta nas variáveis duais; 2) a verificação da possibilidade de uma solução ótima melhorada violar alguma restrição do problema; 3) o aproveitamento da solução do problema de despacho ótimo, considerada trabalhosa, na obtenção de novas soluções somente com considerações de sensibilidade de segunda ordem. Os autores mostraram que através das equações de balanço de potência, podem definir as mudanças nas variáveis dependentes, quando alguma perturbação for imposta nas variáveis de independentes. Também são vistas as relações de sensibilidade com respeito as variáveis relacionadas a um problema de despacho ótimo de potência. Foi visto que, aplicando-se as condições de KKT ao problema de despacho ótimo em que se quer minimizar o custo F , pode-se tirar várias conclusões: uma delas é que o vetor dual relacionado com as variáveis independentes mede a sensibilidade de F para um determinado controle; outra, é que o vetor dual

relacionado com as equações dos fluxos mede o incremento do custo ΔF para o sistema, quando há um incremento de demanda. Outro fator importante destacado é que quando analisamos as relações de sensibilidade com respeito as variáveis independentes, temos de ter as informações exatas do estado do sistema, pois um controle inadequado leva a custos inexatos de F . Foram feitas análises do desempenho do sistema de potência por meio das sensibilidades de primeira e segunda ordem, que levou à seguinte conclusão: sensibilidade de primeira ordem é relativamente fácil de ser calculada e pode ser usada como parte de um algoritmo para calcular o despacho ótimo; sensibilidade de segunda ordem, embora requeira cálculos mais elaborados, tem a capacidade de elaborar um tipo de lei de realimentação que mostra as pequenas mudanças na geração de potências ativas e reativas necessárias para manter a operação ótima quando ocorrerem pequenas alterações nas demandas. Uma possível desvantagem do método de sensibilidade de segunda ordem parece ser a inabilidade de trabalhar diretamente com restrições de desigualdade, que, em alguns problemas, são de muita importância; embora, na teoria, restrições de desigualdade possam ser consideradas adicionando-se uma função penalidade para o custo, como sugerido pelos autores.

KISHORE & HILL (1971) desenvolveram um método que emprega análises de sensibilidade para minimizar a alocação de potência reativa, satisfazendo as restrições de operação. Neste método é empregada sensibilidade de primeira ordem, que relaciona as variáveis elétricas tensão e potência reativa. Foram aplicadas técnicas de programação linear para resolver o problema, incrementando na matriz sensibilidade os limites superiores e inferiores das tensões, fazendo com que esses limites sejam

considerados. A injeção de reativos é minimizada na função objetivo. O problema de programação linear fica na forma padrão de programa linear, fazendo com que a solução do problema seja facilmente encontrada. Dois exemplos ilustram a aplicação do método.

GRIBIK et al. (1990) propuseram um método que utiliza análise de sensibilidade no problema de FPO. Os autores basearam-se no teorema da perturbação do ótimo, apresentado por FIACCO (1983), para desenvolverem uma formulação aplicada ao problema de FPO. Entretanto, eles não utilizaram o teorema na íntegra, pois somente as condições de otimalidade da função Lagrangiana foram consideradas para desenvolver a formulação. A formulação proposta não trabalha com as restrições de desigualdade. Os autores usaram o FPO proposto por SUN (1984) para encontrar o ponto ótimo a ser perturbado. Apresentaram, ainda, um teste em um sistema de 34 barras, no qual foi adicionado 1 MW de carga em cada barra do sistema.

SMED (1993) apresentou um novo estudo de análise de sensibilidade. Nele a matriz sensibilidade resultante das equações do sistema de potência utilizada tem uma formulação esparsa. A formulação esparsa é obtida pela interpretação das variáveis que são calculadas no cálculo dos autovalores. Como resultado dessa modificação algum controle pode ser realizado com pequeno esforço computacional. A abordagem apresentada pelo autor mostra que quando realizamos uma mudança nos parâmetros do sistema, somente poucos elementos são afetados, o que não acontece com a sensibilidade dos autovalores tradicional. Essa nova análise de

sensibilidade pode ser aplicada para vários casos relacionados com sistemas elétricos de potência. A metodologia foi aplicada em um sistema de potência real.

JAN & CHEN (1995) desenvolveram um método que utiliza fatores de sensibilidade para análises de fluxo de potência. O método requer somente operações algébricas, sendo, assim, muito rápido e, portanto, podendo ter aplicação em tempo real. Depois de se resolver o problema do despacho ótimo através do método de Newton, as magnitudes das tensões podem exceder os valores padronizados. Os autores apresentaram dois passos que podem ser feitos para manter a magnitude da tensão das barras de carga dentro de seus limites. Passo 1: se alguma magnitude das tensões das barras de carga estão maiores que o limite máximo, usam-se fatores de sensibilidade de potência reativa para calcular o incremento nas barras de tensão controlada que possam fazer que a magnitude da tensão volte para dentro de seu limite. Passo 2: se alguma magnitude das tensões das barras de carga forem menores que o limite mínimo, usam-se o fatores de sensibilidade da potência reativa para calcular o capacitor a ser acoplado na barra de carga que possa alterar a magnitude da tensão para dentro de seu limite. Os autores validaram o método em um sistema de 245 barras.

GURRAN & SUBRAMANYAN (1999) aplicaram o teorema Tellegen para a análise de sensibilidade. Uma derivação do teorema foi usada em uma rede de distribuição em um sistema radial de 400 volts e 12 barras, com um alimentador principal. A aplicação foi feita para perturbações de 10% e 20%. As operações

aritméticas envolvidas e o tempo computacional foram pequenos, mostrando que a aplicação pode ser estendida a grandes sistemas.

FANG & NGAN (2000) apresentaram um trabalho que contribui para estender o estudo em problemas de fluxo de potência. Os autores utilizaram um *Unified Power Flow Controller* (UPFC), que pode exercer controle independente nos fluxos das potências ativa e reativa das linhas de transmissão, regulação da tensão, compensadores séries e shunts. Os UPFCs são vistos como um conjunto de *Flexible AC Transmission Systems* (FACTS), que são dispositivos baseados na eletrônica de potência e que podem proporcionar maior flexibilidade no controle e operação dos sistemas de potências. Nesse trabalho, as equações do Fluxo de carga são estendidas para serem analisadas juntamente com o UPFC, o que pode ser feito com pequenas alterações nas equações do fluxo de carga. São aplicadas técnicas de esparsidade, ordenamento ótimo e análise de sensibilidade. A análise de sensibilidade é usada para modelar os efeitos do UPFC no sistema, e os parâmetros do UPFC são usados como variáveis de controle. O método se mostrou robusto nos exemplos testados, podendo ser usado não somente para mostrar os efeitos do controle do UPFC embutido na linha, mas também para analisar os efeitos em outro ramo.

BELL & KIRIRSCHEN (2000) apresentaram uma derivação da sensibilidade linear, usada no controle de despacho de MW, para auxílio nas violações das tensões. A análise de sensibilidade foi embutida com a idéia de se acrescentar uma ferramenta, para apoiar nas decisões de operações de sistema de potência. Os autores apresentaram três procedimentos que utiliza essas análises de sensibilidade na

tentativa de resolver eventuais violações nos limites das tensões. O primeiro utiliza o controle da potência reativa para controlar as magnitudes de tensão, o segundo faz o controle de potência ativa para ajustar o fluxo de potência ativa nas linhas e o terceiro controla as magnitudes de tensão utilizando o controle da potência ativa. Os três procedimentos foram implementados em um algoritmo que utiliza conjunto *fuzzy*, o qual direciona o procedimento de controle utilizado para resolver os eventuais problemas. O controle exigido altera-se para cada sistema com referência a matriz de sensibilidade. Os controles são escolhidos equilibrando os critérios de baixo custo, preservação de margem de controle e simplicidade de implementação. A aplicação foi testada no sistema IEEE-RST.

AUMULLER et al. (2002) apresentaram um novo método de análises de instabilidade de tensão. O método é baseado no estudo da sensibilidade da geração de potência reativa em relação às variações de carga nas barras. A essência do método está na utilização da técnica de análises de sensibilidade de primeira ordem. As informações obtidas pela análise de sensibilidade são usadas para identificar o conjunto de barras que causam instabilidade de tensão. O método foi testado em um sistema teste do Cigré e no “*Queensland Transmission System*”.

FLUXO DE POTÊNCIA ÓTIMO

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentaremos o desenvolvimento do método utilizado na resolução do problema de FPO e discutiremos sua implementação computacional. Esse método foi desenvolvido matematicamente por BAPTISTA (2001). Sua aplicação no problema de FPO é uma das contribuições desta pesquisa.

3.2 O PROBLEMA DE FLUXO DE POTÊNCIA ÓTIMO.

O FPO é um termo genérico que envolve uma classe de problemas, em que destacamos o problema de despacho ótimo de potência reativa, que apresentaremos nesta seção. O problema de FPO busca otimizar uma função específica, satisfazendo às restrições que são regidas por particularidades operacionais e físicas da rede elétrica. No problema de FPO, os modelos matemáticos utilizados envolvem dificuldades como não-linearidades, não-convexidades, milhares de restrições,

variáveis discretas, o que ocasiona um problema de difícil solução; tal particularidade tem feito com que seja um tema abordado por vários pesquisadores.

O FPO pode ser modelado como o seguinte problema de programação não-linear:

$$\begin{aligned}
 &\min f(x) \\
 &\text{s.a } g(x) = 0 \\
 &\quad h(x) \leq 0 \\
 &\quad x^{\min} \leq x \leq x^{\max}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

em que:

$x \in \Re^n$: vetor das variáveis de estado;

$x^{\min}$ e $x^{\max}$: limites superiores e inferiores das variáveis x , respectivamente;

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

$g(x) \in \Re^m$: vetor das equações do fluxo de potência onde $m < n$;

$h(x) \in \Re^r$: vetor das restrições funcionais do fluxo de potência.

O vetor das variáveis de estado x representa a magnitude de tensão, V , ângulos, θ , e tap dos transformadores, t . A função objetivo, $f(x)$, representa as perdas de potência ativa na transmissão. As restrições de igualdade, $g(x)$, representam as equações de balanço de potência ativa e reativa nas barras da rede. As restrições de desigualdade $h(x)$ podem representar as potências reativa nas barras de controle de

reativos, os fluxos ativos e reativos nas linhas de transmissão e o fluxo de intercâmbio.

Ao rescrevermos o problema (3.1) utilizando as equações de fluxo de potência como apresentada por MONTICELLI (1993), temos o seguinte problema.

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \sum_{m \in \Omega_k} g_{km} (V_k^2 + V_m^2 - 2V_k V_m \cos \theta_{km}) \\
 \text{s.a.} \quad & P_k - \sum_{m \in \Omega_k} P_{km} = 0 & k = 1, \dots, \text{NBCCR} \\
 & Q_k + Q_k^{\text{sh}} - \sum_{m \in \Omega_k} Q_{km} = 0 & k = 1, \dots, \text{NBC} \\
 & Q_k^{\min} + Q_k^{\text{sh}} \leq \sum_{m \in \Omega_k} Q_{km} \leq Q_k^{\max} + Q_k^{\text{sh}} & k = 1, \dots, \text{NBCR} \\
 & V_k^{\min} \leq V_k \leq V_k^{\max} & k = 1, \dots, \text{NB} \\
 & t_k \leq t_k \leq t_k & k = 1, \dots, \text{NT}
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

O problema apresentado é conhecido como despacho ótimo de reativo (DOR) ou, simplesmente, FPO reativo. O aspecto reativo em um sistema de energia está relacionado principalmente ao controle da tensão nas barras. No DOR, os controles ativos são fixados, e as variáveis de controle relacionadas à potência reativa são otimizadas em relação à função objetivo. As variáveis de controle incluem geração de potência reativa, magnitude de tensão nas barras de geração, compensação síncrona, tap de transformador e admitância shunt, que pode ser capacitiva ou indutiva. As variáveis dependentes incluem ângulo de tensão, magnitude de tensão em barras de carga e fluxo nas linhas de transmissão. A função objetivo corresponde as perdas de potência ativa na transmissão, o que pode dificultar a resolução do

problema de FPO segundo MONTICELLI & LIU (1992), por ser não convexa e não separável.

Encontram-se, na literatura, diversas publicações que enfocam a formulação e a solução do problema de FPO. Destacam-se dentre esses trabalhos, diferentes métodos, abordados por vários pesquisadores. No entanto, todos estes métodos apresentam vantagens e desvantagens quanto à eficiência computacional e à flexibilidade no tratamento dos aspectos operacionais do problema. A abordagem que utilizaremos, na resolução do problema, é composta por uma metodologia mista. As variáveis canalizadas serão tratadas por uma função barreira logarítmica; as restrições de igualdade, pelo método de Newton; e as desigualdades, pela função Lagrangiana Aumentada. O objetivo desta metodologia mista é utilizar as melhores características de cada método.

3.3 METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO APLICADA AO PROBLEMA DE FPO

Vários métodos podem ser utilizados na resolução do problema de FPO. Entre eles podemos destacar o método de Newton, da Lagrangiana aumentada e da barreira logarítmica. O método de Newton apresenta um excelente desempenho para problemas com restrições de igualdade. Contudo, para restrições de desigualdade, exige-se que se conheça o conjunto ativo das restrições na solução. O método da Lagrangiana aumentada apresenta um melhor comportamento em relação ao método das penalidades, pois ameniza o problema de mal condicionamento da matriz Hessiana. Finalmente, no método da barreira logarítmica, gerenciar o fator de

barreira e seu parâmetro, garantindo a convergência do método, é uma tarefa difícil, no entanto, sua aplicação em problemas com restrições canalizadas é de fácil implementação.

Com o objetivo de aproveitar as melhores características destes métodos, será utilizada uma abordagem do método da função Lagrangiana aumentada para resolver o problema (3.1). Essa abordagem é denominada Método da Função Lagrangiana Aumentada-Barreira Logarítmica, BAPTISTA (2001). O método proposto trata as restrições canalizadas através do método de barreira logarítmica – incorporadas à função objetivo – resultando em um novo problema, que é associado à função Lagrangiana aumentada proposta por COSTA (1990). As condições necessárias de primeira ordem são aplicadas resultando num sistema não linear, que é resolvido pelo método de Newton. A solução através do método de Newton fornece os fatores de correção para atualizarmos os multiplicadores de Lagrange associados às igualdades, e ao vetor x e às variáveis de folga. Os multiplicadores de Lagrange associados às desigualdades são determinados utilizando-se a regra de atualização da função Lagrangiana aumentada proposta por HESTENES (1969), e os fatores de penalidades e barreira são atualizados por um fator heurístico.

3.4 A FUNÇÃO LAGRANGIANA AUMENTADA-BARREIRA LOGARÍTMICA

Nesta seção apresentaremos a função Lagrangiana aumentada-barreira logarítmica, baseada nos conceitos dos métodos de barreira e da Lagrangiana aumentada.

Dado o problema (3.1), acrescentamos as variáveis de excesso e de folga como apresentado em (3.3).

$$\begin{aligned}
 & \min f(x) \\
 & \text{s.a. } g_i(x) = 0, \quad i = 1, \dots, m \\
 & \quad h_j(x) + z_j = 0, \quad j = 1, \dots, r \\
 & \quad x + su = x^{\max} \\
 & \quad x - si = x^{\min} \\
 & \quad z_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, r \\
 & \quad su \geq 0 \\
 & \quad si \geq 0
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

onde $(su)^t = (su_1, \dots, su_n)$, com $su_k \geq 0$, e $(si)^t = (si_1, \dots, si_n)$ com $si_k \geq 0$, $k = 1, \dots, n$. As variáveis z_j , $j = 1, \dots, r$, bem como as componentes do vetor su são variáveis de folga, e as componentes do vetor si são variáveis de excesso. Denominamos su e si de vetores auxiliares.

O problema (3.3) pode ser transformado no seguinte problema equivalente:

$$\begin{aligned}
 & \min f(x) - \delta \left(\sum_{k=1}^n \ln su_k + \sum_{k=1}^n \ln si_k \right) \\
 & \text{s.a. } g_i(x) = 0, \quad i = 1, \dots, m \\
 & \quad h_j(x) + z_j = 0, \quad j = 1, \dots, r \\
 & \quad x + su = x^{\max} \\
 & \quad x - si = x^{\min} \\
 & \quad z_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, r
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

onde δ é o fator de barreira.

Adicionamos à função objetivo a condição de não negatividade, através da função barreira logarítmica. O problema modificado (3.4) tende à mesma solução que o problema original (3.1).

Associamos ao problema (3.4) a seguinte função Lagrangiana aumentada:

$$\begin{aligned} La(x, s, \lambda, \pi, \mu, z) = & f(x) - \delta \left(\sum_{k=1}^n \ln su_k + \sum_{k=1}^n \ln si_k \right) + \frac{1}{2} c \sum_{j=1}^r (h_j(x) + z_j)^2 + \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(x) + \\ & \sum_{k=1}^n \pi u_k (x_k + su_k - x_k^{\max}) + \sum_{k=1}^n \pi i_k (x_k - si_k - x_k^{\min}) + \sum_{j=1}^r \mu_j (h_j(x) + z_j) \end{aligned} \quad (3.5)$$

onde λ , πu , πi e μ são os vetores dos multiplicadores de Lagrange, $c > 0$ é o fator de penalidade, e δ , o fator de barreira.

Aplicando as condições necessárias de primeira ordem à função Lagrangiana (3.5) em relação a z_j temos:

$$\nabla_{z_j} La(x, s, \lambda, \pi, \mu, z) = 0, \quad j = 1, \dots, r \quad (3.6)$$

ou,

$$z_j = -\frac{\mu_j}{c} - h_j(x), \quad j = 1, \dots, r \quad (3.7)$$

Como $z_j \geq 0$, temos:

$$z_j = \begin{cases} -\frac{\mu_j}{c} - h_j(x), & \text{se } -\frac{\mu_j}{c} - h_j(x) \geq 0 \\ 0, & \text{se } -\frac{\mu_j}{c} - h_j(x) \leq 0 \end{cases} \quad j = 1, \dots, r. \quad (3.8)$$

Substituindo a eq.(3.8) em (3.5), obtemos a função Lagrangiana aumentada-barreira logarítmica:

$$\begin{aligned} La(x, s, \lambda, \pi, \mu) = & f(x) - \delta \left(\sum_{k=1}^n \ln su_k + \sum_{k=1}^n \ln si_k \right) + \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(x) + \sum_{l=1}^n \pi u_l (x_l + su_l - x_l^{\max}) + \\ & \sum_{l=1}^n \pi i_l (x_l - si_l - x_l^{\min}) + \sum_{j=1}^r \left\{ \begin{aligned} & \mu_j h_j(x) + \frac{1}{2} c h_j^2(x), & \text{se } h_j(x) \geq -\frac{\mu_j}{c} \\ & -\frac{\mu_j^2}{2c}, & \text{se } h_j(x) \leq -\frac{\mu_j}{c} \end{aligned} \right. \end{aligned} \quad (3.9)$$

Definimos, deste modo, a função Lagrangiana aumentada-barreira logarítmica associada ao problema (3.1).

3.5 O MÉTODO DA FUNÇÃO LAGRANGIANA AUMENTADA-BARREIRA LOGARÍTMICA

Apresentaremos, nesta seção, o método da função Lagrangiana aumentada-barreira logarítmica, para a resolução do problema (3.1). A solução do problema (3.1) é encontrada através da resolução de uma seqüência de problemas irrestritos. Aplicando as condições de otimalidade sobre a função Lagrangiana aumentada-barreira logarítmica (3.9), obtemos um sistema não linear, cuja solução são as direções de busca, Δx , Δsu , Δsi , $\Delta \lambda$, $\Delta \pi u$ e $\Delta \pi i$, como segue:

$$\begin{cases} \nabla_x La(x, s, \lambda, \pi, \mu) = 0 \\ \nabla_{su} La(x, s, \lambda, \pi, \mu) = 0 \\ \nabla_{si} La(x, s, \lambda, \pi, \mu) = 0 \\ \nabla_\lambda La(x, s, \lambda, \pi, \mu) = 0 \\ \nabla_{\pi u} La(x, s, \lambda, \pi, \mu) = 0 \\ \nabla_{\pi i} La(x, s, \lambda, \pi, \mu) = 0 \end{cases} \quad (3.10)$$

ou, equivalentemente,

$$\begin{cases} \nabla_x f(x)^t + \lambda^t J(x) + (\pi u)^t I + (\pi i)^t I + \sum_{j=1}^r \begin{cases} (\mu_j + c h_j(x)) \nabla_x h_j(x)^t, & \text{se } h_j(x) \geq -\frac{\mu_j}{c} \\ 0, & \text{se } h_j(x) \leq -\frac{\mu_j}{c} \end{cases} = 0 \\ -\frac{\delta}{su_k} + \pi u_k = 0, k = 1, \dots, n \\ -\frac{\delta}{si_k} - \pi i_k = 0, k = 1, \dots, n \\ g_i(x) = 0, i = 1, \dots, m \\ x + su - x^{\max} = 0 \\ x - si - x^{\min} = 0 \end{cases} \quad (3.11)$$

onde $J(x)^t = (\nabla_x g_1(x), \dots, \nabla_x g_m(x))$ é denominada matriz Jacobiana, a mesma do fluxo de potência, I uma matriz identidade.

Obtemos a solução do sistema não linear (3.11) utilizando o método de Newton-Raphson, o que resulta no sistema matricial, que, em sua forma simplificada, é representada por:

$$W \Delta d = -\nabla La \quad (3.12)$$

onde,

$$W = \begin{pmatrix} \nabla_{xx}^2 La & 0 & 0 & J(x)^t & I & I \\ 0 & \delta(Su) & 0 & 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & \delta(Si) & 0 & 0 & -I \\ J(x) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ I & I & 0 & 0 & 0 & 0 \\ I & 0 & -I & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

é a matriz Lagrangiana, com

$$Su = \begin{pmatrix} \frac{1}{(su_1)^2} & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \frac{1}{(su_n)^2} \end{pmatrix},$$

$$Si = \begin{pmatrix} \frac{1}{(si_1)^2} & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \frac{1}{(si_n)^2} \end{pmatrix}$$

e

$$\nabla_{xx}^2 La = \nabla_{xx}^2 f(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i \nabla_{xx}^2 g_i(x) + \sum_{j=1}^r \begin{cases} (\mu_j + ch_j(x)) \nabla_{xx}^2 h_j(x) + c(\nabla_x h_j(x)) \nabla_x h_j(x)^t, & \text{se } h_j(x) \geq -\frac{\mu_j}{c} \\ 0, & \text{se } h_j(x) \leq -\frac{\mu_j}{c} \end{cases}$$

$\Delta d^t = (\Delta x, \Delta su, \Delta si, \Delta \lambda, \Delta \pi u, \Delta \pi i)$ é o vetor das direções de busca, e

$$\nabla L_a = \begin{pmatrix} \nabla_x f(x)^t + \lambda^t J(x) + (\pi u)^t I + (\pi i)^t I + \sum_{j=1}^r \begin{cases} (\mu_j + c h_j(x)) \nabla_x h_j(x)^t, & \text{se } h_j(x) \geq -\frac{\mu_j}{c} \\ 0, & \text{se } h_j(x) \leq -\frac{\mu_j}{c} \end{cases} \\ -\frac{\delta}{su_k} + \pi u_k, \quad k = 1, \dots, n \\ -\frac{\delta}{si_k} - \pi i_k, \quad k = 1, \dots, n \\ g_i(x), \quad i = 1, \dots, m \\ x + su - x^{\max} \\ x - si - x^{\min} \end{pmatrix}$$

é denominado vetor gradiente.

A solução do sistema (3.12) fornece os incrementos das variáveis, Δ_s , utilizados na atualização das mesmas. As variáveis x , su e si , e os vetores multiplicadores de Lagrange, λ , πu e πi são atualizados da seguinte forma:

$$\begin{aligned} x^{k+1} &= x^k + \alpha_p \Delta x^k \\ su^{k+1} &= su^k + \alpha_p \Delta su^k \\ si^{k+1} &= si^k + \alpha_p \Delta si^k \\ \lambda^{k+1} &= \lambda^k + \alpha_d \Delta \lambda^k \\ \pi u^{k+1} &= \pi u^k + \alpha_d \Delta \pi u^k \\ \pi i^{k+1} &= \pi i^k + \alpha_d \Delta \pi i^k \end{aligned} \tag{3.13}$$

onde α_p e α_d são os passos utilizados na atualização das variáveis primais e duais, respectivamente.

Esses passos são calculados de forma que cada componente dos vetores das variáveis auxiliares su e si permaneça estritamente positiva, e os elementos dos vetores duais λ , π_u e π_i permaneçam com seus respectivos sinais. Uma sugestão para o cálculo do passo máximo é a estratégia utilizada por GRANVILLE (1994) e QUINTANA (1995), dada por:

$$\alpha_p = \min \left\{ \sigma \left[\left(\min_{\Delta su < 0} \frac{su}{|\Delta su|}, \min_{\Delta si < 0} \frac{si}{|\Delta si|} \right), 1 \right] \right\} \quad (3.14)$$

$$\alpha_d = \min \left\{ \sigma \left[\left(\min_{\Delta \pi_u > 0} \frac{-\pi_u}{|\Delta \pi_u|}, \min_{\Delta \pi_i < 0} \frac{\pi_i}{|\Delta \pi_i|} \right), 1 \right] \right\} \quad (3.15)$$

onde $\sigma = 0.9995$ é um valor determinado empiricamente e que, segundo WRIGHT (1995), é derivada da fórmula $1 - \frac{1}{9\sqrt{m}}$, onde m é o número de restrições do problema.

Os multiplicadores de Lagrange μ são atualizados utilizando-se a regra de HESTENES (1969):

$$\mu_j^{k+1} = \begin{cases} \mu_j^k + c^k h_j(x^{k+1}), & \text{se } h_j(x^{k+1}) \geq -\frac{\mu_j^k}{c^k} \\ 0, & \text{se } h_j(x^{k+1}) \leq -\frac{\mu_j^k}{c^k} \end{cases} \quad j = 1, \dots, r \quad (3.16)$$

e o fator de penalidade c e o fator de barreira δ , respectivamente, da seguinte forma:

$$c^{k+1} = \beta c^k, \beta > 1 \quad (3.17)$$

$$\delta^{k+1} = \frac{\delta^k}{\rho}, \rho > 1.$$

onde β e ρ são denominados fatores de correção.

3.6 ALGORITMO

A nova abordagem do método da função Lagrangiana aumentada-barreira pode ser apresentada pelo seguinte algoritmo:

Passo inicial

Dado o problema (3.1) construa a Função Lagrangiana aumentada-barreira logarítmica (3.9);

Faça $k = 0$;

Escolha uma solução inicial para as variáveis do problema: $x^0, \lambda^0, (\pi u)^0,$

$(\pi i)^0, (su)^0, (si)^0, \mu^0, c^0, \delta^0$.

Passo iterativo

I1) Determine o sistema (3.12) e resolva-o;

I2) Atualize as variáveis $x, \lambda, su, si, \pi u$ e πi utilizando (3.13);

I3) Se o critério de parada escolhido para o método de Newton está satisfeito, vá ao passo **I4**;

Senão, volte ao passo **I1**;

I4) Se as condições de KKT estão satisfeitas, **FIM**;

Senão, vá ao passo **I5**;

I5) Atualize os multiplicadores de Lagrange e os fatores de penalidade e barreira usando (3.16) e (3.17), $k = k+1$ e volte a **I1**.

A técnica preserva as características do método da função Lagrangiana aumentada, pois caminha pelo exterior da região factível, porém, obedece às restrições de canalização. A convergência do algoritmo está diretamente ligada à escolha dos fatores iniciais de penalidade e barreira e de seus parâmetros de correção.

Em razão do processo de linearização é gerado um sistema matricial esparso. A seguir apresentaremos a técnica de esparsidade utilizada na resolução do sistema linearizado.

3.7 TÉCNICAS DE ESPARSIDADE

A resolução do sistema (3.12) envolve o manuseio de um sistema algébrico linear de grande dimensão com uma matriz de coeficiente altamente esparsa. A eficiência na resolução deste sistema depende do modelo e da técnica de esparsidade utilizadas.

Há várias publicações e estudos destes métodos, entre eles podemos destacar a eliminação de Gauss, NOBUO & TINNEY (1963), TINNEY & WALKER (1967), ZOLLENKOPF (1971), EISENSTAT et al. (1981) e TINNEY et al. (1985). Também

há o pacote de sub-rotinas desenvolvidas por L.S Duff e J.K. Reid, do Rutherford Appleton Laboratory.

Entre os métodos vistos, optamos por utilizar a sub-rotina, M57 desenvolvida por L.S Duff e J.K. Reid, do Rutherford Appleton Laboratory. Essa sub-rotina determina a solução de sistemas lineares esparsos, utilizando uma variante da eliminação de Gauss.

Considerando as características da matriz gerada na solução do FPO, simétrica de valor e de posição, não existe a necessidade de se trabalhar com todos os valores da matriz. Pode-se usar apenas a matriz triangular superior ou inferior. A sub-rotina MA57 é ideal para a aplicação neste algoritmo, pois necessita apenas dos valores da matriz triangular superior ou inferior para a solução do problema. Com isso, economiza-se memória e tempo de processamento, uma vez que o número de elementos a serem armazenados é bem menor.

3.8 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

A implementação computacional do programa de FPO foi realizada em linguagem FORTRAN; o programa foi desenvolvido em um micro-computador Pentium III – 800 MHz, com 256 Mbytes de memória RAM, do Laboratório de Otimização de Sistemas Elétricos de Potência (LOSEP), do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC – USP). Na implementação utilizamos a dupla precisão aritmética.

O programa foi dividido nos seguintes módulos, mostrados na Figura 3.1:

Figura 3.1 – Módulos do programa do Método da Função Lagrangiana Aumentada-Barreira Logarítmica, aplicado ao problema de FPO

em que:

ENTRADA – faz a declaração das variáveis e constantes utilizadas no programa (variáveis globais);

DADOS – faz a leitura dos dados do sistema, isto é, os dados de barras e dados de linhas;

TOPOLOGIA DA REDE – armazena a topologia do sistema elétrico, isto é, as ligações existentes entre as barras. É de fundamental importância para a criação do vetor gradiente e da matriz Lagrangiana;

VETOR GRADIENTE – constrói o vetor gradiente associado à função Lagrangiana aumentada-barreira logarítmica;

MATRIZ LAGRANGIANA – constrói a matriz Lagrangiana, W , associada à função Lagrangiana aumentada-barreira logarítmica. A matriz W é utilizada na resolução do sistema linear (3.12);

MA57 – resolve o sistema linear (3.12) utilizando a sub-rotina MA57 até a satisfação de um critério de parada interno;

CRITÉRIO DE PARADA INTERNO – verifica se as restrições de igualdade foram satisfeitas dentro de uma tolerância predeterminada;

CRITÉRIO DE PARADA EXTERNO – verifica se as condições de KKT foram satisfeitas;

ATUALIZAÇÃO – atualiza os fatores de penalidade e barreira por um parâmetro predeterminado;

SAÍDA – gera o arquivo de saída que contém os dados do sistema otimizado, variáveis primais e duais.

O programa é composto de iterações denominadas internas e externas. As iterações internas correspondem à resolução sucessiva do sistema linear (3.12) com a utilização da sub-rotina MA57 até a satisfação de um critério de parada interno; as iterações externas correspondem à atualização dos fatores de penalidade e barreira até a satisfação de um critério de parada externo.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

4.1 INTRODUÇÃO

Na literatura especializada, há muitas citações do uso de análise de sensibilidade, tanto em problemas de programação linear (PL), como em problemas de programação não linear (PNL). Neste capítulo apresentaremos uma metodologia de análise de sensibilidade voltada para problemas de PNL, que será empregada no próximo capítulo ao problema de FPO.

A metodologia apresentada é baseada no teorema proposto por FIACCO (1976). O teorema utiliza a análise de sensibilidade de primeira ordem aplicada à solução local de segunda ordem, para estimar a solução após a ocorrência de perturbações no problema de PNL. As perturbações podem ser tanto nas restrições como na função objetivo. A análise de sensibilidade que apresentaremos considera apenas as perturbações nas restrições de igualdade.

4.2 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DA SENSIBILIDADE UTILIZADA

Ao problema de PNL associaremos perturbações, ε , nas restrições de igualdade.

$$\begin{aligned} \min f(x) \\ \text{s.a } g_i(x) + \varepsilon_i = 0, \quad i = 1, \dots, m \\ h_j(x) \leq 0, \quad j = 1, \dots, r \\ x^{\min} \leq x \leq x^{\max} \end{aligned} \quad (4.1)$$

em que:

$\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_m)$ - vetor perturbação.

Para encontrarmos a solução para o problema, depois de realizadas perturbações, isto é, $\varepsilon \neq 0$, associamos a seguinte função Lagrangiana:

$$L(x, \mu, \lambda, \varepsilon) = f(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i [g_i(x) + \varepsilon_i] + \sum_{j=1}^r \mu_j h_j(x) \quad (4.2)$$

onde λ é o vetor dos multiplicadores de Lagrange associados às restrições de igualdade, e μ é o vetor dos multiplicadores de Lagrange para as restrições de desigualdade ativas.

Para aplicarmos a técnica de sensibilidade, é preciso termos primeiramente a solução ótima para o problema, x^* , λ^* e μ^* , sem perturbação, ou seja, a solução para $\varepsilon = 0$.

A técnica de sensibilidade considera o gradiente da função Lagrangiana, a folga complementar e as restrições de igualdade perturbada, isto é:

$$\begin{aligned} \nabla_x L(x, \mu, \lambda, \varepsilon) &= 0 \\ \mu_j [h_j(x)] &= 0 \quad j = 1, \dots, r \\ g_i(x) + \varepsilon_i &= 0 \quad i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (4.3)$$

onde, $\mu \geq 0$, λ irrestrito e o gradiente da função Lagrangiana representado por:

$$\nabla_x L(x, \mu, \lambda, \varepsilon) = \nabla_x f(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i \nabla_x [g_i(x) + \varepsilon_i] + \sum_{j=1}^r \mu_j \nabla_x h_j(x) \quad (4.4)$$

Determinamos as raízes do sistema não linear (4.3), linearizando o sistema no ponto (x^*, λ^*, μ^*) , o que resulta no seguinte sistema linear:

$$\begin{aligned} \nabla_x L(x^*, \mu^*, \lambda^*, \varepsilon) + \nabla_{xx} L(x^*, \mu^*, \lambda^*, \varepsilon) \Delta x + \nabla_{x\mu} L(x^*, \mu^*, \lambda^*, \varepsilon) \Delta \mu + \nabla_{x\lambda} L(x^*, \mu^*, \lambda^*, \varepsilon) \Delta \lambda &= 0 \\ \mu_j^* h_j(x^*) + \mu_j^* \nabla_x h_j(x^*) \Delta x + \nabla_{\mu} \mu_j^* h_j(x^*) \Delta \mu &= 0 \\ [g_i(x^*) + \varepsilon_i] + \nabla_x [g_i(x^*) + \varepsilon_i] \Delta x &= 0 \end{aligned} \quad (4.5)$$

Eliminando os termos nulos temos:

$$\begin{aligned}
 \nabla_{xx} L(x^*, \mu^*, \lambda^*, \varepsilon) \Delta x + \nabla_x h_j(x^*) \Delta \mu + \nabla_x g_i(x^*) \Delta \lambda &= 0 \\
 \mu_j^* \nabla_x h_j(x^*) \Delta x + h_j(x^*) \Delta \mu &= 0 \\
 \varepsilon_i + \nabla_x g_i(x^*) \Delta x &= 0
 \end{aligned} \tag{4.6}$$

O conjunto de eqs (4.6) pode ser representado na forma matricial por (4.7).

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta \mu \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \nabla_{xx} L(x^*, \lambda^*, \mu^*, \varepsilon) & \nabla_x h_j(x^*) & \nabla_x g_i(x^*) \\ \mu_j^* \nabla_x h_j(x^*) & h_j(x^*) & 0 \\ \nabla_x g_i(x^*) & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \varepsilon_i \end{bmatrix} \tag{4.7}$$

O que resulta de forma compacta no sistema matricial (4.8).

$$\begin{bmatrix} x(\varepsilon) - x^* \\ \mu(\varepsilon) - \mu^* \\ \lambda(\varepsilon) - \lambda^* \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \nabla^2 L^* & H^* & G^* \\ M^* (H^*)^T & \text{diag}[h_j(x^*)] & 0 \\ (G^*)^T & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \varepsilon \end{bmatrix} \tag{4.8}$$

onde:

$$\nabla^2 L^* = \nabla_{xx}^2 f(x^*) + \nabla_{xx}^2 \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(x^*) + \nabla_{xx}^2 \sum_{j=1}^r \mu_j h_j(x^*); \quad M^* = \begin{pmatrix} \mu_1^* & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \mu_j^* \end{pmatrix};$$

$$G^* = [\nabla g_1(x^*), \dots, \nabla g_m(x^*)]; \quad H^* = [\nabla h_1(x^*), \dots, \nabla h_r(x^*)]; \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_m \end{bmatrix}.$$

Determinamos, dessa forma, a metodologia de sensibilidade que aplicaremos ao problema de FPO, a qual chamaremos de “SFPO”.

4.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SFPO

Para exemplificar, aplicaremos a metodologia SFPO ao problema (4.9). Neste exemplo estimaremos novas soluções depois de realizadas perturbações na restrição de igualdade. Consideremos o seguinte problema:

$$\begin{aligned} \min \quad & x_1^2 + x_2^2 \\ \text{s.a} \quad & x_1 + 2x_2 = 1 + \varepsilon_1 \\ & x_1^2 - x_2 \geq 0 \end{aligned} \tag{4.9}$$

Para aplicarmos a metodologia SFPO, primeiramente temos que resolver o problema para encontrarmos o ponto ótimo sem perturbação. Após haver sido encontrado o ponto ótimo do problema, utilizaremos a SFPO para estimar um novo ponto quando $\varepsilon_1 \neq 0$.

A tabela 4.1 apresenta uma legenda dos símbolos utilizados nesta aplicação.

TABELA 4.1 – Legenda de símbolos

Símbolo	Significado
*	Ponto ótimo sem perturbação utilizado na análise de sensibilidade
○	Ponto ótimo após perturbação
+	Ponto estimado
— — —	Curvas de nível da função Objetivo
— — —	Restrição de desigualdade
—	Restrição de igualdade sem perturbação
—	Restrição de igualdade com perturbação

4.3.1 OBTENÇÃO DO PONTO ÓTIMO

Ao problema (4.9), onde todas as restrições estão ativas, podemos associar a seguinte função Lagrangiana:

$$L = (x_1^2 + x_2^2) + \lambda_1(x_1 + 2x_2 - 1 - \varepsilon_1) + \mu_1(x_1^2 - x_2)$$

A condição de otimalidade, aplicada à função Lagrangiana resulta no seguinte sistema de equações:

$$\begin{aligned}
 2x_1 + \lambda_1 + 2\mu_1 x_1 &= 0 \\
 2x_2 + 2\lambda_1 + \mu_1 &= 0 \\
 x_1 + 2x_2 - 1 - \varepsilon_1 &= 0 \\
 x_1^2 - x_2 &= 0
 \end{aligned}
 \tag{4.10}$$

Resolvendo o sistema (4.10), obtemos a solução, em função de ε_1 , pelas expressões a seguir.

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \frac{-1 + \sqrt{9 - 8\varepsilon_1}}{4} \\
 x_2 &= x_1^2 \\
 \mu_1 &= \frac{2x_2 - 4x_1}{4x_1 + 1} \\
 \lambda_1 &= \frac{-2x_2 + \mu_1}{2}
 \end{aligned} \tag{4.11}$$

Para $\varepsilon_1 = 0$, temos o ponto ótimo do problema sem perturbação, representado na tabela 4.2 e na Figura 4.1, que satisfaz KKT.

TABELA 4.2 – Solução ótima do problema, $\varepsilon_1 = 0$

$\varepsilon_1 = 0$	x_1	x_2	λ_1	μ_1	$f(x)$
‘*’	0,5000	0,2500	-0,5000	-0,5000	0,3125

Figura 4.1 – Solução ótima do problema, $\varepsilon_1 = 0$

4.3.2 ESTIMAÇÃO DO NOVO PONTO VIA SFPO

Obtido o ponto ótimo para o problema (4.9), aplicamos a metodologia SFPO para estima novas soluções ao problema perturbado, isto é, com $\varepsilon_1 \neq 0$.

Da eq.(4.8) temos o seguinte sistema,

$$\begin{bmatrix} x(\varepsilon) \\ \mu(\varepsilon) \\ \lambda(\varepsilon) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x^* \\ \mu^* \\ \lambda^* \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \nabla^2 L^* & H^* & G^* \\ M^*(H^*)^T & \text{diag}[h_j(x^*)] & 0 \\ (G^*)^T & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \varepsilon_i \end{bmatrix},$$

que após substituídos os valores da tabela 4.2, resulta no seguinte sistema:

$$\begin{bmatrix} x_1(\varepsilon_1) \\ x_2(\varepsilon_1) \\ \mu_1(\varepsilon_1) \\ \lambda_1(\varepsilon_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5000 \\ 0,2500 \\ -0,500 \\ -0,500 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1,0000 & 0,0000 & -1,0000 & 1,0000 \\ 0,0000 & 2,0000 & 1,0000 & 2,0000 \\ 0,5000 & -0,5000 & 0,0000 & 0,0000 \\ 1,0000 & 2,0000 & 0,0000 & 0,0000 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0,0000 \\ 0,0000 \\ 0,0000 \\ \varepsilon_1 \end{bmatrix},$$

onde as variáveis em função de ε_1 são determinadas como segue.

$$\begin{bmatrix} x_1(\varepsilon_1) \\ x_2(\varepsilon_1) \\ \mu_1(\varepsilon_1) \\ \lambda_1(\varepsilon_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5000 \\ 0,2500 \\ -0,500 \\ -0,500 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0,3333\varepsilon_1 \\ 0,3333\varepsilon_1 \\ 0,0000\varepsilon_1 \\ -0,3333\varepsilon_1 \end{bmatrix}.$$

4.3.3 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA SFPO

Para o problema (4.9) aplicaremos uma perturbação de $\varepsilon_1 = 0,02$, $\varepsilon_1 = 0,10$ e $\varepsilon_1 = 0,20$, que corresponde à variação de 2%, 10% e 20% nos recursos da restrição de igualdade. Para cada caso compararemos a solução via SFPO com a solução obtida através das eqs.(4.11).

A tabela 4.3 mostra os pontos obtidos via SFPO, “+”, e via equações (4.11), “o”, para $\varepsilon_1 = 0,02$, os quais podem ser visualizados na Figura 4.2.

TABELA 4.3 – Soluções pós-perturbação, $\varepsilon_1 = 0,02$

$\varepsilon_1 = 0,02$	x_1	x_2	λ_1	μ_1	$f(x)$
‘o’	0,4933	0,2433	-0,4933	-0,5000	0,3025
‘+’	0,4933	0,2433	-0,4933	-0,5000	0,3025

Figura 4.2 – Solução do problema para $\varepsilon_1 = 0,02$

A tabela 4.4 mostra os pontos obtidos via SFPO, “+”, e via eqs.(4.11), “o”, para $\varepsilon_1 = 0,10$, os quais podem ser visualizados na Figura 4.3.

TABELA 4.4 – Soluções pós-perturbação, $\varepsilon_1 = 0,10$

$\varepsilon_1 = 0,10$	x_1	x_2	λ_1	μ_1	$f(x)$
‘o’	0,4659	0,2171	-0,4666	-0,4992	0,2649
‘+’	0,4667	0,2167	-0,4667	0,5000	0,2647

Figura 4.3 – Solução do problema para $\varepsilon_1 = 0,10$

A tabela 4.5 mostra os pontos obtidos via SFPO, “+”, e via as equações (4.11), “o”, para $\varepsilon_1 = 0,20$, os quais podem ser visualizados na Figura 4.4.

TABELA 4.5 – Soluções pós-perturbação, $\varepsilon_1 = 0,20$

$\varepsilon_1 = 0,20$	x_1	x_2	λ_1	μ_1	$f(x)$
'o'	0,4301	0,1850	-0,4332	-0,4964	0,2192
'+'	0,4333	0,1833	-0,4333	-0,5000	0,2213

Figura 4.4 – Solução do problema para $\varepsilon_1 = 0,20$

A aplicação mostrou que a metodologia SFPO pode ser aplicada em problemas de PNL com bons resultados. Quanto menor a perturbação, melhor o resultado estimado via SFPO. A obtenção de novas soluções via SFPO, ao contrário dos métodos de resolução de problemas PNL, não é iterativo e não depende da escolha de parâmetros iniciais e de correção. No capítulo 6 mostraremos vários exemplos da metodologia aplicada ao problema de FPO.

SENSIBILIDADE APLICADA AO PROBLEMA DE FPO

5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, aplicaremos a metodologia SFPO ao problema de FPO, mostraremos o algoritmo de resolução e discutiremos sua implementação computacional.

5.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SFPO AO PROBLEMA DE FLUXO DE POTÊNCIA ÓTIMO

Um sistema opera em regime permanente, porém devido a flutuação nas demandas uma perturbação é introduzida ao sistema. Se introduzirmos esta perturbação ao problema de FPO, resulta o seguinte problema perturbado.

$$\begin{aligned}
\min \quad & \sum_{m \in \Omega_k} g_{km} (V_k^2 + V_m^2 - 2V_k V_m \cos \theta_{km}) \\
\text{s.a.} \quad & P_k - \sum_{m \in \Omega_k} P_{km} + \varepsilon_k^P = 0 \quad k = 1, \dots, \text{NBCCR} \\
& Q_k + Q_k^{\text{sh}} - \sum_{m \in \Omega_k} Q_{km} + \varepsilon_k^Q = 0 \quad k = 1, \dots, \text{NBC} \\
& Q_k^{\min} + Q_k^{\text{sh}} \leq \sum_{m \in \Omega_k} Q_{km} \leq Q_k^{\max} + Q_k^{\text{sh}} \quad k = 1, \dots, \text{NBCR} \\
& V_k^{\min} \leq V_k \leq V_k^{\max} \quad k = 1, \dots, \text{NB}
\end{aligned} \tag{5.1}$$

onde:

ε_k^P – vetor perturbação relacionado com as equações de igualdade das potências ativas;

ε_k^Q – vetor perturbação relacionado com as equações de igualdade das potências reativas.

Chamaremos as restrições:

$$P_K - \sum_{m \in \Omega_k} P_{km} + \varepsilon_k^P = 0 \quad \text{e} \quad Q_K + Q_K^{\text{sh}} - \sum_{m \in \Omega_k} Q_{km} + \varepsilon_k^Q, \quad \text{de } g_i \quad \text{onde } i=1, \dots, m;$$

$$Q_K^{\min} + Q_K^{\text{sh}} \leq \sum_{m \in \Omega_k} Q_{km} \leq Q_K^{\max} + Q_K^{\text{sh}} \quad \text{e} \quad V_K^{\min} \leq V_K \leq V_K^{\max}, \quad \text{de } h_j \quad \text{onde } j=1, \dots, r;$$

e a função objetivo,

$$\sum_{m \in \Omega_k} g_{km} (V_k^2 + V_m^2 - 2V_k V_m \cos \theta_{km}), \quad \text{de } f.$$

Utilizamos o FPO para obter a solução para o problema sem perturbação, ou seja, para $\varepsilon = 0$. Obtida a solução, associamos ao problema a seguinte função Lagrangina

$$L = f^* + \sum_{i=1}^m \lambda_i^* g_i^* + \sum_{j=1}^r \mu_j^* h_j^* \quad (5.2)$$

onde f , g e h estão em função das variáveis: magnitude de tensão, V^* , e ângulo de fase, θ^* .

Como apresentado, a fórmula compacta da SFPO é dada por:

$$\begin{bmatrix} x(\varepsilon) - x^* \\ \mu(\varepsilon) - \mu^* \\ \lambda(\varepsilon) - \lambda^* \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \nabla^2 L^* & H^* & G^* \\ M^* (H^*)^T & \text{diag}(h_j^*) & 0 \\ (G^*)^T & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \varepsilon \end{bmatrix}.$$

Com a finalidade de facilitar a representação do sistema, chamaremos a matriz,

$$\left[\begin{array}{c|c|c} \nabla^2 L^* & H^* & G^* \\ \hline M^* (H^*)^T & \text{diag}(h_j^*) & 0 \\ \hline (G^*)^T & 0 & 0 \end{array} \right], \text{ de } S^*, \text{ e o vetor, } \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \varepsilon \end{bmatrix}, \text{ de } E.$$

As sub-matrizes de S^* podem ser representadas por:

$$\nabla^2 L^* = \begin{bmatrix} \nabla_{\theta_1 \theta_1}^2 L^* & \cdots & \nabla_{\theta_1 \theta_N}^2 L^* & \nabla_{\theta_1 V_1}^2 L^* & \cdots & \nabla_{\theta_1 V_N}^2 L^* \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \nabla_{\theta_N \theta_1}^2 L^* & \cdots & \nabla_{\theta_N \theta_N}^2 L^* & \nabla_{\theta_N V_1}^2 L^* & \cdots & \nabla_{\theta_N V_N}^2 L^* \\ \hline \nabla_{V_1 \theta_1}^2 L^* & \cdots & \nabla_{V_1 \theta_N}^2 L^* & \nabla_{V_1 V_1}^2 L^* & \cdots & \nabla_{V_1 V_N}^2 L^* \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \nabla_{V_N \theta_1}^2 L^* & \cdots & \nabla_{V_N \theta_N}^2 L^* & \nabla_{V_N V_1}^2 L^* & \cdots & \nabla_{V_N V_N}^2 L^* \end{bmatrix}; \quad H^* = \begin{bmatrix} \nabla_{\theta_1} h_1^* & \cdots & \nabla_{\theta_1} h_r^* \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \nabla_{\theta_N} h_1^* & \cdots & \nabla_{\theta_N} h_r^* \\ \hline \nabla_{V_1} h_1^* & \cdots & \nabla_{V_1} h_r^* \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \nabla_{V_N} h_1^* & \cdots & \nabla_{V_N} h_r^* \end{bmatrix};$$

$$G^* = \begin{bmatrix} \nabla_{\theta_1} g_1^* & \cdots & \nabla_{\theta_1} g_m^* \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \nabla_{\theta_N} g_1^* & \cdots & \nabla_{\theta_N} g_m^* \\ \hline \nabla_{V_1} g_1^* & \cdots & \nabla_{V_1} g_m^* \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \nabla_{V_N} g_1^* & \cdots & \nabla_{V_N} g_m^* \end{bmatrix}; \quad M^*(H^*) = \begin{bmatrix} \mu_1^* \nabla_{\theta_1} h_1^* & \cdots & \mu_1^* \nabla_{\theta_N} h_1^* & \mu_1^* \nabla_{V_1} h_1^* & \cdots & \mu_1^* \nabla_{V_N} h_1^* \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_r^* \nabla_{\theta_1} h_r^* & \cdots & \mu_r^* \nabla_{\theta_N} h_r^* & \mu_r^* \nabla_{V_1} h_r^* & \cdots & \mu_r^* \nabla_{V_N} h_r^* \end{bmatrix};$$

$$(G^*)^T = \begin{bmatrix} \nabla_{\theta_1} g_1^* & \cdots & \nabla_{\theta_N} g_1^* & \nabla_{V_1} g_1^* & \cdots & \nabla_{V_N} g_1^* \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \nabla_{\theta_1} g_m^* & \cdots & \nabla_{\theta_N} g_m^* & \nabla_{V_1} g_m^* & \cdots & \nabla_{V_N} g_m^* \end{bmatrix}; \quad \text{diag}(h_j^*) = \begin{bmatrix} h_1^* & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & h_r^* \end{bmatrix}.$$

E o vetor ε , de E, por:

$$\varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_1^P \\ \vdots \\ \varepsilon_{NBCCR}^P \\ \varepsilon_1^Q \\ \vdots \\ \varepsilon_{NBCR}^Q \end{pmatrix}$$

A seguinte expressão é usada para estimar novas soluções quando alguma perturbação ocorrer no problema. O sucesso da abordagem está na obtenção das variáveis ótimas do problema, utilizadas na construção da matriz S^* . Por tanto, é

necessária a utilização de um método de FPO que forneça, além das variáveis ótimas primais, as variáveis ótimas duais.

$$\begin{bmatrix} x(\epsilon) \\ \mu(\epsilon) \\ \lambda(\epsilon) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x^* \\ \mu^* \\ \lambda^* \end{bmatrix} - [S^*]^{-1} [E] \quad (5.3)$$

5.3 RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE FLUXO DE POTÊNCIA ÓTIMO PERTURBADO VIA SFPO

A metodologia SFPO pode ser representada pelos seguintes passos:

- I1)** Determine o vetor solução (x^*, λ^*, μ^*) para o problema de FPO;
- I2)** Determine a matriz S^* ;
- I3)** Determine o vetor perturbação E ;
- I4)** Resolva o sistema (5.3);
- I5)** **FIM.**

O maior esforço computacional do algoritmo SFPO está na resolução do sistema linear (5.3). A seguir apresentaremos a técnica de esparsidade utilizada na resolução do sistema.

5.4 TÉCNICA DE ESPARSIDADE UTILIZADA

Considerando as características da matriz gerada na solução da SFPO, simétrica de posições e não de valores, optamos por utilizar a sub-rotina MA28, do

pacote de sub-rotinas desenvolvidas por L.S Duff e J.K. Reid, do Rutherford Appleton Laboratory. A seguir faremos uma pequena apresentação da sub-rotina.

A sub-rotina MA28 foi apresentada por DUFF & REID (1979), constitui em um método direto de resolução de sistemas do tipo $Ax = b$. O método é uma variante da eliminação Gauss para sistemas esparsos. Dada uma matriz esparsa A, a sub-rotina MA28 pode ser usada para se obter a decomposição LU de uma permutação de A:

$$PAQ=LU$$

onde P e Q são matrizes de permutação, L é uma matriz triangular inferior unitária e U é a matriz triangular superior.

O método é dividido em três estágios. No primeiro a matriz A é decomposta em fatores, através de uma estratégia designada a manter a esparsidade, minimizar o número de *fill-ins*, através da escolha dos pivô. O esquema para seleção do pivô é baseado em MARKOWITZ (1957) que seleciona um elemento diferente de zero para pivô que produza um menor número de *fill-ins*. Para evitar que o pivô escolhido seja de valor pequeno, o que causaria instabilidade numérica, realiza-se um teste.

$$|a_{kk}^{(k)}| \geq u \cdot \max_i |a_{ki}^{(k)}|$$

onde u é um parâmetro de entrada e tem que satisfazer ao intervalo $0 \leq u \leq 1$, onde valores entre 0,1 e 0,25 são usualmente satisfatórios na prática. No segundo estágio, a matriz é fatorada seguindo a ordem de pivoteamento, definida anteriormente no primeiro estágio. A estratégia de fatoração também faz com que possa haver melhor controle quando a matriz A é singular, ou possua elementos nulos na diagonal. No último estágio, é obtida a solução do sistema, o vetor de entrada b é utilizado como vetor solução x . Caso o vetor b seja esparso, essa esparsidade também é explorada.

5.5 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

A implementação computacional do programa de SFPO foi realizada em linguagem FORTRAN. O programa foi desenvolvido em um micro-computador Pentium III – 800 MHz, com 256 Mbytes de memória RAM, do Laboratório de Otimização de Sistemas Elétricos de Potência (LOSEP), do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC – USP). Na implementação utilizamos a dupla precisão aritmética.

O programa foi dividido nos seguintes módulos, mostrados na Figura 5.1:

Figura 5.1 - Módulos do programa da metodologia SFPO

Onde:

ENTRADA DE DADOS – faz a leitura de dois bancos de dados. Primeiramente, a leitura do banco de dados do sistema elétrico, e, em seguida, a leitura do banco de dados das variáveis ótimas do sistema, obtidas via FPO.

TOPOLOGIA DA REDE – realiza a construção dos vetores que contêm as informações da configuração do sistema, ou seja, as ligações físicas existentes entre as barras do sistema elétrico;

MATRIZ S – identifica as posições da matriz S e numera essas posições. A matriz S é uma matriz esparsa. Tal esparsidade é explorada de forma a otimizar o desempenho computacional;

VETOR E – constrói o vetor E com as possíveis perturbações do sistema.

MA28 – resolve o sistema (5.3) com o auxílio da sub-rotina MA28;

FIM – o programa é finalizado e o arquivo de saída pode ser lido pelo usuário.

O programa não é iterativo e não depende de parâmetros de entrada. O maior esforço computacional está na resolução do sistema linear (5.3), em que foi utilizada a sub-rotina MA28.

RESULTADOS NUMÉRICOS

6.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentaremos os resultados numéricos obtidos utilizando a metodologia SFPO. Analisaremos os sistemas elétricos: 3 barras, 9 barras, IEEE 14, IEEE 30, CESP 53, IEEE 118, IEEE 162 e o IEEE 300.

No sistema de 3 barras, faremos uma aplicação detalhada para mostrar os passos da metodologia SFPO. Para o sistema IEEE 14 barras, faremos comparações numéricas entre as soluções obtidas pela SFPO e pelo FPO. Para os sistemas, IEEE 30, CESP 53, IEEE 118 e IEEE 162, aplicaremos a metodologia SFPO para diferentes situações e analisaremos os resultados. No sistema IEEE 300, faremos perturbações em um conjunto de barras de carga, analisaremos os resultados e faremos uma análise de sensibilidade deste aumento de carga em relação à injeção de potência reativa nas barras de geração. Para estes testes, utilizaremos o FPO implementado neste trabalho, para encontrar o ponto ótimo para a condição inicial dos sistemas. Nestes testes, a SFPO será aplicada ao problema de despacho ótimo de

potência reativa. Este é um caso crítico, porque somente a barra *slack* absorve as variações na demanda.

No sistema de 9 barras, testaremos a metodologia SFPO aplicada ao problema de Despacho Ótimo de Potência Ativa (DOPA). Neste caso todas as barras de geração, inclusive a barra *slack*, absorverão as perturbações na demanda do sistema.

Em todos os testes apresentados, a função objetivo do problema representa as perdas ativas na transmissão.

Os bancos de dados dos sistemas utilizados nos testes e as Tabelas de convergência do FPO estão no Apêndice A. As Tabelas de resultados dos sistemas IEEE 118, IEEE 162 e IEEE 300 estão apresentadas no Apêndice B, por serem muito extensas. Nessas Tabelas temos o ponto ótimo sem perturbação e o ponto estimado após a perturbação.

6.2 EXEMPLO 1: SISTEMA 3 BARRAS

Este problema foi proposto por DOMMEL & TINNEY (1968). A Figura 6.1 representa o sistema, que apresenta as seguintes características:

- 1 barra de geração (*slack*) - barra 1;
- 1 barra de controle reativo (PV) - barra 2;
- 1 barra de carga (PQ) - barra 3;
- 2 linhas de transmissão.

Figura 6.1 – Sistema 3 Barras

As condições iniciais do sistema estão mostradas na Tabela 6.1, e os limites das variáveis, na Tabela 6.2. A solução ótima para o sistema está detalhada nas Tabelas 6.3 e 6.4.

TABELA 6.1 – Condição inicial do sistema 3 barras

Barra k	Tipo	V_k (p.u.)	θ_k (graus)	P_k (MW)	Q_k (MVar)
1	Slack	1,0	0,0	---	---
2	PV	1,0	0,0	170,0	---
3	PQ	1,0	0,0	-200,0	-100,0

TABELA 6.2 – Limite das variáveis do sistema 3 barras

Barra k	$V_k^{\min}$ (p.u.)	$V_k^{\max}$ (p.u.)	$Q_k^{\min}$ (MVar)	$Q_k^{\max}$ (MVar)
1	0,8	1,2	-9999	9999
2	0,8	1,2	100	200
3	0,9	1,0	---	---

TABELA 6.3 – Variáveis primais, geração de potência reativa e perdas na transmissão obtidas via FPO para ($\epsilon=0,0$)

Barra k	V_k (p.u.)	θ_k (graus)	Q (MVar)
1	1,0712	0	28,4
2	1,1247	4,38	101,1
3	1,0000	-1,32	---
Perdas (MW)		12,916 MW	

TABELA 6.4 – Variáveis duais obtidas via FPO

Barra k	μ (limite superior de V_k)	μ (limite inferior de V_k)	μ (limite superior de Q_k)	μ (limite inferior de Q_k)	λ (balanço da potência ativa)	λ (balanço da potência reativa)
1	0,0000	0,0000	---	---	---	---
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0275	---
3	0,2524	0,0000	---	---	-0,0793	-0,0499

Tendo a solução ótima para o caso inicial, podemos estimar novas soluções depois de realizadas perturbações no sistema através da SFPO. O problema perturbado é representado por (6.1).

$$\begin{aligned}
 \min \quad & 4[(V_1^2 + V_3^2 - 2V_1V_3\cos\theta_{13}) + (V_2^2 + V_3^2 - 2V_2V_3\cos\theta_{23})] \\
 \text{s.a :} \quad & 1,7 - P_2 + \varepsilon_2^P = 0 \\
 & -2,0 - P_3 + \varepsilon_3^P = 0 \\
 & -1,0 - Q_3 + \varepsilon_3^Q = 0 \\
 & 1,0 \leq Q_2 \leq 2,0 \\
 & 0,8 \leq V_1 \leq 1,2 \\
 & 0,8 \leq V_2 \leq 1,2 \\
 & 0,9 \leq V_3 \leq 1,0
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

em que:

$$P_2 = 4V_2^2 - 4V_2V_3\cos\theta_{23} + 10V_2V_3\sin\theta_{23};$$

$$P_3 = (4V_3^2 - 4V_3V_2\cos\theta_{32} + 10V_3V_2\sin\theta_{32}) + (4V_3^2 - 4V_3V_1\cos\theta_{31} + 4V_3V_1\sin\theta_{31});$$

$$Q_3 = (10V_3^2 - 10V_3V_2\cos\theta_{32} - 4V_3V_2\sin\theta_{32}) + (5V_3^2 - 5V_3V_1\cos\theta_{31} - 4V_3V_1\sin\theta_{31});$$

$$Q_2 = 10V_2^2 - 10V_2V_3\cos\theta_{23} - 4V_2V_3\sin\theta_{23};$$

$$\cos\theta_{ij} = \cos(\theta_i - \theta_j);$$

$$\sin\theta_{ij} = \sin(\theta_i - \theta_j).$$

Associamos à função objetivo e às restrições do problema (6.1), funções auxiliares com a finalidade de simplificar a apresentação da formulação, como apresentado a seguir.

$$\begin{aligned}
 \min \quad & 4[(V_1^2 + V_3^2 - 2V_1 V_3 \cos \theta_{13}) + (V_2^2 + V_3^2 - 2V_2 V_3 \cos \theta_{23})] \rightarrow f(x) \\
 \text{s.a :} \quad & 1,7 - P_2 + \epsilon_2^P = 0 \rightarrow g_1(x) = 0 \\
 & -2,0 - P_3 + \epsilon_3^P = 0 \rightarrow g_2(x) = 0 \\
 & -1,0 - Q_3 + \epsilon_3^Q = 0 \rightarrow g_3(x) = 0 \\
 & 0,8 - V_1 \leq 0 \rightarrow h_1(x) \leq 0 \\
 & V_1 - 1,2 \leq 0 \rightarrow h_2(x) \leq 0 \\
 & 0,8 - V_2 \leq 0 \rightarrow h_3(x) \leq 0 \\
 & V_2 - 1,2 \leq 0 \rightarrow h_4(x) \leq 0 \\
 & 0,9 - V_3 \leq 0 \rightarrow h_5(x) \leq 0 \\
 & V_3 - 1,0 \leq 0 \rightarrow h_6(x) \leq 0 \\
 & 1,0 - Q_2 \leq 0 \rightarrow h_7(x) \leq 0 \\
 & Q_2 - 2,0 \leq 0 \rightarrow h_8(x) \leq 0
 \end{aligned} \tag{6.2}$$

A partir da solução ótima do problema obtida via FPO, iniciamos a aplicação da metodologia SFPO como segue:

A função Lagrangiana associada ao problema perturbado é representada por:

$$\begin{aligned}
 L(x, \lambda, \mu) = & f(x) + \mu_1 h_1(x) + \mu_2 h_2(x) + \mu_3 h_3(x) + \mu_4 h_4(x) + \mu_5 h_5(x) + \\
 & \mu_6 h_6(x) + \mu_7 h_7(x) + \mu_8 h_8(x) + \lambda_1 g_1(x) + \lambda_2 g_2(x) + \lambda_3 g_3(x)
 \end{aligned}$$

Tendo a função Lagrangiana do problema perturbado, aplicamos a metodologia SFPO, que considera o gradiente da função Lagrangiana, a folga complementar e as restrições de igualdade perturbadas como apresentadas em (6.3).

$$\nabla L(x, \lambda, \mu) = 0$$

$$\mu_1 h_1 = 0$$

$$\mu_2 h_2 = 0$$

$$\mu_3 h_3 = 0$$

$$\mu_4 h_4 = 0$$

$$\mu_5 h_5 = 0$$

$$\mu_6 h_6 = 0$$

$$\mu_7 h_7 = 0$$

$$\mu_8 h_8 = 0$$

(6.3)

$$g_1(x) = 0$$

$$g_2(x) = 0$$

$$g_3(x) = 0$$

O sistema de equações não lineares (6.3) é linearizado no ponto (x^*, λ^*, μ^*) , o que resulta no seguinte sistema linear:

$$\begin{bmatrix} x(\varepsilon) \\ \gamma(\varepsilon) \\ \lambda(\varepsilon) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x^* \\ \gamma^* \\ \lambda^* \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \nabla^2 L^* & H^* & G^* \\ M^* (H^*)^T & \text{diag}(h_j^*) & 0 \\ (G^*)^T & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \varepsilon \end{bmatrix}.$$

Onde as sub-matrizes de S^* do problema são determinadas por:

$$\nabla^2 L^* = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 L^*}{\partial v_1 \partial v_1} & 0 & \frac{\partial^2 L^*}{\partial v_1 \partial v_3} & 0 & \frac{\partial^2 L^*}{\partial v_1 \partial \theta_3} \\ 0 & \frac{\partial^2 L^*}{\partial v_2 \partial v_2} & \frac{\partial^2 L^*}{\partial v_2 \partial v_3} & \frac{\partial^2 L^*}{\partial v_2 \partial \theta_2} & \frac{\partial^2 L^*}{\partial v_2 \partial \theta_3} \\ \frac{\partial^2 L^*}{\partial v_3 \partial v_1} & \frac{\partial^2 L^*}{\partial v_3 \partial v_2} & \frac{\partial^2 L^*}{\partial v_3 \partial v_3} & \frac{\partial^2 L^*}{\partial v_3 \partial \theta_2} & \frac{\partial^2 L^*}{\partial v_3 \partial \theta_3} \\ 0 & \frac{\partial^2 L^*}{\partial \theta_2 \partial v_2} & \frac{\partial^2 L^*}{\partial \theta_2 \partial v_3} & \frac{\partial^2 L^*}{\partial \theta_2 \partial \theta_2} & \frac{\partial^2 L^*}{\partial \theta_2 \partial \theta_3} \\ \frac{\partial^2 L^*}{\partial \theta_3 \partial v_1} & \frac{\partial^2 L^*}{\partial \theta_3 \partial v_2} & \frac{\partial^2 L^*}{\partial \theta_3 \partial v_3} & \frac{\partial^2 L^*}{\partial \theta_3 \partial \theta_2} & \frac{\partial^2 L^*}{\partial \theta_3 \partial \theta_3} \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1^*}{\partial V_1} & \frac{\partial h_2^*}{\partial V_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial h_3^*}{\partial V_2} & \frac{\partial h_4^*}{\partial V_2} & 0 & 0 & \frac{\partial h_7^*}{\partial V_2} & \frac{\partial h_8^*}{\partial V_2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial h_5^*}{\partial V_3} & \frac{\partial h_6^*}{\partial V_3} & \frac{\partial h_7^*}{\partial V_3} & \frac{\partial h_8^*}{\partial V_3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial h_7^*}{\partial \theta_2} & \frac{\partial h_8^*}{\partial \theta_2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial h_7^*}{\partial \theta_3} & \frac{\partial h_8^*}{\partial \theta_3} \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\partial g_2^*}{\partial V_1} & \frac{\partial g_3^*}{\partial V_1} \\ \frac{\partial g_1^*}{\partial V_2} & \frac{\partial g_2^*}{\partial V_2} & \frac{\partial g_3^*}{\partial V_2} \\ \frac{\partial g_1^*}{\partial V_3} & \frac{\partial g_2^*}{\partial V_3} & \frac{\partial g_3^*}{\partial V_3} \\ \frac{\partial g_1^*}{\partial \theta_2} & \frac{\partial g_2^*}{\partial \theta_2} & \frac{\partial g_3^*}{\partial \theta_2} \\ \frac{\partial g_1^*}{\partial \theta_3} & \frac{\partial g_2^*}{\partial \theta_3} & \frac{\partial g_3^*}{\partial \theta_3} \end{bmatrix}$$

$$\text{diag}(h_j) = \begin{bmatrix} h_1^* & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_2^* & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3^* & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & h_4^* & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5^* & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_6^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_7^* & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_8^* \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\varepsilon}_2^{\text{P}} \\ \boldsymbol{\varepsilon}_3^{\text{P}} \\ \boldsymbol{\varepsilon}_3^{\text{Q}} \end{bmatrix}$$

Onde numericamente temos:

$$\nabla^2 \mathbf{L}^* = \begin{bmatrix} 8.0000 & 0.0000 & -8.5692 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 7.7799 & -8.7497 & -0.0000 & 0.0000 \\ -8.569 & -8.7497 & 18.7669 & -0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & -0.0000 & -0.0000 & 9.8404 & -9.8404 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -9.8404 & 19.0193 \end{bmatrix}$$

[illegible]

[illegible]

$$G^* = \begin{bmatrix} 0.000 & 4.1139 & 4.9067 \\ -6.0102 & 4.9734 & 9.5533 \\ 3.3594 & -6.0000 & -14.0000 \\ -11.637 & 10.7442 & -5.5933 \\ 11.6378 & -16.000 & 10.0000 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.252 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

A seguir está representada a matriz S^* com todos os elementos. Notamos que a matriz é esparsa e simétrica de posição. Essas características da matriz são exploradas pela sub-rotina MA28.

$$S^* = \begin{bmatrix} 8.0000 & 0.0000 & -8.5692 & 0.0000 & 0.0000 & -1.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 4.1139 & 4.9067 \\ 0.0000 & 7.7799 & -8.7497 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -1.000 & 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -12.1454 & 12.1454 & -6.0102 & 4.9734 & 9.5533 \\ -8.5692 & -8.7497 & 18.7669 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -1.000 & 1.0000 & 11.6378 & -11.6378 & 3.3594 & -6.0000 & -14.0000 \\ 0.0000 & -0.0000 & -0.0000 & 9.8404 & -9.8404 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 3.3594 & -3.3594 & -11.637 & 10.744 & -5.5933 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -9.8404 & 19.0193 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -3.3594 & 3.3594 & 11.637 & -16.000 & 10.000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.2712 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.1288 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.324 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0753 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.100 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.2524 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0108 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.9892 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & -6.0102 & 3.3594 & -11.6378 & 11.6378 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 4.1139 & 4.9734 & -6.0000 & 10.7442 & -16.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 4.9067 & 9.5533 & -14.0000 & -5.5933 & 10.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

Tendo a matriz S^* , podemos estimar novas soluções depois de realizadas perturbações no sistema. Para exemplificar, realizamos uma aplicação em que

aumentamos a carga da barra de carga 3 em 5%, o que corresponde a uma perturbação de $\epsilon_3^P = 10,00$ MW e $\epsilon_3^Q = 5,00$ MVar nas potências ativa e reativa, respectivamente, como mostrado na Tabela 6.5.

TABELA 6.5 – Alterações nos parâmetros da barras 3

Barra k	Tipo	P_k (MW)	Q_k (MVar)
1	<i>Slack</i>	---	---
2	PV	170,0	---
3	PQ	-210,0	-105,0

Considerando-se a potência de base 100 MVA, o vetor E em p.u. é representado por:

$$E = \begin{bmatrix} 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.1000 \\ 0.0500 \end{bmatrix}$$

Utilizando a sub-rotina MA28, obtemos o vetor resposta, R_S , do sistema. Tendo o vetor R_S , a solução do problema perturbado é obtida, simplesmente,

atualizando-se as variáveis, ou seja, somando o vetor R_S ao vetor das variáveis ótimas do sistema, como mostrado em (6.5).

$$\begin{bmatrix} x(\epsilon) \\ \gamma(\epsilon) \\ \lambda(\epsilon) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x^* \\ \gamma^* \\ \lambda^* \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_s \end{bmatrix} \quad (6.5)$$

Numericamente temos:

$$\begin{bmatrix} x_1(\epsilon) \\ x_2(\epsilon) \\ x_3(\epsilon) \\ \theta_2(\epsilon) \\ \theta_3(\epsilon) \\ \gamma_1(\epsilon) \\ \gamma_2(\epsilon) \\ \gamma_3(\epsilon) \\ \gamma_4(\epsilon) \\ \gamma_5(\epsilon) \\ \gamma_6(\epsilon) \\ \gamma_7(\epsilon) \\ \gamma_8(\epsilon) \\ \lambda_1(\epsilon) \\ \lambda_2(\epsilon) \\ \lambda_3(\epsilon) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0711 \\ 1.1246 \\ 1.0000 \\ 0.0764 \\ -0.0229 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.2524 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0275 \\ -0.0793 \\ -0.0499 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -0.0121 \\ -0.0027 \\ 0.0000 \\ 0.0112 \\ 0.0098 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0246 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0179 \\ 0.0198 \\ 0.0032 \end{bmatrix}$$

As Tabelas 6.6 e 6.7 mostram a solução do problema perturbado após a utilização da metodologia SFPO.

TABELA 6.6 – Variáveis primais e geração de potência reativa após a perturbação

Barra k	V_k (p.u.)	θ_k (graus)	Q (MVar)
1	1,0832	0	28,9
2	1,1273	3,73	109,9
3	1,0000	-1,87	---
Perdas (MW)	14,06 MW		

TABELA 6.7 – Variáveis duais após a perturbação

Barra k	μ (limite superior de V_k)	μ (limite inferior de V_k)	μ (limite superior de Q_k)	μ (limite inferior de Q_k)	λ (balanço da potência ativa)	λ (balanço da potência reativa)
1	0,0000	0,0000	---	---	---	---
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0096	---
3	0,2278	0,0000	---	---	-0,0991	-0,0531

Os erros nas equações de balanço foram menores que 7×10^{-4} p.u., o que caracteriza um ponto de operação.

6.3 EXEMPLO 2: SISTEMA IEEE 14 BARRAS

Para o sistema IEEE 14 barras, representado pela Figura 6.2, fazemos um acréscimo de carga em todas as barras de carga de 2% em 2%, mantendo o fator de potência constante, até um total de 20%. Para cada acréscimo de carga, utilizamos o programa SFPO para encontrar um novo ponto de operação. Os resultados encontrados pelo programa SFPO foram comparados com os resultados obtidos pelo programa de FPO para a mesma situação de carga. Esse teste tem como finalidade validar a metodologia SFPO. A seguir, apresentamos as Figuras de comparação entre os resultados obtidos pelos programas de SFPO e FPO. As Figuras contêm as curvas das perdas de potência ativa na transmissão, dos ângulos de fase e das magnitudes das tensões de todas as barras, geração de reativos nas barras de geração e a curva de

maior erro das equações de balanço de potência ativa e reativa em relação a porcentagem de perturbação.

Figura 6.2 – Sistema 14 barras

As curvas a seguir foram impressas nas cores azul escuro e rosa, representando respectivamente os resultados obtidos através do programa de FPO e do programa SFPO. Todos os gráficos mostram o acréscimo de carga de 0% até 20% nas barras de carga.

A Figura 6.3 mostra o valor das perdas de potência ativa na transmissão. As perdas mantiveram-se praticamente no mesmo valor para os dois casos, FPO e SFPO, em todos os níveis de carga.

Figura 6.3 – Perdas de potência ativa na transmissão

A seguir apresentaremos as curvas dos ângulos de fase das barras do sistema. A curva da barra *slack*, não está apresentada, pelo fato de ser referência angular, e, portanto, não variar.

Figura 6.4 – Ângulo de fase na barra 2

Figura 6.5 – Ângulo de fase na barra 3

Figura 6.6 – Ângulo de fase na barra 4

Figura 6.7 – Ângulo de fase na barra 5

Figura 6.8 – Ângulo de fase na barra 6

Figura 6.9 – Ângulo de fase na barra 7

Figura 6.10 – Ângulo de fase na barra 8

Figura 6.11 – Ângulo de fase na barra 9

Figura 6.12 – Ângulo de fase na barra 10

Figura 6.13 – Ângulo de fase na barra 11

Figura 6.14 – Ângulo de fase na barra 12

Figura 6.15 – Ângulo de fase na barra 13

Figura 6.16 – Ângulo de fase na barra 14

Vimos no conjunto de Figuras anteriores, que relacionam o ângulo de fase com a perturbação no sistema, a variação do ângulo nas barras do sistema. Os ângulos obtidos através do programa SFPO mantiveram-se muito próximos dos obtidos pelo FPO, mesmo para perturbações próximas a 20%. O comportamento dos ângulos mostra que o programa de SFPO também pode fazer parte de um estudo de uma metodologia voltada para um fluxo de potência ótimo DC.

A seguir apresentaremos as curvas da magnitude da tensão em todas as barras do sistema.

Figura 6.17 – Magnitude da tensão na barra 1

Figura 6.18 – Magnitude da tensão na barra 2

Figura 6.19 – Magnitude da tensão na barra 3

Figura 6.20 – Magnitude da tensão na barra 4

Figura 6.21 – Magnitude da tensão na barra 5

Figura 6.22 – Magnitude da tensão na barra 6

Figura 6.23 – Magnitude da tensão na barra 7

Figura 6.24 – Magnitude da tensão na barra 8

Figura 6.25 – Magnitude da tensão na barra 9

Figura 6.26 – Magnitude da tensão na barra 10

Figura 6.27 – Magnitude da tensão na barra 11

Figura 6.28 – Magnitude da tensão na barra 12

Figura 6.29 – Magnitude da tensão na barra 13

Figura 6.30 – Magnitude da tensão na barra 14

Vimos pelo conjunto de Figuras anteriores, que relaciona a magnitude de tensão à perturbação no sistema, a variação da magnitude da tensão no sistema para os programas de FPO e SFPO. As magnitudes de tensão obtidas através do programa SFPO mantiveram-se muito próximas das obtidas pelo FPO para perturbações inferiores a 5%. A tensão na barra *slack* permaneceu no seu limite superior (1,10 p.u.), pelo fato de estar ativa na solução ótima do caso inicial.

A seguir apresentaremos as curvas da geração de potência reativa das barras de geração.

Figura 6.31 – Geração de potência reativa na barra 2

Figura 6.32 – Geração de potência reativa na barra 3

Figura 6.33 – Geração de potência reativa na barra 6

Figura 6.34 – Geração de potencia reativa na barra 8

Vimos através do conjunto de Figuras anteriores, que relaciona a injeção de potência reativa com a perturbação no sistema, a variação da injeção de potência reativa no sistema. As gerações de potência reativa obtidas via SFPO e FPO mantiveram-se dentro dos limites pré-estabelecidos.

A Figura 6.35 mostra os maiores erros em p.u. das equações de balanço calculadas em relação à perturbação pelo programa de SFPO. O maior erro da potência ativa ocorreu na barra 4, e o maior erro da potência reativa ocorreu na barra 5. Para valores inferiores a 5% de perturbação, o erro das equações de balanço manteve-se em valores muito pequenos, como pode ser observado na Figura 6.35.

Figura 6.35 – Maior erro da potência ativa e reativa

TABELA 6.8 – Solução ótima do sistema 30 barras ($\epsilon=0,0$) usada pela SFPO

Barras k	V_k (p.u.)	θ_k (graus)
1	1,1000	0,0000
2	1,0819	-4,9276
3	1,0639	-6,9875
4	1,0553	-8,6113
5	1,0469	-13,0530
6	1,0505	-10,2456
7	1,0416	-11,8931
8	1,0513	-10,9565
9	1,0530	-13,3326
10	1,0457	-14,9722
11	1,0716	-13,3326
12	1,0504	-14,2300
13	1,0744	-14,2300
14	1,0361	-15,0821
15	1,0328	-15,2079
16	1,0403	-14,8483
17	1,0388	-15,1422
18	1,0252	-15,8273
19	1,0238	-16,0198
20	1,0284	-15,8064
21	1,0332	-15,4058
22	1,0336	-15,3938
23	1,0236	-15,5693
24	1,0204	-15,7609
25	1,0193	-15,3809
26	1,0015	-15,9485
27	1,0271	-14,8096
28	1,0470	-10,8395
29	1,0071	-15,9880
30	0,9949	-16,9345
Perdas	16,2792 MW	

TABELA 6.9 – Solução do sistema 30 barras estima pela SFPO após a perturbação

Barras k	V_k (p.u.)	θ_k (graus)
1	1,1000	0,0000
2	1,0802	-5,0554
3	1,0622	-7,21608
4	1,0533	-8,89574
5	1,0447	-13,3225
6	1,0484	-10,5744
7	1,0389	-12,224
8	1,0486	-11,285
9	1,0564	-13,8379
10	1,0461	-15,5671
11	1,0864	-13,8379
12	1,0498	-14,7858
13	1,0756	-14,7858
14	1,0349	-15,6799
15	1,0315	-15,8121
16	1,0397	-15,4387
17	1,0387	-15,7452
18	1,0239	-16,4646
19	1,0226	-16,6676
20	1,0276	-16,4433
21	1,0328	-16,0207
22	1,0331	-16,0075
23	1,0218	-16,1866
24	1,0185	-16,3805
25	1,0164	-15,9728
26	0,9977	-16,5725
27	1,0241	-15,3665
28	1,0446	-11,19
29	1,0030	-16,6119
30	0,9902	-17,6141
Perdas	17,2223 MW	

As tensões e as injeções de potência reativa permaneceram dentro dos seus limites. Os maiores erros nas equações de balanço ocorreram nas barras 6 e 3, respectivamente para as potências ativas e reativas, os quais ficaram na ordem de 10^{-4} p.u. As perdas de potência ativa na transmissão passaram de 16,27 MW para 17,22 MW. A geração de potência ativa na barra *slack* teve um acréscimo de 7,8 MW após a perturbação.

6.5 EXEMPLO 4: SISTEMA CESP 53 BARRAS

Para o sistema CESP 53 barras, representado pela Figura 6.37, fazemos um corte de carga de 6% nas barras de carga 35, 36 e 37, mantendo o fator de potência constante.

Figura 6.37 – Sistema CESP 53 barras

Utilizando a SFPO, estimamos a solução para o sistema perturbado e analisamos o resultado. A Tabela 6.10 apresenta a solução ótima do caso base ($\epsilon=0,0$), e a Tabela 6.11, a solução estimada pela SFPO após a perturbação no sistema.

TABELA 6.10 – Solução ótima do sistema CESP ($\varepsilon=0,0$) usada pela SFPO

Barras k	V_k (p.u.)	θ_k (graus)
1	0,9905	0,0000
2	0,9687	-1,3881
3	1,0746	-13,0503
4	1,0861	-14,6182
5	1,0596	-16,6806
6	1,0688	-9,9807
7	1,0240	-5,2114
8	0,9752	0,5037
9	1,0236	-8,4046
10	1,0128	-4,4649
11	0,9964	-8,6452
12	1,0188	-5,3048
13	1,0641	-1,3575
14	1,0456	8,3837
15	1,0361	3,1379
16	1,0595	3,6067
17	1,0648	-3,8655
18	1,0832	2,6224
19	1,0679	-3,5483
20	1,0279	-8,5511
21	1,0616	-11,3063
22	1,0391	-13,5135
23	1,0692	-20,1781
24	1,0505	-31,1901
25	1,0213	-25,7056
26	1,0764	-23,1521
27	1,0613	-26,3471
28	1,0214	-27,8848
29	0,9663	-32,4981
30	0,9607	-37,2011
31	1,0238	-30,5146
32	0,9987	-38,4774
33	1,0284	-33,1115
34	1,0241	-30,9956
35	0,9618	-38,3903
36	0,9914	-36,5747
37	1,0553	-41,5598
38	1,0337	-40,8111
39	0,9585	-45,4227
40	1,0291	-43,8530
41	1,0544	-30,3967
42	1,0470	-29,9675
43	1,0752	-30,3967
44	1,0341	-33,8979
45	1,0653	-29,7145
46	1,0393	-34,9076
47	1,0299	-32,4524
48	1,0215	-34,5442
49	0,9954	-37,9102
50	1,0468	-31,0128
51	1,0388	-30,9597
52	1,0332	-34,7677
53	1,0750	-31,0128
Perdas	213,4517 MW	

TABELA 6.10 – Solução do sistema CESP estima pela SFPO após a perturbação

Barras k	V_k (p.u.)	θ_k (graus)
1	0,9884	0,0000
2	0,9666	-1,2220
3	1,0731	-12,9171
4	1,0846	-14,4894
5	1,0581	-16,5578
6	1,0671	-9,8383
7	1,0222	-5,1500
8	0,9732	0,6343
9	1,0216	-8,2670
10	1,0108	-4,3541
11	0,9944	-8,5506
12	1,0168	-5,1550
13	1,0614	-1,1139
14	1,0427	8,6797
15	1,0329	3,4069
16	1,0566	3,8766
17	1,0621	-3,6348
18	1,0800	2,9007
19	1,0653	-3,3039
20	1,0251	-8,3330
21	1,0595	-11,0808
22	1,0371	-13,2967
23	1,0678	-19,9938
24	1,0491	-30,9809
25	1,0198	-25,5366
26	1,0754	-22,9660
27	1,0602	-26,1674
28	1,0207	-27,6573
29	0,9656	-32,2768
30	0,9602	-36,9137
31	1,0235	-30,2219
32	0,9976	-38,2005
33	1,0274	-32,8237
34	1,0238	-30,6783
35	0,9653	-37,7708
36	0,9935	-35,9116
37	1,0502	-41,1403
38	1,0297	-40,4300
39	0,9542	-45,0800
40	1,0251	-43,4952
41	1,0531	-30,1609
42	1,0457	-29,7306
43	1,0732	-30,1609
44	1,0327	-33,6712
45	1,0641	-29,5112
46	1,0380	-34,7168
47	1,0288	-32,1944
48	1,0203	-34,2908
49	0,9942	-37,6645
50	1,0454	-30,7831
51	1,0374	-30,7299
52	1,0318	-34,5481
53	1,0727	-30,7831
Perdas	210,9682 MW	

Após a perturbação, todas as tensões e as injeções de potência reativa permaneceram dentro dos seus limites. Os maiores erros nas equações de balanço ocorreram nas barras 34 e 36 para as potências ativas e reativas respectivamente, e foram menores que 9×10^{-4} p.u. As perdas no sistema passaram de 213,45 MW para 210,96 MW. A geração da barra *slack*, representada no sistema pela usina de Ilha Solteira, teve uma redução de 41,2 MW na sua geração após a perturbação.

6.6 EXEMPLO 4: SISTEMA IEEE 118 BARRAS

No sistema IEEE 118 barras, representado pela Figura 6.38, simulamos um corte de carga de 100% na barra de carga 102 e analisamos a solução obtida pela SFPO. No Apêndice B, encontram-se as Tabelas com os dados das variáveis primais para o ponto ótimo inicial e para o ponto estimado após a perturbação.

Após a perturbação, todas as tensões e as injeções de potência reativa permaneceram dentro dos seus limites – com exceção da injeção de potência reativa da barra 77 que excedeu 0,3 MVar do seu limite superior. O maiores erros para potência ativa e reativa ocorreram na barra de carga 102 e foram menores que 3×10^{-4} p.u. As perdas no sistema passaram de 131,56 MW para 131,55 MW após o corte de carga, e a barra *slack* teve uma redução de 5,1 MW na sua geração após a perturbação.

Figura 6.38 – Sistema IEEE 118 barras

6.7 EXEMPLO 5: SISTEMA 162 BARRAS

Para o sistema IEEE 162 barras, simulamos um acréscimo de carga e analisamos a solução obtida pela SFPO. O acréscimo de carga foi de 1% em todas as barras de carga do sistema, mantendo o fator de potência constante. Utilizamos a SFPO para estimar a nova solução. No Apêndice B encontram-se as Tabelas com os dados das variáveis primais para o ponto ótimo inicial e para o ponto estimado após a perturbação.

Após a perturbação, as tensões e as injeções de potência reativa permaneceram dentro dos seus limites. Os maiores erros nas equações de balanço ocorreram na barra 93 e foram menores que 10^{-3} p.u. para a potência ativa, e menor que 3×10^{-3} p.u para potência reativa. As perdas no sistema passaram de 158,30 MW para 161,04 MW após o acréscimo de carga. A barra *slack* teve um acréscimo de 55,0 MW em sua geração após a perturbação.

6.8 EXEMPLO 6: SISTEMA IEEE 300 BARRAS

No sistema IEEE 300 barras, realizamos um acréscimo de carga de 5% nas barras de carga 49, 51, 52 e 55, mantendo o fator de potência constante. Utilizamos a SFPO para estimar a solução após a perturbação. Nesse teste analisamos os resultados e a relação de sensibilidade deste acréscimo de carga em relação à injeção de potência reativa nas barras de geração. No Apêndice B, encontram-se as Tabelas com os dados das variáveis primais para o ponto ótimo inicial e para o ponto estimado pela SFPO após a perturbação.

Depois de realizada a perturbação, as tensões e as injeções de potência reativa permaneceram dentro dos seus limites. Os maiores erros nas equações de balanço ocorreram na barra de carga 526. O erro para potência ativa foi menor que 9×10^{-4} p.u., e o erro para potência reativa, menor que 2×10^{-4} p.u. As perdas no sistema passaram de 408,31 MW para 410,06 MW após o acréscimo de carga. A barra *slack* teve um acréscimo de 9,7 MW em sua geração após a perturbação.

A Tabela 6.11 mostra a variação da injeção de potência reativa com o aumento de carga no sistema. A maior variação de injeção de potência reativa em MVar ocorreu na barra 7049 (*slack*) e foi de 13,0 MVar e a maior variação em porcentagem de MVar ocorreu na barra 7024 e foi de 350,00 %.

TABELA 6.11 – Análise de sensibilidade da injeção de potência reativa no sistema em relação ao aumento da carga

Barra k	MVar no Ponto ótimo ($\epsilon=0$)	MVar Após a Perturbação	Variação em módulo de MVar	Variação em % de MVar
7049	-72,8	-85,8	13,0	17,86
8	-59,9	-59,2	0,7	1,17
10	56,6	57,7	1,1	1,94
20	102,9	101,6	1,3	1,26
63	52,0	49,0	3	5,77
76	143,3	143,7	0,4	0,28
84	120,1	120,2	0,1	0,08
91	81,5	81,0	0,5	0,61
92	81,8	81,6	0,2	0,24
98	-60,4	-59,8	0,6	0,99
108	3,2	3,9	0,7	21,88
119	981,6	987,5	5,9	0,60
124	98,2	97,7	0,5	0,51
125	191,5	191,0	0,5	0,26
138	192,4	192,5	0,1	0,05
141	72,3	72,4	0,1	0,14
143	267,9	276,1	8,2	3,06
146	17,7	18,2	0,5	2,82
147	-44,5	-44,2	0,3	0,67
149	24,0	24,1	0,1	0,42
152	-48,9	-48,8	0,1	0,20
153	-15,1	-14,9	0,2	1,32
156	-6,2	-5,9	0,3	4,84

continua

conclusão

170	78,2	79,4	1,2	1,53
171	447,6	448,5	0,9	0,20
176	34,1	34,6	0,5	1,47
177	39,9	40,8	0,9	2,26
185	19,1	18,9	0,2	1,05
186	274,6	272,3	2,3	0,84
187	215,9	214,3	1,6	0,74
190	145,1	143,8	1,3	0,90
191	696	698,7	2,7	0,39
198	66,2	66,2	0,0	0,00
213	-10,1	-9,7	0,4	3,96
220	-3,9	-6,0	2,1	53,85
221	22,1	27,7	5,6	25,34
222	154,7	155,3	0,6	0,39
227	248,1	250,3	2,2	0,89
230	42,4	41,4	1,0	2,36
233	116,4	118,2	1,8	1,55
236	98,6	98,3	0,3	0,30
238	374,1	373,4	0,7	0,19
239	18,0	17,8	0,2	1,11
241	-71,2	-69,4	1,8	2,53
242	81,4	82,0	0,6	0,74
243	74,3	73,4	0,9	1,21
7001	229,4	225,5	3,9	1,70
7002	139,9	137,1	2,8	2,00
7003	-62,8	-56,4	6,4	10,19
7011	67,4	66,4	1	1,48
7012	92,7	92,5	0,2	0,22
7017	438,3	437,1	1,2	0,27
7023	94,1	91,6	2,5	2,66
7024	-0,6	1,5	2,1	350,00
7039	164,8	168,6	3,8	2,31
7044	7,1	11,6	4,5	63,38
7055	6,8	6,9	0,1	1,47
7057	75,6	76,5	0,9	1,19
7061	191,6	197,3	5,7	2,97
7062	-41,7	-50,8	9,1	21,82
7071	45,6	46,0	0,4	0,88
7130	501,6	502,5	0,9	0,18
7139	147,4	149,1	1,7	1,15
7166	111,4	113,3	1,9	1,71
9002	0,9	1,0	0,1	11,11
9051	15,7	15,7	0	0,00
9053	8,5	8,5	0	0,00
9054	39,4	41,1	1,7	4,31
9055	0,2	0,7	0,5	250,00

6.9 EXEMPLO 7: SISTEMA 9 BARRAS

Nesse exemplo testamos a metodologia no sistema de 9 barras, representado pela Figura 6.39. Para encontrar a solução ótima do sistema utilizamos o programa de Despacho Ótimo de Potência Ativa (DOPA) ALTIMARI (1999).

Figura 6.39 – Sistema de 9 barras

O objetivo do teste é comprovar a eficiência da metodologia SFPO também em problema de DOPA. Realizamos um aumento de 10% na barra de carga 8. na Tabela 6.12 está apresentado um resumo da solução ótima do sistema antes da perturbação, e na Tabela 6.13, um resumo da solução obtida via SFPO após a perturbação.

TABELA 6.12 – Solução ótima do sistema de 9 barras ($\epsilon=0,0$) usada pela SFPO

Barra k	V_k (p.u.)	θ_k (graus)
1	1,1000	0,0000
2	1,0975	-2,9407
3	1,0876	-3,1820
4	1,0968	-4,3165
5	1,0756	-8,0311
6	1,0873	-7,2038
7	1,1000	-5,5546
8	1,0895	-7,3787
9	1,1000	-5,1908
Perdas	2,3156 MW	

TABELA 6.13 – Solução do sistema de 9 barras estimada pela SFPO após a perturbação

Barra k	V_k (p.u.)	θ_k (graus)
1	1,1000	0,0000
2	1,0991	-2,7692
3	1,0886	-3,0663
4	1,0968	-4,3165
5	1,0756	-8,0310
6	1,0873	-7,2038
7	1,1000	-5,5544
8	1,0875	-7,5747
9	1,1000	-5,1910
Perdas	2,4097 MW	

O teste mostrou que as tensões nas barras 1, 7 e 9 continuaram nos seus limites superiores após a perturbação. As perdas no sistema passaram de 2,32 MW para 2,41 MW. O maiores erros para potência ativa e reativa ocorreram na barra de carga 8 e foram menores que 3×10^{-4} p.u. As barras de gerações 2 e 3 foram as responsáveis por suprir o aumento de carga da barra 8, sendo que a barra *slack* não teve nenhuma contribuição devido a sua localização no sistema.

Com a finalidade de validar a aplicação da metodologia SFPO ao problema DOPA, apresentamos na Tabela 6.14 e 6.15 uma comparação dos resultados obtidos via DOPA e SFPO para a perturbação de 10% na barra de carga 8.

TABELA 6.14 – Comparação das variáveis primais, obtidas via DOPA e via SFPO para o problema perturbado

k	DOPA		SFPO	
	V_k (p.u.)	θ_k (graus)	V_k (p.u.)	θ_k (graus)
1	1.100	0.00	1.100	0.00
2	1.099	-2.77	1.099	-2.76
3	1.088	-3.07	1.088	-3.06
4	1.096	-4.32	1.096	-4.31
5	1.075	-8.03	1.075	-8.03
6	1.087	-7.20	1.087	-7.20
7	1.100	-5.55	1.100	-5.55
8	1.087	-7.57	1.087	-7.57
9	1.100	-5.19	1.100	5.19

TABELA 6.15 – Comparação dos fluxos de potência ativa e reativa nas linhas, obtidos via DOPA e via SFPO para o problema perturbado

k-m	DOPA		SFPO	
	P_{km} (MW)	Q_{km} (MVar)	P_{km} (MW)	Q_{km} (MVar)
1-4	157,65	12,09	157,60	12,19
2-7	94,00	0,70	94,02	0,71
3-9	75,77	-19,74	75,79	-19,65
4-5	92,20	8,84	92,18	8,90
4-6	65,45	-8,65	65,43	-8,61
5-7	-33,54	-26,67	-33,56	-26,62
6-9	-25,15	-23,08	-25,18	-23,06
7-8	60,11	4,01	60,12	4,01
8-9	-50,13	-18,89	-50,15	-18,93

Os resultados apresentados na Tabela 6.14 e 6.15 comprovam a eficiência da SFPO para problemas de DOPA. O teste mostrou que a metodologia SFPO responde muito bem nos problemas de DOPA, pois nesses problemas todas as barras de geração têm a função de contribuir para suprir a variação na demanda, ao contrário do problema de FPO em que somente a barra *slack* tem essa função. O DOPA é utilizado como ferramenta para o Controlador Automático de Geração (CAG).

Neste capítulo realizamos várias aplicações da SFPO. Os resultados obtidos nos exemplos mostraram que a SFPO pode ser empregada na estimativa de novas

soluções após a ocorrência de pequenas perturbações na demanda do sistema. A SFPO também pode ser utilizada na análise de sensibilidade de uma variável elétrica em relação a outra variável e também pode ser empregada em problemas de DOPA.

CONCLUSÕES

Neste trabalho propusemos uma metodologia para resolução do problema de Fluxo de Potência Ótimo perturbado.

Inicialmente, apresentamos um histórico dos métodos de FPO e de sensibilidade, a fim de posicionar o trabalho cronologicamente e de obter suporte teórico.

Implementamos um FPO que apresenta a Função Lagrangiana Aumentada-Barreira Logarítima, na qual as restrições de igualdade são tratadas pelo método de Newton, o subconjunto das restrições canalizadas, pelo método de barreira, e as restrições de desigualdade, pelo método da Função Lagrangiana Aumentada.

A solução do FPO nos dá o ponto ótimo para o caso base. Utilizando sensibilidade, desenvolvemos uma nova abordagem, SFPO, para estimar novas soluções depois de ocorridas perturbações nas restrições de igualdade do problema.

A abordagem é baseada nas informações de segunda ordem e nas condições de otimalidade.

A metodologia consiste, primeiramente, na obtenção de uma solução ótima inicial para o caso base via o FPO, e na utilização da sensibilidade para estimar novas soluções depois de ocorridas pequenas perturbações na demanda do sistema. Essas perturbações são um acréscimo ou um corte de carga em uma ou mais barras do sistema. A SFPO obteve novos pontos de operação para o sistema, sem a necessidade de se reprocessar o programa de FPO.

A matriz Lagrangiana e a matriz sensibilidade apresentam estruturas esparsas. Essa característica foi explorada na implementação computacional. Verificamos que, em sistemas elétricos reais, o “grau de esparsidade” dessas matrizes cresce conforme aumentam as dimensões das redes elétricas. Em virtude dessa esparsidade, o armazenamento das matrizes foi feito de forma compacta, isto é, somente os elementos diferentes de zero foram armazenados. Aplicamos as técnicas de esparsidade MA57 e MA28 aos problemas de FPO e de SFPO respectivamente. As sub-rotinas demonstraram um bom desempenho nos testes realizados, obtendo ganho de memória e robustez no processamento.

As principais contribuições do método em comparação com os programas de FPO são:

- 1) Método de resolução não iterativo;

- 2) A não necessidade de se utilizarem parâmetros iniciais e de correção, como barreira e penalidade, utilizados nos programas de FPO convencionais;
- 3) Possibilidade de o método ser aplicado por usuários não especialistas em otimização.

Essas características fazem com que a aplicação do método possa ser viável para as empresas de energia elétrica.

Os resultados numéricos apresentados neste trabalho evidenciam o potencial da metodologia SFPO, para a resolução de problemas de FPO perturbado. Os testes demonstraram que a metodologia pode ser aplicada após pequenas perturbações nas restrições de igualdades.

A pesquisa desenvolvida leva-nos a uma seqüência de trabalhos futuros, enunciados a seguir:

- 1) Modelagem da metodologia SFPO com a introdução das restrições de fluxo nas linhas e tap's de transformadores;
- 2) Introdução de perturbações nas restrições de desigualdade e na função objetivo;
- 3) Realização de testes mais elaborados com sistemas elétricos maiores;
- 4) Modelagem do problema com a inclusão de outras funções objetivo.

Referências Bibliográficas

ALTIMARI, M. M. R. S. (1999). Uma Estratégia Ótima do Despacho de Potência Ativa AC com Restrição na Transmissão, 157 p. Dissertação (Mestrado) – EESC/SEL/LOSEP, USP.

AUMULLER, C.; SARA, T. K. (2002). Analysis and Assessment of Large Scale Power System Voltage Stability by a Novel Sensitivity Based Method. Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE. v.3 p. 1621-1626.

BAPTISTA, E. C. (2001). Método da Função Lagrangiana Aumentada-Barreira Logarítmica para Solução do Problema de Fluxo de Potência Ótimo, 175 p. Tese (Doutorado) – EESC/SEL/LOSEP, USP.

BELL, K. R. W.; KIRSCHEN, D. S. (2000). Improved Sensitivities in MW Dispatch for Control of Voltage, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v.15, n. 3, p.1034-40, August.

CARPENTIER, J. L. (1962). Contribution a L'etude du Dispatching Economique. Bull-Soc. Fr. Elec. Ser. B3. p. 431-447.

- COSTA, G. R. M. (1990). O Método Dual-Newton Aplicado ao Fluxo de Carga Ótimo, Campinas. 235p. Tese (Doutorado) – FEE/DSCE, Unicamp.
- COSTA, G. R. M. (1997). Optimal Reactive Dispatch Through Primal-Dual Method. IEEE Transactions on Power Systems, v. 12, n. 2, p.669 – 674, May.
- COSTA, G. R. M.; COSTA, C. E. U. (2000). Improved Newton Method for Optimal Power Flow Problem. Electrical power and Energy Systems, v. 22, p. 459-462.
- DOMMEL, H. W; TINNEY, W. F. (1968). Optimal Power Flow Solutions. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v.87, n.10, p.1866-76, Oct.
- DUFF, I. S.; REID, J. K. (1979). Some Design Features of a Sparse Matrix Code. ACM Transactions on Mathematical Software, v. 5, n.1, March, p. 18-35.
- EISENSTAT, C. S.; SCHULTZ, M. H.; SHERMAN, A. H. (1981). Algorithms and Data Structures for Sparse Symmetric Gaussian Elimination. Siam J. Sci. Stat. Compute. – v. 2, n.2, June, Society for Industrial and Applied Mathematics.
- FANG, W.; NGAN, H. W. (2000). A Robust Load Flow Technique for Use in Power Systems with Unified Power Flow Controllers, Electric Power Systems Research, v.53, p. 181-186, March.

FIACCO, A. V. (1976). Sensitivity Analysis for Nonlinear Programming Using Penalty Methods. *Mathematical Programming* 10(3), p. 278-311.

FIACCO, A. V. (1983). Introduction to Sensitivity and Stability Analysis in Nonlinear Programming. Vol. 165 in *Mathematics in Science and Engineering Series*, Academic Press, New York.

GRANVILLE, S. (1994). Optimal Reactive Dispatch Through Interior Point Methods. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 9, p. 136-146. February.

GRIBIK, P. R.; SHIRMOHAMMADI, D.; HAO, S.; THOMAS, C. L. (1990). Optimal Power Flow Sensitivity Analysis. *IEEE Transactions on Power Systems*, v.5, n.3, p 969-976, August.

GURRAN, R.; SUBRAMANYAM, B. (1999). Sensitivity Analysis of Radial Distribution Network – Adjoint Network Method. *Electrical Power and Energy Systems*, 21 (1999), p. 323-326.

HESTENES, M. R. (1969). SURVEY PAPER – Multiplier and Gradient Methods. *Journal of Optimization Theory and Applications*, v. 4, n.5, p.303-320.

JAN, R. M; CHEN, N. M. (1995). Application of Fast Newton-Raphson Economic-Dispatch and Reactive Power Voltage Dispatch by Sensitivity Factors to

Optimal Power-Flow. IEEE Transactions on Energy Conversion, v.10, n.2, p.293-301, June.

KISHORE, A.; HILL, E. F. (1971). Static Optimization of Reactive Power Sources by Use of Sensitivity Parameters. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v.90, n.3, p.1166-73, May.

MARKOWITZ, H. M. (1957). The elimination form of the inverse and its application to linear programming. Management Science, v.3, p.255-256.

MOMOH J, A.; ZHU J. Z. (1999). Improved Interior Point Method for OPF Problems. IEEE Transactions on Power Systems, v.14, p. 1114-1120, August.

MONTICELLI, A. (1983). Fluxo de Carga em Redes de Energia Elétrica. São Paulo, Edgard Blucher Ltda. Cap. 5, p. 75-100.

MONTICELLI, A.; LIU, W. H. E. (1992). Adaptive Movement Penalty Method for Newton Optimal Power Flow. IEEE Transactions on Power Systems, v.7, n.1, p.334-342. February.

NOBUO, S.; TINNEY, W. F. (1963). Techniques for Exploiting the Sparsity of the Network Admittance Matrix. AIEE Power System Engineering, v.1, p.944-50, December.

- PESCHON, J; PIERCY, D. S.; TINNEY, W. F.; TVEIT, O. J. (1968). Sensitivity in Power Systems. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v.87, n.8, p.1687-95, February.
- QUINTANA, V. H.; GOMEZ, A.; MARTINEZ, J. L. (1995). Nonlinear Optimal Power Flows by a Logarithmic-Barrier Primal-Dual algorithm . In Proceedings IEEE North American Power Symposium, Bozeman, MO. P 178-185 October.
- RASHED, A. M. H.; KELLY, D. H. (1974). Optimal Load Flow Solution Using Lagrangian Multipliers and the Hessian Matrix. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v. 93, n. 5, p. 1292-1297.
- SANTOS, A.; DECKMAN, S.; SOARES, S. (1988). A Dual Lagrangian Approach for Optimal Power Flow. IEEE Transactions on Power Systems, v. 3, p. 1020-1025.
- SASSON, A. M. (1969). Combined Use of the Powell and Fletcher-Powell Nonlinear Programming Load Flow Method. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v.88, p.1530-37.
- SASSON, A.M.; VILORIA, F.; ABOYTES, F. (1973). Optimal Load Flow Solutions Using the Hessian Matrix. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v. 92, p. 31-41.

SMED, T. (1993). Feasible Eigenvalue Sensitivity for Large Power-Systems. IEEE Transactions on Power Systems, v.8, n.2, p.555-63, May.

SUN, D. I.; ASHLEY, B.; BREWER, B.; HUGUES, A.; TINNEY, W. F. (1984). Optimal Power Flow by Newton Approach. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v. pas 103, n. 10, p. 2864-2875.

TINNEY, W. F.; WALKER, J. W. (1967). Direct Solutions of Sparse Network Equations by Optimally Ordered Triangular Factorization. Power Industry Computer Applications Conf., p. 367-76, February.

TINNEY, W. F.; BRANDWAJN, V.; CHAN, S. M. (1985). Sparse Vector Methods. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v. pass-104, n.2, p.295-301, February.

TORRES, G. L.; QUINTANA, V. H. (1998). Optimal Power Flow in Rectangular Form via an Interior Point Method. IEEE Transactions on Power Systems, v. 13, n. 4, p. 1211-1218.

WRIGHT, M. H. (1995). Why A Pure Primal Newton Barrier Step May Be Infeasible. SIAM Journal on Optimization, v. 5, n. 1, p. 1-12.

WU, YU-CHI Y.; DEBS, A. S.; MARSTEN, R. E. (1994). A Direct Nonlinear Predictor-Corrector Primal-Dual Interior Point Algorithm for Optimal Power

Flows. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 9, p. 876-883 May.

ZOLLENKOPF, K. (1971). Basic Computational Algorithm and Programming Techniques. J. K. Reid ed. – Large Sparse sets Linear Equations, p. 75-97, New York Academic Press.

BANCO DE DADOS E TABELAS DE CONVERGÊNCIA DOS SISTEMAS ELÉTRICOS UTILIZADOS

Neste apêndice estão apresentados os bancos de dados e as Tabelas com informações da convergência dos sistemas elétricos. As Tabelas contêm os parâmetros iniciais, o número de iterações internas e externas e as perdas de potência ativa na transmissão. Os bancos de dados apresentados estão no formato PECO (Philadelphia Electric Company).

A.1 TABELAS DE CONVERGÊNCIA DOS SISTEMAS ELÉTRICOS UTILIZADOS

TABELA A.1 – Convergência do sistema 3 Barras

c	β	δ	ρ	It. Int.	It. Ext.	Perdas(MW)
1,00	1,10	0,001	10	12	9	12,916

TABELA A.2 – Convergência do sistema IEEE14 Barras

c	β	δ	ρ	It. Int.	It. Ext.	Perdas(MW)
1,00	1,20	0,001	10	15	12	12,256

TABELA A.3 – Convergência do sistema IEEE 30 Barras

c	β	δ	ρ	It. Int.	It. Ext.	Perdas(MW)
1,00	1,15	0,0001	10	7	5	16,279

TABELA A.4 – Convergência do sistema CESP

c	β	δ	ρ	It. Int.	It. Ext.	Perdas(MW)
1,00	1,01	0,01	10	16	10	213,45

TABELA A.5 – Convergência do sistema IEEE 118 Barras

c	β	δ	ρ	It. Int.	It. Ext.	Perdas(MW)
1,00	1,2	0,0001	10	14	10	131,56

TABELA A.6 – Convergência do sistema IEEE 162 Barras

c	β	δ	ρ	It. Int.	It. Ext.	Perdas(MW)
1,00	1,12	0,001	10	15	14	158,30

TABELA A.7– Convergência do sistema IEEE 300 Barras

c	β	δ	ρ	It. Int.	It. Ext.	Perdas(MW)
1,0	1,001	0,00001	10	18	16	408,31

A.2 BANCO DE DADOS DOS SISTEMAS ELÉTRICOS UTILIZADOS

A.2.1 BANCO DE DADOS DO SISTEMA 9 BARRAS

1	1	barra1	1040	0.	0.0	0.0-131.	131.	0.0	0.0	1
2	2	barra2	1025	9.2	163.	.0-72.3	72.3	0.0	0.0	2
3	2	barra3	1025	4.6	85.0	.0-57.1	57.1	0.0	0.0	3
4	0	barra4	1026	-2.2	0.0	0.0		0.0	0.0	1
5	0	barra5	0996	-4.0	0.0	0.0		125.	50.0	1
6	0	barra6	1013	-3.7	0.0	0.0		90.	30.0	3
7	0	barra7	1026	3.7	0.0	0.0		0.0	0.0	2
8	0	barra8	1016	.72	0.0	0.0		100.	35.0	2
9	0	barra9	10321	.97	0.0	0.0		0.0	0.0	3
9999										
1	4		0.00	5.760		1.0001.0001.000		900		
2	7		0.00	6.250		1.0001.0001.000		900		
3	9		0.00	5.860		1.0001.0001.000		900		

4	5	1.00	8.500	17.6	900
4	6	1.70	9.200	15.8	900
5	7	3.20	16.100	30.6	900
6	9	3.90	17.000	35.8	900
7	8	0.85	7.200	14.9	900
8	9	1.19	10.080	20.9	900
9999					
	0.95	1.1			
9999					

A.2.2 BANCO DE DADOS DO SISTEMA IEEE 14 BARRAS

1	1 Bus 1	1059	0.	232.	-17.	-9999	9999	0.	0.	0.
2	-1 Bus 2	1044	-5.	40.	42.	-40.	50.	22.	13.	0.
3	-1 Bus 3	1009	-13.	0.	23.	0.	40.	94.	19.	0.
4	0 Bus 4	1019	-10.	0.	0.	0.	0.	48.	-4.	0.
5	0 Bus 5	1019	-9.	0.	0.	0.	0.	8.	2.	0.
6	-1 Bus 6	1070	-14.	0.	12.	-6.	24.	11.	8.	0.
7	0 Bus 7	1062	-13.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
8	-1 Bus 8	1090	-13.	0.	17.	-6.	24.	0.	0.	0.
9	0 Bus 9	1055	-15.	0.	0.	0.	0.	29.	17.	19.
10	0 Bus 10	1050	-15.	0.	0.	0.	0.	9.	6.	0.
11	0 Bus 11	1057	-15.	0.	0.	0.	0.	4.	2.	0.
12	0 Bus 12	1054	-15.	0.	0.	0.	0.	6.	2.	0.
13	0 Bus 13	1049	-15.	0.	0.	0.	0.	13.	6.	0.
14	0 Bus 14	1036	-16.	0.	0.	0.	0.	15.	5.	0.
9999										
1	2	1.94	5.92	5.2800	0.0000	0.0000	0.000	0.		
1	5	5.40	22.30	4.9200	0.0000	0.0000	0.000	0.		
2	3	4.70	19.80	4.3800	0.0000	0.0000	0.000	0.		
2	4	5.81	17.63	3.4000	0.0000	0.0000	0.000	0.		
2	5	5.69	17.39	3.4600	0.0000	0.0000	0.000	0.		
3	4	6.70	17.10	1.2800	0.0000	0.0000	0.000	0.		
4	5	1.33	4.21	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.		
4	7	0.00	20.91	0.0001	0.0000	1.001	0.000	0.		
4	9	0.00	55.62	0.0001	0.0000	1.001	0.000	0.		
5	6	0.00	25.20	0.0001	0.0000	1.001	0.000	0.		
6	11	9.50	19.89	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.		
6	12	12.29	25.58	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.		
6	13	6.62	13.03	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.		
7	8	0.00	17.61	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.		
7	9	0.00	11.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.		
9	10	3.18	8.45	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.		
9	14	12.71	27.04	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.		
10	11	8.20	19.21	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.		
12	13	22.09	19.99	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.		
13	14	17.09	34.80	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.		
9999										
	0.95	1.100								
9999										

A.2.3 BANCO DE DADOS DO SISTEMA IEEE 30 BARRAS

1	1 Glen Lyn 1	1059	0.	260.	-16.	-9999	9999	0.	0.	0.
2	-1 Claytor 1	1042	-5.	40.	50.	-40.	50.	22.	13.	0.
3	0 Kumis 1	1021	-8.	0.	0.	0.	0.	2.	1.	0.
4	0 Hancock 1	1011	-10.	0.	0.	0.	0.	8.	2.	0.
5	-1 Fieldale 1	1009	-14.	0.	37.	-40.	40.	94.	19.	0.
6	0 Roanoke 1	1009	-11.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
7	0 Blaine 1	1001	-13.	0.	0.	0.	0.	23.	11.	0.
8	-1 Reusens 1	1009	-12.	0.	37.	-10.	40.	30.	30.	0.
9	0 Roanoke 1	1050	-14.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
10	0 Roanoke	1044	-16.	0.	0.	0.	0.	6.	2.	19.
11	-1 Roanoke	1082	-14.	0.	16.	-6.	24.	0.	0.	0.

12	0	Hancock	1057-15.	0.	0.	0.	0.	11.	8.	0.
13	-1	Hancock	1070-15.	0.	11.	-6.	24.	0.	0.	0.
14	0	Bus 14	1042-16.	0.	0.	0.	0.	6.	2.	0.
15	0	Bus 15	1037-16.	0.	0.	0.	0.	8.	2.	0.
16	0	Bus 16	1044-16.	0.	0.	0.	0.	4.	2.	0.
17	0	Bus 17	1039-16.	0.	0.	0.	0.	9.	6.	0.
18	0	Bus 18	1027-17.	0.	0.	0.	0.	3.	1.	0.
19	0	Bus 19	1026-17.	0.	0.	0.	0.	10.	3.	0.
20	0	Bus 20	1029-17.	0.	0.	0.	0.	2.	1.	0.
21	0	Bus 21	1032-16.	0.	0.	0.	0.	17.	11.	0.
22	0	Bus 22	1032-16.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
23	0	Bus 23	1026-17.	0.	0.	0.	0.	3.	2.	0.
24	0	Bus 24	1021-17.	0.	0.	0.	0.	9.	7.	4.
25	0	Bus 25	1016-16.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
26	0	Bus 26	1000-17.	0.	0.	0.	0.	4.	2.	0.
27	0	Cloverdle	1023-16.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
28	0	Cloverdle1	1006-12.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
29	0	Bus 29	1003-17.	0.	0.	0.	0.	2.	1.	0.
30	0	Bus 30	991-18.	0.	0.	0.	0.	11.	2.	0.
9999										
1	2		1.92 5.75	5.2800.0000.0000.000						
1	3		4.52 16.52	4.0800.0000.0000.000						
2	4		5.70 17.37	3.6800.0000.0000.000						
3	4		1.32 3.79	0.8400.0000.0000.000						
2	5		4.72 19.83	4.1800.0000.0000.000						
2	6		5.81 17.63	3.7400.0000.0000.000						
4	6		1.19 4.14	0.9000.0000.0000.000						
5	7		4.60 11.60	2.0400.0000.0000.000						
6	7		2.67 8.20	1.7000.0000.0000.000						
6	8		1.20 4.20	0.9000.0000.0000.000						
6	9		0.00 20.80	0.0000.0000.0000.000						
6	10		0.00 55.60	0.0000.0000.0000.000						
9	11		0.00 20.80	0.0000.0000.0000.000						
9	10		0.00 11.00	0.0000.0000.0000.000						
4	12		0.00 25.60	0.0000.0000.0000.000						
12	13		0.00 14.00	0.0000.0000.0000.000						
12	14		12.31 25.59	0.0000.0000.0000.000						
12	15		6.62 13.04	0.0000.0000.0000.000						
12	16		9.45 19.87	0.0000.0000.0000.000						
14	15		22.10 19.97	0.0000.0000.0000.000						
16	17		5.24 19.23	0.0000.0000.0000.000						
15	18		10.73 21.85	0.0000.0000.0000.000						
18	19		6.39 12.92	0.0000.0000.0000.000						
19	20		3.40 6.80	0.0000.0000.0000.000						
10	20		9.36 20.90	0.0000.0000.0000.000						
10	17		3.24 8.45	0.0000.0000.0000.000						
10	21		3.48 7.49	0.0000.0000.0000.000						
10	22		7.27 14.99	0.0000.0000.0000.000						
21	22		1.16 2.36	0.0000.0000.0000.000						
15	23		10.00 20.20	0.0000.0000.0000.000						
22	24		11.50 17.90	0.0000.0000.0000.000						
23	24		13.20 27.00	0.0000.0000.0000.000						
24	25		18.85 32.92	0.0000.0000.0000.000						
25	26		25.44 38.00	0.0000.0000.0000.000						
25	27		10.93 20.87	0.0000.0000.0000.000						
28	27		0.00 39.60	0.0000.0000.0000.000						
27	29		21.98 41.53	0.0000.0000.0000.000						
27	30		32.02 60.27	0.0000.0000.0000.000						
29	30		23.99 45.33	0.0000.0000.0000.000						
8	28		6.36 20.00	4.2800.0000.0000.000						
6	28		1.69 5.99	1.3000.0000.0000.000						
9999										
	0.95	1.100								
9999										

A.2.4 BANCO DE DADOS DO SISTEMA CESP 53 BARRAS

1	1	I. SOLTE-19GR	995	0.	-950.	950.	1	11000
2	-1	JUPIA---11GR	1000-2.3	770.-218.-528.	528.		2	11000
3		AVERMELHA440	1013-14.					51000
4		AVERMELHA500	1079-16.			433.3-176.		21000
5		AVERMELHA138	1050-18.			153.4 28.8		21000
6	-1	A. VERMEL-6GR	995-11.	900.-237.-540.	540.		6	11000
7		ISOLTEIRA440	1013-5.6					51000
8	-1	T. IRMAOS-4GR	1000-.27	520.-67.4-200.	200.		8	11000
9		JUPIA----138	1045-9.2			67.7 -7.8		21000
10		3IRMAOS--440	1015-5.1					51000
11		3IRMAOS--138	1048-9.2			165.3 30.6		21000
12		JUPIA----440	1021-6.1					51000
13		TAQUARUCU440	1033-1.9					51000
14	-1	P. PRIMA-12GR	10108.55	1000.-129.-540.	540.		14	11000
15	-1	TAQUARUC-4GR	1030 2.8	310.1.596-192.	192.		15	11000
16		PPRIMAV--440	10263.44					11000
17		TAQUARUCU138	1010-4.5			106.4 -4.0		21000
18	-1	CAPIVARA-4GR	10302.62	575.51.11-308.	308.		18	11000
19		CAPIVARA-440	1026-4.1					51000
20		CAPIVARA-138	1040-9.5			88.8 34.3		21000
21		ASSIS----440	1015-13.				-90.	51000
22		ASSIS--A-230	1041-15.			59.0 30.5		21000
23		BAURU----440	1017-22.				0.	51000
24		TOESTE-1Y440	1001-34.			625.2 90.6		51000
25		BAURU----138	1035-28.			241.8100.7		21000
26		ARARAQUA-440	1014-26.				0.	51000
27		ARARAQUA-138	1030-31.			403. 90.2		21000
28		RIBPRETO-440	966-31.					51000
29		RIBPRETO-138	1030-36.			340.7214.7		21000
30		SBARBARA-138	1013-42.			504.5237.9		21000
31		SBARBARA-440	972-34.					51000
32		B. JARDIM-088	999-42.			419.4 110		21000
33		BOMJARDIM440	987-36.					51000
34		SUMARE---440	976-35.					51000
35		BOMJARDIM138	1035-42.			94.2 62.		21000
36		SUMARE---138	1013-41.			413.0115.4		21000
37		TAUBATE--500	1056-39.			138.4 -223		21000
38		TAUBATE--440	1013-40.					51000
39		TAUBATE--230	1030-45.			167.144.3		21000
40		TAUBATE--138	1020-43.			243. 13.7		21000
41		STOANGELO440	1008-34.					51000
42		STOANGELO345	1016-33.			-231.215.9		21000
43	-1	S. ANGELO-1CS	1050-34.		-175. 250.		43	11000
44		STOANGELO138	1049-38.			214.8 61.3		21000
45		MMIRIM-3-440	1014-33.					51000
46		MMIRIM-3-138	1019-39.			443.4 99.7		21000
47		CABREUVA-440	986-35.				-90.	51000
48		CABREUVA-230	1008-38.			1035212.9		21000
49		CABREUVA-138	1029-41.			117.9 35.9		21000
50		EMBUGUACU440	1002-34.					51000
51		EMBUGUACU345	1023-34.			-28.3234.7		21000
52		EMBUGUACU138	1029-38.			305.7 50.6		21000
53	-1	EMBU-GUA-1CS	1050-34.		-175. 250.		53	11000
9999								
3	6	1	.68333	0.0000.0000.000			0.	
3	4	1	.737	0.0000.0000.000			0.	
3	7	1	.19	2.52136.890.0000.0000.000			0.	
3	26	1	.4	5.36290.920.0000.0000.000			0.	
3	28	1	.41	5.64304.120.0000.0000.000			0.	
5	3	1	4.7	0.0000.0000.000			0.	
7	1	1	T	.34632	0.0000.0000.000		0.	

7	10 1	.06	.81	48.630.0000.0000.000	0.
26	7 1	.24	2.98769.920.0000.0000.000	0.	
23	7 1	.20	2.54 655.80.0000.0000.000	0.	
10	8 1 T		1.645	0.0000.0000.000	0.
11	10 1		4.45	0.0000.0000.000	0.
12	10 1 T	.06	.73	43.830.0000.0000.000	0.
12	2 1 T		.87545	0.0000.0000.000	0.
9	12 1		8.33	0.0000.0000.000	0.
13	12 1	.27	3.6197.090.0000.0000.000	0.	
23	12 1	.19	2.48639.440.0000.0000.000	0.	
16	14 1 T		.9225	0.0000.0000.000	0.
16	13 1	.07	.97	217.460.0000.0000.000	0.
13	15 1		2.7875	0.0000.0000.000	0.
13	19 1	.09	1.2	66.940.0000.0000.000	0.
13	21 1	.24	3.14175.770.0000.0000.000	0.	
17	13 1		4.66	0.0000.0000.000	0.
19	21 1	.14	1.82	102.20.0000.0000.000	0.
20	19 1		10.78	0.0000.0000.000	0.
19	18 1		2.1625	0.0000.0000.000	0.
21	23 1	.18	2.37132.670.0000.0000.000	0.	
21	34 1	.43	5.69318.890.0000.0000.000	0.	
22	21 1	.07	7.237	0.0000.0000.000	0.
26	23 1	.13	1.71102.880.0000.0000.000	0.	
23	24 1 T	.28	3.54228.280.0000.0000.000	0.	
23	50 1	.39	4.86313.390.0000.0000.000	0.	
23	47 1	.15	1.88484.120.0000.0000.000	0.	
25	23 1		4.35	0.0000.0000.000	0.
26	45 1	.21	2.65170.710.0000.0000.000	0.	
26	31 1 T	.18	2.38	134.80.0000.0000.000	0.
26	41 1	.38	4.7303.360.0000.0000.000	0.	
27	26 1		1.58	0.0000.0000.000	0.
28	31 1	.22	3.03163.370.0000.0000.000	0.	
29	28 1		2.33	0.0000.0000.000	0.
30	31 1		2.27	0.0000.0000.000	0.
31	34 1 T	.03	.34	19.210.0000.0000.000	0.
32	33 1		2.29	0.0000.0000.000	0.
33	38 1	.2	2.56151.950.0000.0000.000	0.	
35	33 1		9.66	0.0000.0000.000	0.
33	34 1	.06	.8	45.810.0000.0000.000	0.
33	47 1	.03	.38	23.710.0000.0000.000	0.
33	41 1	.15	1.98118.810.0000.0000.000	0.	
36	34 1		2.39	0.0000.0000.000	0.
38	37 1		1.03	0.0000.0000.000	0.
39	38 1		4.77	0.0000.0000.000	0.
40	38 1		2.323	0.0000.0000.000	0.
45	41 1 T	.23	2.88185.570.0000.0000.000	0.	
50	41 1	.09	1.22	73.610.0000.0000.000	0.
41	43 1		3.76	0.0000.0000.000	0.
42	41 1		.358	0.0000.0000.000	0.
44	41 1		3.10	0.0000.0000.000	0.
46	45 1		2.26	0.0000.0000.000	0.
47	50 1	.09	1.22	73.50.0000.0000.000	0.
48	47 1		.371	0.0000.0000.000	0.
49	47 1		8.27	0.0000.0000.000	0.
24	50 1	.11	1.32	85.110.0000.0000.000	0.
50	53 1		3.76	0.0000.0000.000	0.
51	50 1		.356	0.0000.0000.000	0.
52	50 1		2.317	0.0000.0000.000	0.
9999					
	0.95	1.1			
9999					

A.2.5 BANCO DE DADOS DO SISTEMA IEEE 118 BARRAS

69	1	Sporn	1034	30.	516.	0.-99999999.	0.	0.	0.
1	-1	Riversde	954	11.	0.	0. -5. 15.	51.	27.	0.
2	0	Pokagon	971	11.	0.	0. 0. 0.	20.	9.	0.
3	0	HickryCk	967	12.	0.	0. 0. 0.	39.	10.	0.
4	-1	NwCarls1	998	15.	-9.	0.-300. 300.	30.	12.	0.
5	0	Olive	1001	16.	0.	0. 0. 0.	0.	0.	-40.
6	-1	Kankakee	990	13.	0.	0. -13. 50.	52.	22.	0.
7	0	JacksnRd	989	13.	0.	0. 0. 0.	19.	2.	0.
8	-1	Olive	1014	21.	-28.	0.-300. 300.	0.	0.	0.
9	0	Bequine	1042	28.	0.	0. 0. 0.	0.	0.	0.
10	-1	Breed	1049	36.	450.	0.-147. 200.	0.	0.	0.
11	0	SouthBnd	985	13.	0.	0. 0. 0.	70.	23.	0.
12	-1	TwinBrch	990	12.	85.	0. -35. 120.	47.	10.	0.
13	0	Concord	967	11.	0.	0. 0. 0.	34.	16.	0.
14	0	GoshenJt	984	11.	0.	0. 0. 0.	14.	1.	0.
15	-1	FtWayne	970	11.	0.	0. -10. 30.	90.	30.	0.
16	0	N. E.	984	12.	0.	0. 0. 0.	25.	10.	0.
17	0	Sorenson	995	14.	0.	0. 0. 0.	11.	3.	0.
18	-1	McKinley	972	12.	0.	0. -16. 50.	60.	34.	0.
19	-1	Lincoln	962	11.	0.	0. -8. 24.	45.	25.	0.
20	0	Adams	958	12.	0.	0. 0. 0.	18.	3.	0.
21	0	Jay	958	14.	0.	0. 0. 0.	14.	8.	0.
22	0	Randolph	970	16.	0.	0. 0. 0.	10.	5.	0.
23	0	CollCrnr	1000	21.	0.	0. 0. 0.	7.	3.	0.
24	-1	Trenton	991	21.	-13.	0.-300. 300.	0.	0.	0.
25	-1	TannrsCk	1049	28.	220.	0. -47. 140.	0.	0.	0.
26	-1	TannrsCk	1014	30.	314.	0.-1000.1000.	0.	0.	0.
27	-1	Madison	967	15.	-9.	0.-300. 300.	62.	13.	0.
28	0	Mullin	962	14.	0.	0. 0. 0.	17.	7.	0.
29	0	Grant	962	13.	0.	0. 0. 0.	24.	4.	0.
30	0	Sorenson	967	19.	0.	0. 0. 0.	0.	0.	0.
31	-1	DeerCrk	967	13.	7.	0.-300. 300.	43.	27.	0.
32	-1	Delaware	963	15.	0.	0. -14. 42.	59.	23.	0.
33	0	Haviland	972	11.	0.	0. 0. 0.	23.	9.	0.
34	-1	Rockhill	986	11.	0.	0. -8. 24.	59.	26.	14.
35	0	WestLima	981	11.	0.	0. 0. 0.	33.	9.	0.
36	-1	Sterling	980	11.	0.	0. -8. 24.	31.	17.	0.
37	0	EastLima	991	12.	0.	0. 0. 0.	0.	0.	-25.
38	0	EastLima	962	17.	0.	0. 0. 0.	0.	0.	0.
39	0	NwLibrty	970	8.	0.	0. 0. 0.	27.	11.	0.
40	-1	West End	970	7.	-46.	0.-300. 300.	20.	23.	0.
41	0	S.Tiffin	967	7.	0.	0. 0. 0.	37.	10.	0.
42	-1	Howard	985	9.	-59.	0.-300. 300.	37.	23.	0.
43	0	S.Kenton	977	11.	0.	0. 0. 0.	18.	7.	0.
44	0	WMVernon	985	14.	0.	0. 0. 0.	16.	8.	10.
45	0	N.Newark	986	16.	0.	0. 0. 0.	53.	22.	10.
46	-1	W.Lancst	1004	18.	19.	0.-100. 100.	28.	10.	10.
47	0	Crooksvl	1016	21.	0.	0. 0. 0.	34.	0.	0.
48	0	Zanesvll	1021	20.	0.	0. 0. 0.	20.	11.	15.
49	-1	Philo	1024	21.	204.	0. -85. 210.	87.	30.	0.
50	0	WCambrdg	1001	19.	0.	0. 0. 0.	17.	4.	0.
51	0	Newcmrst	967	16.	0.	0. 0. 0.	17.	8.	0.
52	0	SCoshoct	957	15.	0.	0. 0. 0.	18.	5.	0.
53	0	Wooster	945	14.	0.	0. 0. 0.	23.	11.	0.
54	-1	Torrey	954	15.	48.	0.-300. 300.	113.	32.	0.
55	-1	Wagenhls	952	15.	0.	0. -8. 23.	63.	22.	0.
56	-1	Sunnysde	953	15.	0.	0. -8. 15.	84.	18.	0.
57	0	WNwPhil1	971	16.	0.	0. 0. 0.	12.	3.	0.
58	0	WNwPhil2	958	16.	0.	0. 0. 0.	12.	3.	0.
59	-1	Tidd	985	19.	155.	0. -60. 180.	277.	113.	0.
60	0	SWKammer	992	23.	0.	0. 0. 0.	78.	3.	0.

61	-1	W.Kammer	995	24.	160.	0.-100.	300.	0.	0.	0.	
62	-1	Natrium	998	23.	0.	0.	-20.	20.	77.	14.	0.
63	0	Tidd	968	23.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
64	0	Kammer	984	25.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
65	-1	Muskngum	1004	28.	391.	0.	-67.	200.	0.	0.	0.
66	-1	Muskngum	1049	27.	392.	0.	-67.	200.	39.	18.	0.
67	0	Summerfl	1019	25.	0.	0.	0.	0.	28.	7.	0.
68	0	Sporn	1003	28.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
70	-1	Portsmth	984	23.	0.	0.	-10.	32.	66.	20.	0.
71	0	NPortsmt	986	22.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
72	-1	Hillsbro	980	21.	-12.	0.-100.	100.	0.	0.	0.	0.
73	-1	Sargents	990	22.	-6.	0.-100.	100.	0.	0.	0.	0.
74	-1	Bellefnt	958	22.	0.	0.	-6.	9.	68.	27.	12.
75	0	SthPoint	967	23.	0.	0.	0.	0.	47.	11.	0.
76	-1	Darrah	943	22.	0.	0.	-8.	23.	68.	36.	0.
77	-1	Turner	1006	27.	0.	0.	-20.	70.	61.	28.	0.
78	0	Chemical	1003	26.	0.	0.	0.	0.	71.	26.	0.
79	0	CapitlHl	1008	27.	0.	0.	0.	0.	39.	32.	20.
80	-1	CabinCrk	1039	29.	477.	0.-165.	280.	130.	26.	0.	0.
81	0	Kanawha	996	28.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
82	0	Logan	989	27.	0.	0.	0.	0.	54.	27.	20.
83	0	Sprigg	985	28.	0.	0.	0.	0.	20.	10.	10.
84	0	BetsyLne	980	31.	0.	0.	0.	0.	11.	7.	0.
85	-1	BeaverCk	985	33.	0.	0.	-8.	23.	24.	15.	0.
86	0	Hazard	986	31.	0.	0.	0.	0.	21.	10.	0.
87	-1	Pineville	1014	31.	4.	0.-100.	1000.	0.	0.	0.	0.
88	0	Fremont	986	36.	0.	0.	0.	0.	48.	10.	0.
89	-1	ClinchRv	1004	40.	607.	0.-210.	300.	0.	0.	0.	0.
90	-1	Holston	985	33.	-85.	0.-300.	300.	78.	42.	0.	0.
91	-1	HolstonT	980	33.	-10.	0.-100.	100.	0.	0.	0.	0.
92	-1	Saltville	992	34.	0.	0.	-3.	9.	65.	10.	0.
93	0	Tazewell	986	31.	0.	0.	0.	0.	12.	7.	0.
94	0	Switchbk	990	29.	0.	0.	0.	0.	30.	16.	0.
95	0	Caldwell	981	28.	0.	0.	0.	0.	42.	31.	0.
96	0	Baileysv	992	28.	0.	0.	0.	0.	38.	15.	0.
97	0	Sundial	1011	28.	0.	0.	0.	0.	15.	9.	0.
98	0	Bradley	1024	27.	0.	0.	0.	0.	34.	8.	0.
99	-1	Hinton	1009	27.	-42.	0.-100.	100.	0.	0.	0.	0.
100	-1	Glen Lyn	1016	28.	252.	0.	-50.	155.	37.	18.	0.
101	0	Wythe	992	30.	0.	0.	0.	0.	22.	15.	0.
102	0	Smythe	990	32.	0.	0.	0.	0.	5.	3.	0.
103	-1	Claytor	1001	24.	40.	0.	-15.	40.	23.	16.	0.
104	-1	Hancock	971	22.	0.	0.	-8.	23.	38.	25.	0.
105	-1	Roanoke	964	21.	0.	0.	-8.	23.	31.	26.	20.
106	0	Cloverdl	962	20.	0.	0.	0.	0.	43.	16.	0.
107	-1	Reusens	952	18.	-22.	0.-200.	200.	28.	12.	6.	0.
108	0	Blaine	967	19.	0.	0.	0.	0.	2.	1.	0.
109	0	Franklin	967	19.	0.	0.	0.	0.	8.	3.	0.
110	-1	Fieldale	972	18.	0.	0.	-8.	23.	39.	30.	6.
111	-1	DanRiver	980	20.	36.	0.-100.	1000.	0.	0.	0.	0.
112	-1	Danville	975	15.	-43.	0.-100.	1000.	25.	13.	0.	0.
113	-1	Deer Crk	992	14.	-6.	0.-100.	200.	0.	0.	0.	0.
114	0	WMedford	959	14.	0.	0.	0.	0.	8.	3.	0.
115	0	Medford	959	14.	0.	0.	0.	0.	22.	7.	0.
116	-1	KygerCrk	1004	27.	-184.	0.-1000.	1000.	0.	0.	0.	0.
117	0	Corey	973	11.	0.	0.	0.	0.	20.	8.	0.
118	0	WHuntngd	949	22.	0.	0.	0.	0.	33.	15.	0.
9999											
1	2	3.03	9.99	2.5400.	0.0000.	0.0000.	0.000	0.			
1	3	1.29	4.24	1.0820.	0.0000.	0.0000.	0.000	0.			
4	5	0.18	0.80	0.2100.	0.0000.	0.0000.	0.000	0.			
3	5	2.41	10.80	2.8400.	0.0000.	0.0000.	0.000	0.			
5	6	1.19	5.40	1.4260.	0.0000.	0.0000.	0.000	0.			
6	7	0.46	2.08	0.5500.	0.0000.	0.0000.	0.000	0.			
8	9	0.24	3.05116.	200.	0.0000.	0.0000.	0.000	0.			

8	5	0.00	2.67	0.0000.0000.0000.000	0.
9	10	0.26	3.22123.000.0000.0000.000	0.	
4	11	2.09	6.88	1.7480.0000.0000.000	0.
5	11	2.03	6.82	1.7380.0000.0000.000	0.
11	12	0.60	1.96	0.5020.0000.0000.000	0.
2	12	1.87	6.16	1.5720.0000.0000.000	0.
3	12	4.84	16.00	4.0600.0000.0000.000	0.
7	12	0.86	3.40	0.8740.0000.0000.000	0.
11	13	2.23	7.31	1.8760.0000.0000.000	0.
12	14	2.15	7.07	1.8160.0000.0000.000	0.
13	15	7.44	24.44	6.2680.0000.0000.000	0.
14	15	5.95	19.50	5.0200.0000.0000.000	0.
12	16	2.12	8.34	2.1400.0000.0000.000	0.
15	17	1.32	4.37	4.4400.0000.0000.000	0.
16	17	4.54	18.01	4.6600.0000.0000.000	0.
17	18	1.23	5.05	1.2980.0000.0000.000	0.
18	19	1.12	4.93	1.1420.0000.0000.000	0.
19	20	2.52	11.70	2.9800.0000.0000.000	0.
15	19	1.20	3.94	1.0100.0000.0000.000	0.
20	21	1.83	8.49	2.1600.0000.0000.000	0.
21	22	2.09	9.70	2.4600.0000.0000.000	0.
22	23	3.42	15.90	4.0400.0000.0000.000	0.
23	24	1.35	4.92	4.9800.0000.0000.000	0.
23	25	1.56	8.00	8.6400.0000.0000.000	0.
26	25	0.00	3.82	0.0000.0000.0000.000	0.
25	27	3.18	16.3017.6400.0000.0000.000	0.	
27	28	1.91	8.55	2.1600.0000.0000.000	0.
28	29	2.37	9.43	2.3800.0000.0000.000	0.
30	17	0.00	3.88	0.0000.0000.0000.000	0.
8	30	0.43	5.0451.4000.0000.0000.000	0.	
26	30	0.80	8.6090.8000.0000.0000.000	0.	
17	31	4.74	15.63	3.9900.0000.0000.000	0.
29	31	1.08	3.31	0.8300.0000.0000.000	0.
23	32	3.17	11.5311.7300.0000.0000.000	0.	
31	32	2.98	9.85	2.5100.0000.0000.000	0.
27	32	2.29	7.55	1.9260.0000.0000.000	0.
15	33	3.80	12.44	3.1940.0000.0000.000	0.
19	34	7.52	24.70	6.3200.0000.0000.000	0.
35	36	0.22	1.02	0.2680.0000.0000.000	0.
35	37	1.10	4.97	1.3180.0000.0000.000	0.
33	37	4.15	14.20	3.6600.0000.0000.000	0.
34	36	0.87	2.68	0.5680.0000.0000.000	0.
34	37	0.26	0.94	0.9840.0000.0000.000	0.
38	37	0.00	3.75	0.0000.0000.0000.000	0.
37	39	3.21	10.60	2.7000.0000.0000.000	0.
37	40	5.93	16.80	4.2000.0000.0000.000	0.
30	38	0.46	5.4042.2000.0000.0000.000	0.	
39	40	1.84	6.05	1.5520.0000.0000.000	0.
40	41	1.45	4.87	1.2220.0000.0000.000	0.
40	42	5.55	18.30	4.6600.0000.0000.000	0.
41	42	4.10	13.50	3.4400.0000.0000.000	0.
43	44	6.08	24.54	6.0680.0000.0000.000	0.
34	43	4.13	16.81	4.2260.0000.0000.000	0.
44	45	2.24	9.01	2.2400.0000.0000.000	0.
45	46	4.00	13.56	3.3200.0000.0000.000	0.
46	47	3.80	12.70	3.1600.0000.0000.000	0.
46	48	6.01	18.90	4.7200.0000.0000.000	0.
47	49	1.91	6.25	1.6040.0000.0000.000	0.
42	49	3.57	16.1517.2000.0000.0000.000	0.	
45	49	6.84	18.60	4.4400.0000.0000.000	0.
48	49	1.79	5.05	1.2580.0000.0000.000	0.
49	50	2.67	7.52	1.8740.0000.0000.000	0.
49	51	4.86	13.70	3.4200.0000.0000.000	0.
51	52	2.03	5.88	1.3960.0000.0000.000	0.
52	53	4.05	16.35	4.0580.0000.0000.000	0.

53	54	2.63	12.20	3.1000.0000.0000.000	0.
49	54	4.00	14.7614.6800.0000.0000.000	0.	
54	55	1.69	7.07	2.0200.0000.0000.000	0.
54	56	0.28	0.95	0.7320.0000.0000.000	0.
55	56	0.49	1.51	0.3740.0000.0000.000	0.
56	57	3.43	9.66	2.4200.0000.0000.000	0.
50	57	4.74	13.40	3.3200.0000.0000.000	0.
56	58	3.43	9.66	2.4200.0000.0000.000	0.
51	58	2.55	7.19	1.7880.0000.0000.000	0.
54	59	5.03	22.93	5.9800.0000.0000.000	0.
56	59	4.06	12.2411.0800.0000.0000.000	0.	
55	59	4.74	21.58	5.6460.0000.0000.000	0.
59	60	3.17	14.50	3.7600.0000.0000.000	0.
59	61	3.28	15.00	3.8800.0000.0000.000	0.
60	61	0.26	1.35	1.4560.0000.0000.000	0.
60	62	1.23	5.61	1.4680.0000.0000.000	0.
61	62	0.82	3.76	0.9800.0000.0000.000	0.
63	59	0.00	3.86	0.0000.0000.0000.000	0.
63	64	0.17	2.0021.6000.0000.0000.000	0.	
64	61	0.00	2.68	0.0000.0000.0000.000	0.
38	65	0.90	9.86104.600.0000.0000.000	0.	
64	65	0.27	3.0238.0000.0000.0000.000	0.	
49	66	0.90	4.60	4.9600.0000.0000.000	0.
62	66	4.82	21.80	5.7800.0000.0000.000	0.
62	67	2.58	11.70	3.1000.0000.0000.000	0.
65	66	0.00	3.70	0.0000.0000.0000.000	0.
66	67	2.24	10.15	2.6820.0000.0000.000	0.
65	68	0.14	1.6063.8000.0000.0000.000	0.	
47	69	8.44	27.78	7.0920.0000.0000.000	0.
49	69	9.85	32.40	8.2800.0000.0000.000	0.
68	69	0.00	3.70	0.0000.0000.0000.000	0.
69	70	3.00	12.7012.2000.0000.0000.000	0.	
24	70	0.22	41.1510.1980.0000.0000.000	0.	
70	71	0.88	3.55	0.8780.0000.0000.000	0.
24	72	4.88	19.60	4.8800.0000.0000.000	0.
71	72	4.46	18.00	4.4440.0000.0000.000	0.
71	73	0.87	4.54	1.1780.0000.0000.000	0.
70	74	4.01	13.23	3.3680.0000.0000.000	0.
70	75	4.28	14.10	3.6000.0000.0000.000	0.
69	75	4.05	12.2012.4000.0000.0000.000	0.	
74	75	1.23	4.06	1.0340.0000.0000.000	0.
76	77	4.44	14.80	3.6800.0000.0000.000	0.
69	77	3.09	10.1010.3800.0000.0000.000	0.	
75	77	6.01	19.99	4.9780.0000.0000.000	0.
77	78	0.38	1.24	1.2640.0000.0000.000	0.
78	79	0.55	2.44	0.6480.0000.0000.000	0.
77	80	1.09	3.32	7.0000.0000.0000.000	0.
79	80	1.56	7.04	1.8700.0000.0000.000	0.
68	81	0.18	2.0280.8000.0000.0000.000	0.	
81	80	0.00	3.70	0.0000.0000.0000.000	0.
77	82	2.98	8.53	8.1740.0000.0000.000	0.
82	83	1.12	3.66	3.7960.0000.0000.000	0.
83	84	6.25	13.20	2.5800.0000.0000.000	0.
83	85	4.30	14.80	3.4800.0000.0000.000	0.
84	85	3.02	6.41	1.2340.0000.0000.000	0.
85	86	3.50	12.30	2.7600.0000.0000.000	0.
86	87	2.83	20.74	4.4500.0000.0000.000	0.
85	88	2.00	10.20	2.7600.0000.0000.000	0.
85	89	2.39	17.30	4.7000.0000.0000.000	0.
88	89	1.39	7.12	1.9340.0000.0000.000	0.
89	90	1.63	6.5215.8800.0000.0000.000	0.	
90	91	2.54	8.36	2.1400.0000.0000.000	0.
89	92	0.80	3.83	9.6200.0000.0000.000	0.
91	92	3.87	12.72	3.2680.0000.0000.000	0.
92	93	2.58	8.48	2.1800.0000.0000.000	0.

92	94	4.81	15.80	4.0600.0000.0000.000	0.
93	94	2.23	7.32	1.8760.0000.0000.000	0.
94	95	1.32	4.34	1.1100.0000.0000.000	0.
80	96	3.56	18.20	4.9400.0000.0000.000	0.
82	96	1.62	5.30	5.4400.0000.0000.000	0.
94	96	2.69	8.69	2.3000.0000.0000.000	0.
80	97	1.83	9.34	2.5400.0000.0000.000	0.
80	98	2.38	10.80	2.8600.0000.0000.000	0.
80	99	4.54	20.60	5.4600.0000.0000.000	0.
92	100	6.48	29.50	4.7200.0000.0000.000	0.
94	100	1.78	5.80	6.0400.0000.0000.000	0.
95	96	1.71	5.47	1.4740.0000.0000.000	0.
96	97	1.73	8.85	2.4000.0000.0000.000	0.
98	100	3.97	17.90	4.7600.0000.0000.000	0.
99	100	1.80	8.13	2.1600.0000.0000.000	0.
100	101	2.77	12.62	3.2800.0000.0000.000	0.
92	102	1.23	5.59	1.4640.0000.0000.000	0.
101	102	2.46	11.20	2.9400.0000.0000.000	0.
100	103	1.60	5.25	5.3600.0000.0000.000	0.
100	104	4.51	20.40	5.4100.0000.0000.000	0.
103	104	4.66	15.84	4.0700.0000.0000.000	0.
103	105	5.35	16.25	4.0800.0000.0000.000	0.
100	106	6.05	22.90	6.2000.0000.0000.000	0.
104	105	0.99	3.78	0.9860.0000.0000.000	0.
105	106	1.40	5.47	1.4340.0000.0000.000	0.
105	107	5.30	18.30	4.7200.0000.0000.000	0.
105	108	2.61	7.03	1.8440.0000.0000.000	0.
106	107	5.30	18.30	4.7200.0000.0000.000	0.
108	109	1.05	2.88	0.7600.0000.0000.000	0.
103	110	3.91	18.13	4.6100.0000.0000.000	0.
109	110	2.78	7.62	2.0200.0000.0000.000	0.
110	111	2.20	7.55	2.0000.0000.0000.000	0.
110	112	2.47	6.40	6.2000.0000.0000.000	0.
17	113	0.91	3.01	0.7680.0000.0000.000	0.
32	113	6.15	20.30	5.1800.0000.0000.000	0.
32	114	1.35	6.12	1.6280.0000.0000.000	0.
27	115	1.64	7.41	1.9720.0000.0000.000	0.
114	115	0.23	1.04	0.2760.0000.0000.000	0.
68	116	0.03	0.4116	4.000.0000.0000.000	0.
12	117	3.29	14.00	3.5800.0000.0000.000	0.
75	118	1.45	4.81	1.1980.0000.0000.000	0.
76	118	1.64	5.44	1.3560.0000.0000.000	0.
9999					
	0.90	1.1			
9999					

A.2.6 BANCO DE DADOS DO SISTEMA IEEE 162 BARRAS

108	1	G	1000-28.	551.	156.-999999999.	0.	0.	0.
1	0	3	3	1032-25.	0.	0.	0.	0.-100.
2	0	3	3	1022-30.	0.	0.	0.	0.
3	0	2	1	999-32.2000.	0.	0.	0.	2370. 97. 0.
4	0	3	3	1019-34.	0.	0.	0.	0.
5	0	3	3	1033-25.	0.	0.	0.	0.
6	-1	G	1000-19.	794.	181.-200.	400.	0.	0.
7	0	3	3	1018-30.	0.	0.	0.	0.
8	0	7	1	1034-34.-398.	-19.	0.	0.	0.
9	0	3	3	1026-28.	0.	0.	0.	0.
10	0	4	2	992-36.-226.	11.	0.	0.	0.
11	0	4	2	999-32.	0.	0.	0.	0.
12	0	7	1	1037-34.-193.	6.	0.	0.	0.
13	0	3	3	1014-31.-204.	-37.	0.	0.	0.
14	0	5	1	1027-31.-381.	-56.	0.	0.	0.
15	0	4	2	1018-25.1500.	6.	0.	0.	1420. 0. 0.

16	0	5	1	1014-30.	54.	-27.	0.	0.	0.	0.	0.
17	0	5	1	1005-29.	116.	-45.	0.	0.	0.	0.	0.
18	0	5	1	1035-34.	0.	0.	0.	0.	34.	12.	0.
19	0	5	1	999-38.	-64.	-4.	0.	0.	0.	0.	0.
20	0	8		979-33.	0.	0.	0.	0.	38.	12.	0.
21	0	5	1	1008-30.	70.	-23.	0.	0.	0.	0.	0.
22	0	5	1	1033-38.	0.	0.	0.	0.	17.	5.	0.
23	0	5	1	988-35.	-63.	-21.	0.	0.	0.	0.	0.
24	0	5	1	1009-33.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
25	0	3	3	1001-29.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-50.
26	0	3	3	1032-21.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-50.
27	0	3	3	997-30.	1500.	0.	0.	0.	1824.	58.	0.
28	0	5	1	988-36.	0.	0.	0.	0.	38.	13.	0.
29	0	5	1	987-38.	0.	0.	0.	0.	28.	9.	0.
30	0	5	1	997-40.	0.	0.	0.	0.	101.	33.	15.
31	0	5	1	990-37.	-72.	3.	0.	0.	0.	0.	0.
32	0	5	1	1004-41.	0.	0.	0.	0.	53.	15.	20.
33	0	5	1	998-43.	0.	0.	0.	0.	45.	15.	20.
34	0	5	1	998-43.	0.	0.	0.	0.	14.	5.	3.
35	0	5	1	989-44.	0.	0.	0.	0.	54.	15.	5.
36	0	5	1	995-43.	0.	0.	0.	0.	32.	9.	3.
37	0	3	3	986-31.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
38	0	5	1	1018-38.	0.	0.	0.	0.	15.	4.	2.
39	0	3	3	987-33.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
40	0	5	1	999-42.	0.	0.	0.	0.	53.	18.	0.
41	0	5	1	1007-40.	0.	0.	0.	0.	39.	13.	0.
42	0	3	3	1003-33.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
43	0	5	1	1011-36.	-41.	17.	0.	0.	0.	0.	0.
44	0	5	1	1007-36.	0.	0.	0.	0.	16.	4.	0.
45	0	5	1	995-36.	0.	0.	0.	0.	20.	5.	2.
46	0	5	1	998-39.	0.	0.	0.	0.	65.	22.	26.
47	0	5	1	990-42.	0.	0.	0.	0.	5.	2.	0.
48	0	5	1	999-41.	60.	30.	0.	0.	94.	23.	0.
49	0	5	1	988-42.	0.	0.	0.	0.	7.	2.	0.
50	0	2	1	996-39.	-100.	23.	0.	0.	0.	0.	0.
51	0	5	1	991-38.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
52	0	5	1	1014-39.	0.	0.	0.	0.	218.	43.	0.
53	0	5	1	995-31.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
54	0	5	1	988-38.	24.	9.	0.	0.	94.	30.	0.
55	0	5	1	995-30.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
56	0	5	1	991-40.	0.	0.	0.	0.	25.	7.	3.
57	0	5	1	997-38.	0.	20.	0.	0.	48.	16.	0.
58	0	4	2	1008-29.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
59	0	4	2	984-33.	0.	0.	0.	0.	84.	27.	0.
60	0	7	1	992-34.	-244.	-26.	0.	0.	0.	0.	0.
61	0	4	2	983-31.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
62	0	4	2	1023-18.	866.	71.	0.	0.	0.	0.	0.
63	0	4	2	988-30.	-59.	3.	0.	0.	0.	0.	0.
64	0	3		1015-29.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
65	0	3	3	996-25.	26.	-116.	0.	0.	0.	0.	0.
66	0	3	3	1000-31.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-50.
67	0	5	1	999-42.	0.	0.	0.	0.	23.	7.	6.
68	0	5	1	1013-40.	0.	0.	0.	0.	40.	13.	12.
69	0	5	1	1020-39.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
70	0	5	1	1026-24.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
71	0	5	1	992-32.	0.	0.	0.	0.	30.	12.	12.
72	0	5	1	1016-31.	-427.	-110.	0.	0.	0.	0.	0.
73	-1	G		1000-18.	447.	86.	-72.	267.	0.	0.	0.
74	0	3	3	1011-34.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
75	0	3	3	1029-25.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-50.
76	-1	G		1000-16.	1055.	136.	-170.	605.	0.	0.	0.
77	0	5	1	1011-40.	0.	0.	0.	0.	26.	9.	5.
78	0	5	1	1022-38.	0.	0.	0.	0.	79.	0.	0.
79	0	5	1	1031-36.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
80	0	5	1	1009-38.	0.	0.	0.	0.	16.	5.	3.
81	0	8		1000-46.	0.	0.	0.	0.	51.	17.	22.
82	0	5	1	998-42.	0.	0.	0.	0.	62.	20.	10.
83	0	T		1003-41.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
84	0	5	1	1009-38.	0.	0.	0.	0.	38.	9.	3.
85	0	5	1	970-41.	0.	0.	0.	0.	41.	11.	12.
86	0	5	1	969-45.	0.	0.	0.	0.	51.	13.	12.
87	0	7	1	979-44.	0.	0.	0.	0.	17.	4.	0.
88	0	8		988-45.	0.	0.	0.	0.	61.	4.	0.
89	0	7	1	990-46.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

90	0	7	1	961-49.	0.	0.	0.	0.	50.	17.	10.
91	0	5	1	1012-37.	0.	0.	0.	0.	51.	13.	0.
92	0	5	1	1002-38.	0.	0.	0.	0.	36.	9.	0.
93	0	5	1	1029-33.	0.	0.	0.	0.	104.	35.	0.
94	0	5	1	1026-37.	0.	0.	0.	0.	164.	6.	0.
95	0	7	1	1029-37.	0.	0.	0.	0.	117.	0.	0.
96	0	7	1	1001-45.	0.	0.	0.	0.	119.	0.	0.
97	0	7	1	1026-37.	0.	0.	0.	0.	23.	6.	0.
98	0	7	1	1044-35.	0.	30.	0.	0.	151.	50.	0.
99	-1	G		1000-31.	131.	5.	-61.	76.	0.	0.	0.
100	0	7	1	987-46.	0.	0.	0.	0.	23.	7.	3.
101	-1	G		1000-40.	82.	30.	-24.	39.	0.	0.	0.
102	0	5	1	1003-37.	0.	0.	0.	0.	17.	4.	0.
103	0	5	1	1014-35.	-322.	46.	0.	0.	0.	0.	0.
104	0	7	1	992-45.	0.	0.	0.	0.	32.	10.	6.
105	0	7	1	1033-39.	0.	0.	0.	0.	25.	6.	2.
106	0	5	1	994-43.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
107	0	5	1	990-44.	0.	0.	0.	0.	35.	5.	0.
109	0	3	3	1013-33.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
110	0	5	1	1027-30.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
111	0	5	1	1005-34.	0.	0.	0.	0.	65.	17.	0.
112	0	3	3	1027-27.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-50.
113	0	5	1	1025-31.	-33.	95.	0.	0.	0.	0.	0.
114	-1	G		1000-24.	131.	22.	-25.	33.	0.	0.	0.
115	0	5	1	1017-36.	0.	0.	0.	0.	17.	3.	0.
116	0	5	1	1024-37.	0.	0.	0.	0.	56.	11.	0.
117	0	5	1	1014-38.	0.	0.	0.	0.	102.	20.	0.
118	-1	G		1000-34.	173.	60.	-44.	100.	0.	0.	0.
119	0	3	3	1009-35.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
120	0	3	3	1023-27.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
121	-1	G		1000-20.	620.	151.	-120.	250.	0.	0.	0.
122	0	5	1	988-46.	0.	0.	0.	0.	47.	9.	0.
123	0	5	1	999-46.	-165.	55.	0.	0.	0.	0.	0.
124	0	3	3	1008-31.	2571.	0.	0.	0.	2000.	91.	0.
125	-1	0	3	1019-29.	2388.	-23	-10999900.		2000.	0.	0.
126	0	3	3	1010-27.	2467.	64.	0.	0.	2000.	0.	0.
127	0	3	3	984-30.	53.	-65.	0.	0.	0.	0.	0.
128	0	3	3	1023-27.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
129	0	3	3	1024-27.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
130	-1	G		1029-19.	455.	123.	-144.	288.	0.	0.	0.
131	-1	G		1018-20.	575.	95.	-265.	320.	0.	0.	0.
132	0	5	1	1019-30.	-159.	-36.	0.	0.	0.	0.	0.
133	0	8		1035-32.	0.	0.	0.	0.	30.	6.	0.
134	0	5	1	1023-31.	0.	0.	0.	0.	17.	3.	0.
135	0	8		1031-32.	0.	0.	0.	0.	20.	4.	0.
136	0	8		1025-32.	0.	0.	0.	0.	20.	4.	0.
137	0	8		1029-32.	0.	0.	0.	0.	20.	4.	0.
138	0	8		1031-31.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
139	0	8		1026-32.	0.	0.	0.	0.	10.	2.	0.
140	0	8		1028-32.	0.	0.	0.	0.	14.	3.	0.
141	0	5	1	1002-34.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
142	0	8		1027-41.	0.	0.	0.	0.	27.	5.	0.
143	0	8		1005-39.	0.	0.	0.	0.	21.	4.	0.
144	0	8		1021-36.	0.	0.	0.	0.	12.	2.	0.
145	0	8		1018-34.	0.	0.	0.	0.	11.	2.	0.
146	0	8		1009-40.	0.	0.	0.	0.	21.	4.	0.
147	0	5	1	1010-39.	0.	0.	0.	0.	216.	43.	0.
148	0	8		1013-40.	0.	0.	0.	0.	120.	24.	0.
149	0	5	1	1025-24.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
150	0	5	1	1023-24.	0.	0.	0.	0.	5.	2.	0.
151	0	5	1	1009-27.	0.	0.	0.	0.	24.	8.	0.
152	0	5	1	1023-27.	-6.	3.	0.	0.	0.	0.	0.
153	0	8		1017-26.	0.	0.	0.	0.	4.	2.	0.
154	0	8		974-32.	0.	0.	0.	0.	28.	10.	6.
155	0	8		985-30.	0.	0.	0.	0.	12.	4.	0.
156	0	8		978-32.	0.	0.	0.	0.	8.	2.	0.
157	0	8		980-33.	0.	0.	0.	0.	32.	10.	0.
158	0	8		968-33.	0.	0.	0.	0.	16.	6.	3.
159	0	8		968-33.	0.	0.	0.	0.	8.	2.	0.
160	0	8		971-33.	0.	0.	0.	0.	14.	5.	3.
161	0	5	1	1003-28.	0.	0.	0.	0.	32.	10.	0.
162	0	5	1	1000-29.	0.	0.	0.	0.	20.	6.	0.
9999											
1	2	0.35 3.2154.3800.0000.0000.000								0.	

1	3	0.34	3.2672.2400.0000.0000.000	0.
1	4	0.64	6.2198.7000.0000.0000.000	0.
1	5	0.11	1.1920.1200.0000.0000.000	0.
1	6	0.00	1.33 0.0000.0000.0000.000	0.
2	7	0.14	1.2521.2200.0000.0000.000	0.
2	13	0.46	4.1770.5800.0000.0000.000	0.
3	14	23.61101.22	0.0000.0000.0000.000	0.
3	50	3.89 16.99	0.0000.0000.0000.000	0.
3	103	10.74180.23	0.0000.0000.0000.000	0.
3	123	28.83167.19	0.0000.0000.0000.000	0.
3	124	1.40 64.83	0.0000.0000.0000.000	0.
3	125	0.84 11.39	0.0000.0000.0000.000	0.
4	112	0.59	5.6892.5000.0000.0000.000	0.
4	115	0.00	1.85 0.0000.0000.0000.000	0.
4	119	0.14	1.1920.5000.0000.0000.000	0.
5	120	0.22	2.2437.9200.0000.0000.000	0.
5	129	0.22	2.6846.1200.0000.0000.000	0.
5	131	0.00	1.27 0.0000.0000.0000.000	0.
7	8	0.04	1.89 0.0000.0000.0000.000	0.
7	9	0.17	1.6928.7200.0000.0000.000	0.
8	10	45.91107.03	0.0000.0000.0000.000	0.
8	12	1.06 5.74	0.0000.0000.0000.000	0.
8	13	12.74 47.84	0.0000.0000.0000.000	0.
8	14	4.73 39.56	0.0000.0000.0000.000	0.
8	15	50.35174.33	0.0000.0000.0000.000	0.
8	132	2.52 28.80	0.0000.0000.0000.000	0.
9	75	0.13 1.5026.8200.0000.0000.000	0.	
10	11	0.51 3.70	7.1600.0000.0000.000	0.
10	13	12.99 62.20	0.0000.0000.0000.000	0.
10	15	12.75 70.33	0.0000.0000.0000.000	0.
10	60	25.25122.42	0.0000.0000.0000.000	0.
11	15	2.85 17.9334.8400.0000.0000.000	0.	
11	46	1.42 12.2518.7600.0000.0000.000	0.	
11	58	1.70 10.7020.7400.0000.0000.000	0.	
11	59	0.71 4.71	8.5200.0000.0000.000	0.
12	2	0.08 3.77	0.0000.0000.0000.000	0.
12	13	10.38 31.37	0.0000.0000.0000.000	0.
12	14	15.98 64.15	0.0000.0000.0000.000	0.
12	132	44.86157.73	0.0000.0000.0000.000	0.
13	15	4.40 32.27	0.0000.0000.0000.000	0.
13	62	0.98 12.21	0.0000.0000.0000.000	0.
14	72	1.07 8.28	0.0000.0000.0000.000	0.
14	113	0.63 3.82	0.0000.0000.0000.000	0.
14	132	0.57 3.74	0.0000.0000.0000.000	0.
15	58	1.15 7.3214.2000.0000.0000.000	0.	
15	60	39.07167.53	0.0000.0000.0000.000	0.
15	62	0.84 5.88	0.0000.0000.0000.000	0.
15	63	17.04145.55	0.0000.0000.0000.000	0.
16	17	60.17143.73	0.0000.0000.0000.000	0.
16	18	2.97 10.70	5.4600.0000.0000.000	0.
16	27	15.74 88.71	0.0000.0000.0000.000	0.
16	126	10.53 51.32	0.0000.0000.0000.000	0.
16	127	9.58 52.76	0.0000.0000.0000.000	0.
17	18	2.13 10.13	6.4200.0000.0000.000	0.
17	19	23.14 76.78	0.0000.0000.0000.000	0.
17	21	4.71 26.65	0.0000.0000.0000.000	0.
17	127	2.87 26.37	0.0000.0000.0000.000	0.
18	30	2.07 10.88	5.2000.0000.0000.000	0.
18	32	2.34 12.20	5.8200.0000.0000.000	0.
18	37	0.00 4.56	0.0000.0000.0000.000	0.
19	21	38.67190.05	0.0000.0000.0000.000	0.
19	38	2.39 12.50	5.9600.0000.0000.000	0.
19	43	6.03 25.72	0.0000.0000.0000.000	0.
19	127	10.74 68.09	0.0000.0000.0000.000	0.
20	53	0.00 11.40	0.0000.0000.0000.000	0.
20	157	1.13 2.79	0.0400.0000.0000.000	0.
21	22	3.12 16.29	7.7800.0000.0000.000	0.
21	127	1.05 64.14	0.0000.0000.0000.000	0.
22	38	1.40 5.40	2.5000.0000.0000.000	0.
22	39	0.00 4.93	0.0000.0000.0000.000	0.
22	40	1.88 7.17	3.2800.0000.0000.000	0.
22	41	1.72 8.50	4.0400.0000.0000.000	0.
23	24	1.74 5.11	2.3000.0000.0000.000	0.
23	60	6.60 30.93	0.0000.0000.0000.000	0.

24	25	0.00	3.40	0.0000.0000.0000.000	0.
24	28	2.49	7.25	2.0200.0000.0000.000	0.
24	45	1.37	7.25	3.4000.0000.0000.000	0.
25	26	0.59	5.8393	0.0200.0000.0000.000	0.
25	27	0.44	4.1083	0.8400.0000.0000.000	0.
26	74	0.63	6.0793	0.0000.0000.0000.000	0.
26	75	0.30	3.2250	0.3800.0000.0000.000	0.
26	76	0.00	0.82	0.0000.0000.0000.000	0.
27	31	1.01	12.73	0.0000.0000.0000.000	0.
27	62	1.73	58.10	0.0000.0000.0000.000	0.
27	65	1.05	27.64	0.0000.0000.0000.000	0.
27	125	3.50168	45	0.0000.0000.0000.000	0.
27	126	0.22	2.25	0.0000.0000.0000.000	0.
27	127	15.06143	55	0.0000.0000.0000.000	0.
28	29	2.40	9.65	4.4400.0000.0000.000	0.
29	30	3.80	15.00	6.9600.0000.0000.000	0.
29	31	2.06	8.33	3.8400.0000.0000.000	0.
30	32	2.49	10.05	4.5800.0000.0000.000	0.
32	33	1.14	4.48	2.0800.0000.0000.000	0.
33	34	2.80	11.40	5.2000.0000.0000.000	0.
33	35	2.16	10.70	5.1000.0000.0000.000	0.
33	36	1.02	5.36	2.5400.0000.0000.000	0.
34	40	3.97	15.17	6.9000.0000.0000.000	0.
34	77	2.35	8.96	4.0800.0000.0000.000	0.
35	40	2.71	13.41	6.3800.0000.0000.000	0.
36	67	1.76	9.24	4.4000.0000.0000.000	0.
37	39	0.39	3.7967	0.0000.0000.0000.000	0.
37	126	0.40	3.8167	0.0000.0000.0000.000	0.
37	127	0.40	4.0368	0.3200.0000.0000.000	0.
39	42	0.20	1.8632	0.0000.0000.0000.000	0.
40	81	3.00	34.50	0.3800.0000.0000.000	0.
40	82	0.40	1.90	1.0800.0000.0000.000	0.
41	81	3.70	37.20	0.5800.0000.0000.000	0.
41	83	0.52	2.56	1.2400.0000.0000.000	0.
41	84	0.57	5.80	2.9200.0000.0000.000	0.
42	109	0.19	1.9633	0.3000.0000.0000.000	0.
43	44	1.88	7.51	3.4800.0000.0000.000	0.
43	103	3.24	17.02	0.0000.0000.0000.000	0.
43	124	2.93	17.66	0.0000.0000.0000.000	0.
43	125	14.49	65.09	0.0000.0000.0000.000	0.
44	102	1.30	5.00	2.3600.0000.0000.000	0.
44	103	1.27	5.10	2.4400.0000.0000.000	0.
45	54	1.08	5.70	2.7200.0000.0000.000	0.
46	47	3.10	13.78	6.2200.0000.0000.000	0.
47	48	2.51	11.14	5.0200.0000.0000.000	0.
47	49	0.30	1.20	0.5400.0000.0000.000	0.
48	50	3.36	16.60	7.8000.0000.0000.000	0.
48	51	4.20	13.00	5.7000.0000.0000.000	0.
48	52	5.40	16.80	7.4000.0000.0000.000	0.
49	87	1.40	6.80	2.6600.0000.0000.000	0.
50	51	3.00	9.00	4.1000.0000.0000.000	0.
50	123	40.71185	43	0.0000.0000.0000.000	0.
50	125	13.37	60.31	0.0000.0000.0000.000	0.
51	141	3.23	10.00	4.4200.0000.0000.000	0.
52	79	6.23	21.26	9.4000.0000.0000.000	0.
52	106	2.31	7.17	3.1400.0000.0000.000	0.
52	116	0.60	4.87	2.5600.0000.0000.000	0.
52	117	1.17	4.93	2.3000.0000.0000.000	0.
52	118	0.00	5.20	0.0000.0000.0000.000	0.
53	11	0.05	2.00	0.0000.0000.0000.000	0.
53	54	2.75	19.61	9.5600.0000.0000.000	0.
53	55	0.05	0.26	0.2200.0000.0000.000	0.
54	56	1.74	9.10	4.3000.0000.0000.000	0.
54	57	2.50	12.37	5.8800.0000.0000.000	0.
55	57	4.62	17.63	8.0200.0000.0000.000	0.
55	149	1.53	6.71	3.1200.0000.0000.000	0.
55	162	0.40	1.89	0.9800.0000.0000.000	0.
56	67	1.70	8.94	4.2400.0000.0000.000	0.
57	80	2.72	10.37	4.7200.0000.0000.000	0.
58	61	1.33	10.1818	4.2000.0000.0000.000	0.
59	61	1.06	7.0612	1.1000.0000.0000.000	0.
60	61	0.12	2.45	-0.2200.0000.0000.000	0.
60	62	36.74	96.40	0.0000.0000.0000.000	0.
60	65	10.41	41.44	0.0000.0000.0000.000	0.

60	126	53.67182.95	0.0000.0000.0000.000	0.
61	62	2.96 22.7539.9600.0000.0000.000	0.	
61	63	0.43 4.22 7.6400.0000.0000.000	0.	
62	63	1.58 17.02 0.0000.0000.0000.000	0.	
62	65	0.40 7.40 0.0000.0000.0000.000	0.	
62	126	0.44 29.69 0.0000.0000.0000.000	0.	
63	65	24.09196.00 0.0000.0000.0000.000	0.	
64	65	0.50 5.7190.9800.0000.0000.000	0.	
64	66	0.33 3.8160.6600.0000.0000.000	0.	
65	126	0.31 15.36 0.0000.0000.0000.000	0.	
66	11	0.00 1.18 0.0000.0000.0000.000	0.	
67	68	1.93 10.13 4.8200.0000.0000.000	0.	
68	69	0.68 3.53 1.6800.0000.0000.000	0.	
69	77	0.98 3.74 1.7000.0000.0000.000	0.	
69	78	1.14 4.34 1.9600.0000.0000.000	0.	
69	79	0.52 4.33 2.2000.0000.0000.000	0.	
70	73	0.00 1.97 0.0000.0000.0000.000	0.	
70	149	0.01 0.09 0.2000.0000.0000.000	0.	
71	85	3.04 15.06 7.1600.0000.0000.000	0.	
71	150	1.96 9.70 4.6200.0000.0000.000	0.	
72	113	0.22 1.30 0.0000.0000.0000.000	0.	
72	132	0.28 1.68 0.0000.0000.0000.000	0.	
72	152	3.85 18.00 0.0000.0000.0000.000	0.	
74	119	0.31 3.1048.2200.0000.0000.000	0.	
75	128	0.08 0.8716.6000.0000.0000.000	0.	
75	130	0.04 2.42 0.0000.0000.0000.000	0.	
78	79	0.51 3.36 1.8200.0000.0000.000	0.	
78	80	2.44 9.30 4.2200.0000.0000.000	0.	
79	74	0.00 1.80 0.0000.0000.0000.000	0.	
82	83	0.53 2.49 1.3000.0000.0000.000	0.	
84	93	1.25 8.26 4.1400.0000.0000.000	0.	
85	86	2.11 10.46 4.9800.0000.0000.000	0.	
86	87	2.80 11.20 5.3800.0000.0000.000	0.	
86	88	4.40 22.8010.9000.0000.0000.000	0.	
88	96	7.40 25.00 1.4200.0000.0000.000	0.	
88	106	0.79 4.68 2.3200.0000.0000.000	0.	
89	86	0.00 5.70 0.0000.0000.0000.000	0.	
89	90	6.90 13.40 1.4000.0000.0000.000	0.	
90	96	18.37 35.90 3.7000.0000.0000.000	0.	
91	92	1.56 8.19 3.7600.0000.0000.000	0.	
91	93	1.43 8.95 4.5000.0000.0000.000	0.	
91	94	1.45 9.57 4.8000.0000.0000.000	0.	
92	102	1.50 6.10 2.9200.0000.0000.000	0.	
93	42	0.00 2.60 0.0000.0000.0000.000	0.	
93	108	0.00 1.54 0.0000.0000.0000.000	0.	
94	103	2.27 13.33 6.6000.0000.0000.000	0.	
94	107	6.13 18.91 8.3600.0000.0000.000	0.	
94	109	0.00 3.50 0.0000.0000.0000.000	0.	
95	91	0.54 4.58-0.3600.0000.0000.000	0.	
95	96	8.70 21.20 8.6000.0000.0000.000	0.	
95	97	12.89 28.09 3.3400.0000.0000.000	0.	
95	98	0.71 4.30 2.2400.0000.0000.000	0.	
95	99	0.00 6.85 0.0000.0000.0000.000	0.	
96	100	6.90 16.10 1.8600.0000.0000.000	0.	
96	101	0.00 10.31 0.0000.0000.0000.000	0.	
97	44	0.51 10.07-0.2500.0000.0000.000	0.	
98	93	0.06 2.14-3.4100.0000.0000.000	0.	
98	105	14.85 29.30 3.1000.0000.0000.000	0.	
100	104	6.20 14.50 1.6600.0000.0000.000	0.	
103	123	18.20 75.10 0.0000.0000.0000.000	0.	
103	124	0.02 1.67 0.0000.0000.0000.000	0.	
103	125	2.79 19.72 0.0000.0000.0000.000	0.	
104	34	0.80 6.37-0.3300.0000.0000.000	0.	
105	38	0.00 11.60 0.0000.0000.0000.000	0.	
106	107	1.96 6.11 2.6800.0000.0000.000	0.	
107	122	1.30 6.21 2.9600.0000.0000.000	0.	
109	119	0.60 5.7792.9000.0000.0000.000	0.	
109	124	0.20 2.2237.8200.0000.0000.000	0.	
109	125	0.70 6.20100.000.0000.0000.000	0.	
110	111	2.30 9.90 4.6000.0000.0000.000	0.	
110	112	0.00 1.85 0.0000.0000.0000.000	0.	
110	114	0.00 7.68 0.0000.0000.0000.000	0.	
110	134	0.32 2.56 1.3400.0000.0000.000	0.	
110	141	2.10 6.49 2.8800.0000.0000.000	0.	

111	115	5.27	22.1510.3000.0000.0000.000	0.
112	120	0.05	0.44 7.2000.0000.0000.000	0.
112	121	0.00	1.90 0.0000.0000.0000.000	0.
113	132	4.59	29.11 0.0000.0000.0000.000	0.
113	134	0.08	0.72 0.3800.0000.0000.000	0.
115	117	0.19	1.54 3.3000.0000.0000.000	0.
116	117	0.48	3.91 2.1400.0000.0000.000	0.
116	119	0.00	0.90 0.0000.0000.0000.000	0.
116	147	0.35	2.86 1.5600.0000.0000.000	0.
117	147	0.22	1.75 1.0000.0000.0000.000	0.
120	14	0.03	1.88 0.0000.0000.0000.000	0.
120	128	0.04	0.5110.0000.0000.0000.000	0.
120	129	0.03	0.38 6.5200.0000.0000.000	0.
122	123	1.75	8.35 3.9800.0000.0000.000	0.
123	125	4.23	24.41 0.0000.0000.0000.000	0.
124	125	1.13	15.85 0.0000.0000.0000.000	0.
124	126	5.77	82.56 0.0000.0000.0000.000	0.
125	126	2.01	59.15 0.0000.0000.0000.000	0.
126	127	8.77	70.49 0.0000.0000.0000.000	0.
128	72	0.04	1.80 0.0000.0000.0000.000	0.
129	132	0.04	1.98 0.0000.0000.0000.000	0.
133	134	0.00	4.10 0.0000.0000.0000.000	0.
133	135	1.09	2.59 0.0400.0000.0000.000	0.
133	136	3.90	9.90 0.1600.0000.0000.000	0.
133	137	1.34	5.04 0.1000.0000.0000.000	0.
135	138	4.66	11.82 0.2000.0000.0000.000	0.
136	139	2.60	6.50 0.1000.0000.0000.000	0.
137	140	0.41	1.56 0.0400.0000.0000.000	0.
138	110	0.00	4.10 0.0000.0000.0000.000	0.
138	139	2.60	6.50 0.1000.0000.0000.000	0.
138	140	2.51	9.41 0.1800.0000.0000.000	0.
138	145	9.23	23.38 0.3800.0000.0000.000	0.
142	51	0.00	17.28 0.0000.0000.0000.000	0.
142	143	15.82	39.19 0.6800.0000.0000.000	0.
142	146	16.18	38.61 0.7000.0000.0000.000	0.
143	144	9.27	23.22 0.2000.0000.0000.000	0.
144	141	0.00	8.20 0.0000.0000.0000.000	0.
144	145	8.90	22.10 0.3200.0000.0000.000	0.
144	146	6.80	29.06 0.5800.0000.0000.000	0.
148	116	0.00	4.10 0.0000.0000.0000.000	0.
149	26	0.00	1.93 0.0000.0000.0000.000	0.
149	150	0.10	0.85 0.2000.0000.0000.000	0.
149	151	0.39	2.62 1.3800.0000.0000.000	0.
149	152	2.53	11.68 5.4400.0000.0000.000	0.
151	161	0.21	1.38 0.7400.0000.0000.000	0.
153	70	0.00	4.58 0.0000.0000.0000.000	0.
153	154	7.10	28.41 0.5400.0000.0000.000	0.
153	155	4.30	18.56 0.3800.0000.0000.000	0.
154	156	1.55	3.79 0.0800.0000.0000.000	0.
154	160	1.02	4.29 0.1000.0000.0000.000	0.
155	156	1.76	8.22 0.1400.0000.0000.000	0.
156	157	5.30	12.73 0.2200.0000.0000.000	0.
157	55	0.00	8.27 0.0000.0000.0000.000	0.
157	158	4.89	14.04 0.2800.0000.0000.000	0.
158	159	3.39	6.64 0.1200.0000.0000.000	0.
159	160	1.90	8.11 1.2000.0000.0000.000	0.
161	162	0.22	1.03 0.5400.0000.0000.000	0.
9999				
	0.95	1.10		
9999				

A.2.7 BANCO DE DADOS DO SISTEMA IEEE 300 BARRAS

7049	1	1050	0.	0.	0.-999999999	0.	0.	0.
1	0	1028	6.	0.	0.	0.	90.	49.
2	0	1035	8.	0.	0.	0.	56.	15.
3	0	997	7.	0.	0.	0.	20.	0.
4	0	1030	5.	0.	0.	0.	0.	0.

5	0	1019	5.	0.	0.	0.	0.	353.	130.	0.
6	0	1031	7.	0.	0.	0.	0.	120.	41.	0.
7	0	993	6.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
8	-1	1015	2.	-5.	0.	-250.	250.	58.	14.	0.
9	0	1003	3.	0.	0.	0.	0.	96.	43.	0.
10	-1	1020	1.	-5.	0.	-60.	60.	148.	33.	0.
11	0	1005	2.	0.	0.	0.	0.	83.	21.	0.
12	0	997	5.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
13	0	997	-1.	0.	0.	0.	0.	58.	10.	0.
14	0	999	-5.	0.	0.	0.	0.	160.	60.	0.
15	0	1034	-9.	0.	0.	0.	0.	127.	23.	0.
16	0	1031	-3.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
17	0	1064	-13.	0.	0.	0.	0.	561.	220.	0.
19	0	981	1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
20	-1	1001	-2.	-10.	0.	-200.	200.	595.	120.	0.
21	0	975	2.	0.	0.	0.	0.	77.	1.	0.
22	0	996	-2.	0.	0.	0.	0.	81.	23.	0.
23	0	1050	4.	0.	0.	0.	0.	21.	7.	0.
24	0	1005	6.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
25	0	1023	1.	0.	0.	0.	0.	45.	12.	0.
26	0	998	-2.	0.	0.	0.	0.	28.	9.	0.
27	0	975	-5.	0.	0.	0.	0.	69.	13.	0.
33	0	1024	-12.	0.	0.	0.	0.	55.	6.	0.
34	0	1041	-8.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
35	0	975	-26.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
36	0	1001	-23.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
37	0	1020	-11.	0.	0.	0.	0.	85.	32.	0.
38	0	1020	-13.	0.	0.	0.	0.	155.	18.	0.
39	0	1053	-6.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
40	0	1021	-13.	0.	0.	0.	0.	46.	-21.	0.
41	0	1029	-10.	0.	0.	0.	0.	86.	0.	0.
42	0	1044	-7.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
43	0	1000	-17.	0.	0.	0.	0.	39.	9.	0.
44	0	1008	-17.	0.	0.	0.	0.	195.	29.	0.
45	0	1021	-15.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
46	0	1034	-12.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
47	0	977	-23.	0.	0.	0.	0.	58.	12.	0.
48	0	1001	-16.	0.	0.	0.	0.	41.	19.	0.
49	0	1047	-3.	0.	0.	0.	0.	92.	26.	0.
51	0	1025	-8.	0.	0.	0.	0.	-5.	5.	0.
52	0	997	-12.	0.	0.	0.	0.	61.	28.	0.
53	0	995	-18.	0.	0.	0.	0.	69.	3.	0.
54	0	1004	-16.	0.	0.	0.	0.	10.	1.	0.
55	0	1014	-12.	0.	0.	0.	0.	22.	10.	0.
57	0	1033	-8.	0.	0.	0.	0.	98.	20.	0.
58	0	991	-6.	0.	0.	0.	0.	14.	1.	0.
59	0	978	-5.	0.	0.	0.	0.	218.	106.	0.
60	0	1024	-10.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
61	0	990	-3.	0.	0.	0.	0.	227.	110.	0.
62	0	1016	-1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
63	-1	958	-18.	0.	0.	-55.	55.	70.	30.	0.
64	0	948	-13.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
69	0	962	-26.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
70	0	951	-35.	0.	0.	0.	0.	56.	20.	0.
71	0	979	-30.	0.	0.	0.	0.	116.	38.	0.
72	0	969	-27.	0.	0.	0.	0.	57.	19.	0.
73	0	977	-26.	0.	0.	0.	0.	224.	71.	0.
74	0	996	-22.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
76	-1	963	-27.	0.	0.	-212.	235.	208.	107.	0.
77	0	983	-25.	0.	0.	0.	0.	74.	28.	0.
78	0	990	-24.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
79	0	981	-25.	0.	0.	0.	0.	48.	14.	0.
80	0	987	-25.	0.	0.	0.	0.	28.	7.	0.
81	0	1034	-19.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
84	-1	1024	-17.	375.	0.	-240.	240.	37.	13.	0.
85	0	987	-18.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
86	0	990	-14.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
87	0	992	-8.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
88	0	1015	-21.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
89	0	1031	-11.	0.	0.	0.	0.	44.	0.	0.
90	0	1027	-11.	0.	0.	0.	0.	66.	0.	0.
91	-1	1052	-9.	155.	0.	-11.	96.	17.	0.	0.
92	-1	1052	-6.	290.	0.	-153.	153.	16.	0.	0.
94	0	992	-9.	0.	0.	0.	0.	60.	0.	0.

97	0	1018-13.	0.	0.	0.	0.	40.	0.	0.
98	-1	1000-15.	68.	0.	-130.	56.	67.	0.	0.
99	0	989-20.	0.	0.	0.	0.	83.	0.	0.
100	0	1006-14.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
102	0	1000-15.	0.	0.	0.	0.	78.	0.	0.
103	0	1028-12.	0.	0.	0.	0.	32.	0.	0.
104	0	995-17.	0.	0.	0.	0.	9.	0.	0.
105	0	1022-13.	0.	0.	0.	0.	50.	0.	0.
107	0	1009-16.	0.	0.	0.	0.	5.	0.	0.
108	-1	990-20.	117.	0.	-12.	77.	112.	0.	0.
109	0	974-26.	0.	0.	0.	0.	31.	0.	0.
110	0	972-25.	0.	0.	0.	0.	63.	0.	0.
112	0	972-29.	0.	0.	0.	0.	20.	0.	0.
113	0	970-25.	0.	0.	0.	0.	26.	0.	0.
114	0	974-29.	0.	0.	0.	0.	18.	0.	0.
115	0	960-14.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
116	0	1024-13.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
117	0	934 -5.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	325.
118	0	929 -4.	0.	0.	0.	0.	14.	650.	0.
119	-1	1043 5.1930.	0.	-500.	1000.	0.	0.	0.	0.
120	0	958 -9.	0.	0.	0.	0.	777.	215.	55.
121	0	987-13.	0.	0.	0.	0.	535.	55.	0.
122	0	972-14.	0.	0.	0.	0.	229.	12.	0.
123	0	1000-18.	0.	0.	0.	0.	78.	1.	0.
124	-1	1023-13.	240.	0.	-60.	220.	276.	59.	0.
125	-1	1010-18.	0.	0.	-25.	220.	515.	83.	0.
126	0	997-13.	0.	0.	0.	0.	58.	5.	0.
127	0	1000-11.	0.	0.	0.	0.	381.	37.	0.
128	0	1002 -5.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
129	0	1002 -4.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
130	0	1019 6.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
131	0	986 6.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
132	0	1004 3.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
133	0	1001 -5.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
134	0	1021 -8.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
135	0	1019 -7.	0.	0.	0.	0.	169.	42.	0.
136	0	1047 2.	0.	0.	0.	0.	55.	18.	0.
137	0	1047 -1.	0.	0.	0.	0.	274.	100.	0.
138	-1	1054 -6.-192.	0.	-125.	350.	0.	827.	135.	0.
139	0	1011 -4.	0.	0.	0.	0.	595.	83.	0.
140	0	1042 -3.	0.	0.	0.	0.	388.	115.	0.
141	-1	1050 0. 281.	0.	-50.	175.	0.	145.	58.	0.
142	0	1015 -3.	0.	0.	0.	0.	56.	24.	0.
143	-1	1043 4. 696.	0.	-100.	300.	0.	89.	35.	0.
144	0	1016 -1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
145	0	1008 0.	0.	0.	0.	0.	24.	14.	0.
146	-1	1052 4. 84.	0.	-15.	35.	0.	0.	0.	0.
147	-1	1052 8. 217.	0.	-50.	100.	0.	0.	0.	0.
148	0	1057 0.	0.	0.	0.	0.	63.	25.	0.
149	-1	1073 5. 103.	0.	-25.	50.	0.	0.	0.	0.
150	0	986 6.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
151	0	1004 4.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
152	-1	1053 9. 372.	0.	-50.	175.	0.	17.	9.	0.
153	-1	1043 10. 216.	0.	-150.	90.	0.	0.	0.	0.
154	0	966 -2.	0.	0.	0.	0.	70.	5.	34.
155	0	1017 7.	0.	0.	0.	0.	200.	50.	0.
156	-1	962 5.	0.	0.	-10.	55.	75.	50.	0.
157	0	984-12.	0.	0.	0.	0.	123.	-24.	0.
158	0	998-11.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
159	0	986-10.	0.	0.	0.	0.	33.	16.	0.
160	0	999-13.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
161	0	1036 9.	0.	0.	0.	0.	35.	15.	0.
162	0	991 18.	0.	0.	0.	0.	85.	24.	0.
163	0	1041 3.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
164	0	983 10.	0.	0.	0.	0.	0.	0.-212.	0.
165	0	1000 26.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
166	0	997 30.	0.	0.	0.	0.	0.	0.-103.	0.
167	0	971 -7.	0.	0.	0.	0.	300.	96.	0.
168	0	1002 -5.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
169	0	987 -7.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
170	-1	929 0. 205.	0.	-40.	190.	0.	482.	205.	0.
171	-1	982-10.	0.	0.	-50.	550.	764.	291.	0.
172	0	1024 -6.	0.	0.	0.	0.	26.	0.	0.
173	0	983-13.	0.	0.	0.	0.	163.	43.	53.

174	0	1062	-3.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
175	0	972	-7.	0.	0.	0.	0.	176.	83.
176	-1	1052	5.	228.	0.	-45.	90.	5.	4.
177	-1	1007	1.	84.	0.	-115.	135.	28.	12.
178	0	939	-7.	0.	0.	0.	0.	427.	174.
179	0	969	-9.	0.	0.	0.	0.	74.	29.
180	0	979	-3.	0.	0.	0.	0.	69.	49.
181	0	1051	-1.	0.	0.	0.	0.	73.	0.
182	0	1044	-4.	0.	0.	0.	0.	241.	89.
183	0	971	7.	0.	0.	0.	0.	40.	4.
184	0	1038	-7.	0.	0.	0.	0.	137.	17.
185	-1	1052	-4.	200.	0.	-50.	80.	0.	0.
186	-1	1065	2.1200.	0.	-100.	400.	0.	60.	24.
187	-1	1065	1.1200.	0.	-100.	400.	0.	60.	24.
188	0	1053	-1.	0.	0.	0.	0.	183.	44.
189	0	997	-26.	0.	0.	0.	0.	7.	2.
190	-1	1055	-21.	475.	0.	-400.	300.	0.	0.
191	-1	1043	12.1973.	0.	-1000	1000.	0.	489.	53.
192	0	937	-11.	0.	0.	0.	0.	800.	72.
193	0	989	-26.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
194	0	1048	-19.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
195	0	1035	-21.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
196	0	969	-25.	0.	0.	0.	0.	10.	3.
197	0	990	-24.	0.	0.	0.	0.	43.	14.
198	-1	1014	-21.	424.	0.	-260.	260.	64.	21.
199	0	952	-26.	0.	0.	0.	0.	35.	12.
200	0	954	-26.	0.	0.	0.	0.	27.	12.
201	0	969	-27.	0.	0.	0.	0.	41.	14.
202	0	990	-25.	0.	0.	0.	0.	38.	13.
203	0	1003	-22.	0.	0.	0.	0.	42.	14.
204	0	971	-26.	0.	0.	0.	0.	72.	24.
205	0	983	-26.	0.	0.	0.	0.	0.	-5.
206	0	999	-27.	0.	0.	0.	0.	12.	2.
207	0	1013	-27.	0.	0.	0.	0.	-21.	-14.
208	0	992	-26.	0.	0.	0.	0.	7.	2.
209	0	999	-26.	0.	0.	0.	0.	38.	13.
210	0	978	-24.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
211	0	1001	-23.	0.	0.	0.	0.	96.	7.
212	0	1013	-23.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
213	-1	1009	-12.	272.	0.	-150.	150.	0.	0.
214	0	991	-18.	0.	0.	0.	0.	22.	16.
215	0	986	-20.	0.	0.	0.	0.	47.	26.
216	0	975	-23.	0.	0.	0.	0.	176.	105.
217	0	1021	-22.	0.	0.	0.	0.	100.	75.
218	0	1007	-23.	0.	0.	0.	0.	131.	96.
219	0	1055	-21.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
220	-1	1008	-22.	100.	0.	-60.	560.	285.	100.
221	-1	1000	-22.	450.	0.	-320.	320.	171.	70.
222	-1	1049	-23.	250.	0.	-300.	300.	328.	188.
223	0	996	-23.	0.	0.	0.	0.	428.	232.
224	0	1000	-22.	0.	0.	0.	0.	173.	99.
225	0	945	-11.	0.	0.	0.	0.	410.	40.
226	0	1018	-22.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
227	-1	1000	-27.	303.	0.	-300.	300.	538.	369.
228	0	1042	-21.	0.	0.	0.	0.	223.	148.
229	0	1049	-20.	0.	0.	0.	0.	96.	46.
230	-1	1039	-14.	345.	0.	-250.	250.	0.	0.
231	0	1053	-21.	0.	0.	0.	0.	159.	107.
232	0	1041	-23.	0.	0.	0.	0.	448.	143.
233	-1	1000	-26.	300.	0.	-500.	500.	404.	212.
234	0	1038	-21.	0.	0.	0.	0.	572.	244.
235	0	1009	-21.	0.	0.	0.	0.	269.	157.
236	-1	1016	-15.	600.	0.	-300.	300.	0.	0.
237	0	1055	-21.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
238	-1	1009	-21.	250.	0.	-200.	500.	255.	149.
239	-1	1000	-16.	550.	0.	-400.	400.	0.	0.
240	0	1023	-20.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
241	-1	1049	-16.	575.	0.	-600.	600.	0.	0.
242	-1	992	-18.	170.	0.	-40.	200.	0.	0.
243	-1	1009	-19.	84.	0.	-40.	80.	8.	3.
244	0	992	-20.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
245	0	971	-21.	0.	0.	0.	0.	61.	30.
246	0	965	-22.	0.	0.	0.	0.	77.	33.
247	0	968	-22.	0.	0.	0.	0.	61.	30.

248	0	976-25.	0.	0.	0.	0.	29.	14.	46.
249	0	975-26.	0.	0.	0.	0.	29.	14.	0.
250	0	1019-24.	0.	0.	0.	0.	-23.	-17.	0.
281	0	1025-20.	0.	0.	0.	0.	-33.	-29.	0.
319	0	1015 1.	0.	0.	0.	0.	116.	-24.	0.
320	0	1014 -2.	0.	0.	0.	0.	2.	-13.	0.
322	0	1000-18.	0.	0.	0.	0.	2.	-4.	0.
323	0	981-14.	0.	0.	0.	0.	-15.	26.	0.
324	0	975-23.	0.	0.	0.	0.	25.	-1.	0.
526	0	942-34.	0.	0.	0.	0.	145.	-35.	0.
528	0	972-38.	0.	0.	0.	0.	28.	-20.	0.
531	0	960-29.	0.	0.	0.	0.	14.	2.	0.
552	0	1000-23.	0.	0.	0.	0.	-11.	-1.	0.
562	0	977-28.	0.	0.	0.	0.	50.	17.	0.
609	0	958-29.	0.	0.	0.	0.	30.	1.	0.
664	0	1030-17.	0.	0.	0.	0.	-114.	77.	0.
1190	0	1012 4.	0.	0.	0.	0.	100.	29.	0.
1200	0	1024 -8.	0.	0.	0.	0.	-100.	34.	0.
1201	0	1012-15.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
2040	0	965-15.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
7001	-1	1050 11. 467.	0.	-210.	280.		0.	0.	0.
7002	-1	1050 12. 623.	0.	-280.	280.		0.	0.	0.
7003	-1	1032 14.1210.	0.	-420.	520.		0.	0.	0.
7011	-1	1014 5. 234.	0.	-100.	100.		0.	0.	0.
7012	-1	1050 12. 372.	0.	-224.	224.		0.	0.	0.
7017	-1	1050-10. 330.	0.	0.	550.		0.	0.	0.
7023	-1	1050 6. 185.	0.	0.	120.		0.	0.	0.
7024	-1	1029 13. 410.	0.	-224.	224.		0.	0.	0.
7039	-1	1049 2. 500.	0.	-200.	200.		0.	0.	0.
7044	-1	1014-14. 37.	0.	0.	42.		0.	0.	0.
7055	-1	996 -8. 45.	0.	0.	125.		0.	0.	0.
7057	-1	1021 -3. 165.	0.	-90.	90.		0.	0.	0.
7061	-1	1014 2. 400.	0.	-250.	250.		0.	0.	0.
7062	-1	1001 6. 400.	0.	-100.	150.		0.	0.	0.
7071	-1	989-25. 116.	0.	0.	87.		0.	0.	0.
7130	-1	1050 19.1292.	0.	-100.	600.		0.	0.	0.
7139	-1	1050 3. 700.	0.	-125.	325.		0.	0.	0.
7166	-1	1014 35. 553.	0.	-200.	300.		0.	0.	0.
9001	0	1011-11. 0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.
9002	-1	994-19. -4.	0.	-2.	2.		0.	0.	0.
9003	0	983-20. 0.	0.	0.	0.		3.	1.	4.
9004	0	976-20. 0.	0.	0.	0.		1.	0.	0.
9005	0	1011-11. 0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.
9006	0	1002-17. 0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.
9007	0	991-19. 0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.
9012	0	1002-17. 0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.
9021	0	988-19. 0.	0.	0.	0.		5.	2.	0.
9022	0	964-22. 0.	0.	0.	0.		2.	1.	0.
9023	0	974-19. 0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.
9024	0	970-21. 0.	0.	0.	0.		1.	0.	0.
9025	0	964-20. 0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.
9026	0	965-20. 0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.
9031	0	931-25. 0.	0.	0.	0.		2.	1.	0.
9032	0	944-24. 0.	0.	0.	0.		1.	0.	0.
9033	0	1008-25. 0.	0.	0.	0.		2.	1.	0.
9034	0	997-21. 0.	0.	0.	0.		2.	1.	2.
9035	0	950-23. 0.	0.	0.	0.		2.	1.	0.
9036	0	959-23. 0.	0.	0.	0.		3.	1.	0.
9037	0	957-23. 0.	0.	0.	0.		2.	1.	0.
9038	0	939-24. 0.	0.	0.	0.		3.	1.	0.
9041	0	963-21. 0.	0.	0.	0.		1.	0.	0.
9042	0	950-22. 0.	0.	0.	0.		1.	0.	0.
9043	0	964-21. 0.	0.	0.	0.		2.	1.	0.
9044	0	978-20. 0.	0.	0.	0.		0.	0.	0.
9051	-1	1000-19. -36.	0.	-57.	57.		0.	0.	0.
9052	0	978-17. 0.	0.	0.	0.		30.	23.	0.
9053	-1	1000-18. -26.	0.	-13.	13.		0.	0.	0.
9054	-1	1100 -7. 50.	0.	-100	100.		0.	0.	0.
9055	-1	1000 -8. 8.	0.	-6.	6.		0.	0.	0.
9071	0	975-20. 0.	0.	0.	0.		1.	0.	0.
9072	0	980-20. 0.	0.	0.	0.		1.	0.	0.
9121	0	979-19. 0.	0.	0.	0.		4.	1.	0.
9533	0	1040-18. 0.	0.	0.	0.		1.	0.	0.
9999									

37	9001	0.01	0.05	0.0000.0000.0000.000	0.
9001	9005	0.08	0.35	0.0000.0000.0000.000	0.
9001	9006	2.44	43.68	0.0000.0000.0000.000	0.
9001	9012	3.62	64.90	0.0000.0000.0000.000	0.
9005	9051	1.58	37.49	0.0000.0000.0000.000	0.
9005	9052	1.58	37.49	0.0000.0000.0000.000	0.
9005	9053	1.60	38.05	0.0000.0000.0000.000	0.
9005	9054	0.00	15.20	0.0000.0000.0000.000	0.
9005	9055	0.00	80.00	0.0000.0000.0000.000	0.
9006	9007	5.56	24.67	0.0000.0000.0000.000	0.
9006	9003	5.56	24.67	0.0000.0000.0000.000	0.
9012	9002	3.81	21.65	0.0000.0000.0000.000	0.
9002	9021	5.37	7.03	0.0000.0000.0000.000	0.
9021	9023	110.68	95.28	0.0000.0000.0000.000	0.
9021	9022	44.36281.52		0.0000.0000.0000.000	0.
9002	9024	50.75322.02		0.0000.0000.0000.000	0.
9023	9025	66.69394.40		0.0000.0000.0000.000	0.
9023	9026	61.13361.52		0.0000.0000.0000.000	0.
9007	9071	44.12296.68		0.0000.0000.0000.000	0.
9007	9072	30.79205.70		0.0000.0000.0000.000	0.
9007	9003	5.58	24.67	0.0000.0000.0000.000	0.
9003	9031	73.63467.24		0.0000.0000.0000.000	0.
9003	9032	76.98488.46		0.0000.0000.0000.000	0.
9003	9033	75.73480.56		0.0000.0000.0000.000	0.
9003	9044	7.38	6.35	0.0000.0000.0000.000	0.
9044	9004	3.83	2.89	0.0000.0000.0000.000	0.
9004	9041	36.61245.60		0.0000.0000.0000.000	0.
9004	9042	105.93545.36		0.0000.0000.0000.000	0.
9004	9043	15.67169.94		0.0000.0000.0000.000	0.
9003	9034	13.01139.12		0.0000.0000.0000.000	0.
9003	9035	54.48345.72		0.0000.0000.0000.000	0.
9003	9036	15.43167.29		0.0000.0000.0000.000	0.
9003	9037	38.49257.12		0.0000.0000.0000.000	0.
9003	9038	44.12296.68		0.0000.0000.0000.000	0.
9012	9121	23.55	99.04	0.0000.0000.0000.000	0.
9053	9533	0.00	75.00	0.0000.0000.0000.000	0.
1	5	0.10	0.60	0.0000.0000.0000.000	0.
2	6	0.10	0.90	0.0000.0000.0000.000	0.
2	8	0.60	2.70	5.4000.0000.0000.000	0.
3	7	0.00	0.30	0.0000.0000.0000.000	0.
3	19	0.80	6.9013.9000	0.0000.0000.0000.000	0.
3	150	0.10	0.70	0.0000.0000.0000.000	0.
4	16	0.20	1.90112.700	0.0000.0000.0000.000	0.
5	9	0.60	2.90	1.8000.0000.0000.000	0.
7	12	0.10	0.90	7.0000.0000.0000.000	0.
7	131	0.10	0.70	1.4000.0000.0000.000	0.
8	11	1.30	5.95	3.3000.0000.0000.000	0.
8	14	1.30	4.20	8.1000.0000.0000.000	0.
9	11	0.60	2.70	1.3000.0000.0000.000	0.
11	13	0.80	3.40	1.8000.0000.0000.000	0.
12	21	0.20	1.5011.8000	0.0000.0000.0000.000	0.
13	20	0.60	3.40	1.6000.0000.0000.000	0.
14	15	1.40	4.20	9.7000.0000.0000.000	0.
15	37	6.50	24.8012.1000	0.0000.0000.0000.000	0.
15	89	9.90	24.80	3.5000.0000.0000.000	0.
15	90	9.60	36.30	4.8000.0000.0000.000	0.
16	42	0.20	2.20128.000	0.0000.0000.0000.000	0.
19	21	0.20	1.80	3.6000.0000.0000.000	0.
19	87	1.30	8.0015.1000	0.0000.0000.0000.000	0.
20	22	1.60	3.30	1.5000.0000.0000.000	0.
20	27	6.90	18.60	9.8000.0000.0000.000	0.
21	24	0.40	3.4028.0000	0.0000.0000.0000.000	0.
22	23	5.20	11.10	5.0000.0000.0000.000	0.
23	25	1.90	3.90	1.8000.0000.0000.000	0.
24	319	0.70	6.8013.4000	0.0000.0000.0000.000	0.
25	26	3.60	7.10	3.4000.0000.0000.000	0.
26	27	4.50	12.00	6.5000.0000.0000.000	0.
26	320	4.30	13.00	1.4000.0000.0000.000	0.
33	34	0.00	6.30	0.0000.0000.0000.000	0.
33	38	0.25	1.20	1.3000.0000.0000.000	0.
33	40	0.60	2.90	2.0000.0000.0000.000	0.
33	41	0.70	4.30	2.6000.0000.0000.000	0.
34	42	0.10	0.80	4.2000.0000.0000.000	0.
35	72	1.20	6.00	0.8000.0000.0000.000	0.

35	76	0.60	1.40	0.2000.0000.0000.000	0.
35	77	1.00	2.90	0.3000.0000.0000.000	0.
36	88	0.40	2.70	4.3000.0000.0000.000	0.
37	38	0.80	4.70	0.8000.0000.0000.000	0.
37	40	2.20	6.40	0.7000.0000.0000.000	0.
37	41	1.00	3.60	2.0000.0000.0000.000	0.
37	49	1.70	8.10	4.8000.0000.0000.000	0.
37	89	10.20	25.40	3.3000.0000.0000.000	0.
37	90	4.70	12.70	1.6000.0000.0000.000	0.
38	41	0.80	3.70	2.0000.0000.0000.000	0.
38	43	3.20	8.70	4.0000.0000.0000.000	0.
39	42	0.06	0.6440.4000.0000.0000.000	0.	
40	48	2.60	15.40	2.2000.0000.0000.000	0.
41	42	0.00	2.90	0.0000.0000.0000.000	0.
41	49	6.50	19.10	2.0000.0000.0000.000	0.
41	51	3.10	8.90	3.6000.0000.0000.000	0.
42	46	0.20	1.4080.6000.0000.0000.000	0.	
43	44	2.60	7.20	3.5000.0000.0000.000	0.
43	48	9.50	26.20	3.2000.0000.0000.000	0.
43	53	1.30	3.90	1.6000.0000.0000.000	0.
44	47	2.70	8.40	3.9000.0000.0000.000	0.
44	54	2.80	8.40	3.7000.0000.0000.000	0.
45	60	0.70	4.1031.2000.0000.0000.000	0.	
45	74	0.90	5.4041.1000.0000.0000.000	0.	
46	81	0.50	4.2069.0000.0000.0000.000	0.	
47	73	5.20	14.50	7.3000.0000.0000.000	0.
47	113	4.30	11.80	1.3000.0000.0000.000	0.
48	107	2.50	6.20	0.7000.0000.0000.000	0.
49	51	3.10	9.40	4.3000.0000.0000.000	0.
51	52	3.70	10.90	4.9000.0000.0000.000	0.
52	55	2.70	8.00	3.6000.0000.0000.000	0.
53	54	2.50	7.30	3.5000.0000.0000.000	0.
54	55	3.50	10.30	4.7000.0000.0000.000	0.
55	57	6.50	16.90	8.2000.0000.0000.000	0.
57	58	4.60	8.00	3.6000.0000.0000.000	0.
57	63	15.90	53.70	7.1000.0000.0000.000	0.
58	59	0.90	2.60	0.5000.0000.0000.000	0.
59	61	0.20	1.30	1.5000.0000.0000.000	0.
60	62	0.90	6.5048.5000.0000.0000.000	0.	
62	64	1.60	10.5020.3000.0000.0000.000	0.	
62	144	0.10	0.70	1.3000.0000.0000.000	0.
63	526	2.65	17.20	2.6000.0000.0000.000	0.
69	211	5.10	23.20	2.8000.0000.0000.000	0.
69	79	5.10	15.70	2.3000.0000.0000.000	0.
70	71	3.20	10.00	6.2000.0000.0000.000	0.
70	528	2.00	12.34	2.8000.0000.0000.000	0.
71	72	3.60	13.10	6.8000.0000.0000.000	0.
71	73	3.40	9.90	4.7000.0000.0000.000	0.
72	77	1.80	8.70	1.1000.0000.0000.000	0.
72	531	2.56	19.30	0.0000.0000.0000.000	0.
73	76	2.10	5.70	3.0000.0000.0000.000	0.
73	79	1.80	5.20	1.8000.0000.0000.000	0.
74	88	0.40	2.70	5.0000.0000.0000.000	0.
74	562	2.86	20.1337.9000.0000.0000.000	0.	
76	77	1.60	4.30	0.4000.0000.0000.000	0.
77	78	0.10	0.60	0.7000.0000.0000.000	0.
77	80	1.40	7.00	3.8000.0000.0000.000	0.
77	552	8.91	26.76	2.9000.0000.0000.000	0.
77	609	7.82	21.27	2.2000.0000.0000.000	0.
78	79	0.60	2.20	1.1000.0000.0000.000	0.
78	84	0.00	3.60	0.0000.0000.0000.000	0.
79	211	9.90	37.50	5.1000.0000.0000.000	0.
80	211	2.20	10.70	5.8000.0000.0000.000	0.
81	194	0.35	3.3053.0000.0000.0000.000	0.	
81	195	0.35	3.3053.0000.0000.0000.000	0.	
85	86	0.80	6.4012.8000.0000.0000.000	0.	
86	87	1.20	9.3018.3000.0000.0000.000	0.	
86	323	0.60	4.80	9.2000.0000.0000.000	0.
89	91	4.70	11.90	1.4000.0000.0000.000	0.
90	92	3.20	17.40	2.4000.0000.0000.000	0.
91	94	10.00	25.30	3.1000.0000.0000.000	0.
91	97	2.20	7.70	3.9000.0000.0000.000	0.
92	103	1.90	14.40	1.7000.0000.0000.000	0.
92	105	1.70	9.20	1.2000.0000.0000.000	0.

94	97	27.80	42.70	4.3000.0000.0000.000	0.
97	100	2.20	5.30	0.7000.0000.0000.000	0.
97	102	3.80	9.20	1.2000.0000.0000.000	0.
97	103	4.80	12.20	1.5000.0000.0000.000	0.
98	100	2.40	6.40	0.7000.0000.0000.000	0.
98	102	3.40	12.10	1.5000.0000.0000.000	0.
99	107	5.30	13.50	1.7000.0000.0000.000	0.
99	108	0.20	0.40	0.2000.0000.0000.000	0.
99	109	4.50	35.40	4.4000.0000.0000.000	0.
99	110	5.00	17.40	2.2000.0000.0000.000	0.
100	102	1.60	3.80	0.4000.0000.0000.000	0.
102	104	4.30	6.40	2.7000.0000.0000.000	0.
103	105	1.90	6.20	0.8000.0000.0000.000	0.
104	108	7.60	13.00	4.4000.0000.0000.000	0.
104	322	4.40	12.40	1.5000.0000.0000.000	0.
105	107	1.20	8.80	1.1000.0000.0000.000	0.
105	110	15.70	40.00	4.7000.0000.0000.000	0.
108	324	7.40	20.80	2.6000.0000.0000.000	0.
109	110	7.00	18.40	2.1000.0000.0000.000	0.
109	113	10.00	27.40	3.1000.0000.0000.000	0.
109	114	10.90	39.30	3.6000.0000.0000.000	0.
110	112	14.20	40.40	5.0000.0000.0000.000	0.
112	114	1.70	4.20	0.6000.0000.0000.000	0.
115	122	0.36	1.99	0.4000.0000.0000.000	0.
116	120	0.20	10.49	0.1000.0000.0000.000	0.
117	118	0.01	0.18	1.7000.0000.0000.000	0.
118	119	0.00	2.71	0.0000.0000.0000.000	0.
118	1201	0.00	61.63	0.0000.0000.0000.000	0.
1201	120	0.00	-36.97	0.0000.0000.0000.000	0.
118	121	0.22	29.15	0.0000.0000.0000.000	0.
119	120	0.00	3.39	0.0000.0000.0000.000	0.
119	121	0.00	5.82	0.0000.0000.0000.000	0.
122	123	8.08	23.44	2.9000.0000.0000.000	0.
122	125	9.65	36.69	5.4000.0000.0000.000	0.
123	124	3.60	10.7611	7.0000.0000.0000.000	0.
123	125	4.76	14.1414	9.0000.0000.0000.000	0.
125	126	0.06	1.97	0.0000.0000.0000.000	0.
126	127	0.59	4.0525	0.0000.0000.0000.000	0.
126	129	1.15	11.0618	5.0000.0000.0000.000	0.
126	132	1.98	16.8832	1.0000.0000.0000.000	0.
126	157	0.50	5.0033	0.0000.0000.0000.000	0.
126	158	0.77	5.3833	5.0000.0000.0000.000	0.
126	169	1.65	11.5717	1.0000.0000.0000.000	0.
127	128	0.59	5.77	9.5000.0000.0000.000	0.
127	134	0.49	3.3620	8.0000.0000.0000.000	0.
127	168	0.59	5.77	9.5000.0000.0000.000	0.
128	130	0.78	7.7312	6.0000.0000.0000.000	0.
128	133	0.26	1.93	3.0000.0000.0000.000	0.
129	130	0.76	7.5212	2.0000.0000.0000.000	0.
129	133	0.21	1.86	3.0000.0000.0000.000	0.
130	132	0.16	1.64	2.6000.0000.0000.000	0.
130	151	0.17	1.65	2.6000.0000.0000.000	0.
130	167	0.79	7.9312	7.0000.0000.0000.000	0.
130	168	0.78	7.8412	5.0000.0000.0000.000	0.
133	137	0.17	1.1728	9.0000.0000.0000.000	0.
133	168	0.26	1.93	3.0000.0000.0000.000	0.
133	169	0.21	1.86	3.0000.0000.0000.000	0.
133	171	0.02	1.01	0.0000.0000.0000.000	0.
134	135	0.43	2.9318	0.0000.0000.0000.000	0.
134	184	0.39	3.8125	8.0000.0000.0000.000	0.
135	136	0.91	6.2338	5.0000.0000.0000.000	0.
136	137	1.25	8.9054	0.0000.0000.0000.000	0.
136	152	0.56	3.9095	3.0000.0000.0000.000	0.
137	140	0.15	1.1428	4.0000.0000.0000.000	0.
137	181	0.05	0.34	2.1000.0000.0000.000	0.
137	186	0.07	1.5112	6.0000.0000.0000.000	0.
137	188	0.05	0.34	2.1000.0000.0000.000	0.
139	172	5.62	22.48	8.1000.0000.0000.000	0.
140	141	1.20	8.3612	3.0000.0000.0000.000	0.
140	142	1.52	11.3268	4.0000.0000.0000.000	0.
140	145	4.68	33.6951	9.0000.0000.0000.000	0.
140	146	4.30	30.3146	3.0000.0000.0000.000	0.
140	147	4.89	34.9253	8.0000.0000.0000.000	0.
140	182	0.13	0.8911	9.0000.0000.0000.000	0.

141	146	2.91	22.6734.2000.0000.0000.000	0.
142	143	0.60	5.7076.7000.0000.0000.000	0.
143	145	0.75	7.7311.9000.0000.0000.000	0.
143	149	1.27	9.0913.5000.0000.0000.000	0.
145	146	0.85	5.88 8.7000.0000.0000.000	0.
145	149	2.18	15.1122.3000.0000.0000.000	0.
146	147	0.73	5.04 7.4000.0000.0000.000	0.
148	178	5.23	15.26 7.4000.0000.0000.000	0.
148	179	13.71	39.19 7.6000.0000.0000.000	0.
152	153	1.37	9.5714.1000.0000.0000.000	0.
153	161	0.55	2.8819.0000.0000.0000.000	0.
154	156	17.46	31.61 4.0000.0000.0000.000	0.
154	183	8.04	30.54 4.5000.0000.0000.000	0.
155	161	1.10	5.6838.8000.0000.0000.000	0.
157	159	0.08	0.98 6.9000.0000.0000.000	0.
158	159	0.29	2.8519.0000.0000.0000.000	0.
158	160	0.66	4.4827.7000.0000.0000.000	0.
162	164	0.24	3.2623.6000.0000.0000.000	0.
162	165	0.18	2.45166.200.0000.0000.000	0.
163	164	0.44	5.14359.700.0000.0000.000	0.
165	166	0.02	1.23 0.0000.0000.0000.000	0.
167	169	0.18	1.78 2.9000.0000.0000.000	0.
172	173	6.69	48.43 6.3000.0000.0000.000	0.
172	174	5.58	22.10 3.1000.0000.0000.000	0.
173	174	8.07	33.31 4.9000.0000.0000.000	0.
173	175	7.39	30.71 4.3000.0000.0000.000	0.
173	176	17.99	50.17 6.9000.0000.0000.000	0.
175	176	9.04	36.26 4.8000.0000.0000.000	0.
175	179	7.70	30.92 5.4000.0000.0000.000	0.
176	177	2.51	8.29 4.7000.0000.0000.000	0.
177	178	2.22	8.47 5.0000.0000.0000.000	0.
178	179	4.98	18.55 2.9000.0000.0000.000	0.
178	180	0.61	2.90 8.4000.0000.0000.000	0.
181	138	0.04	2.02 0.0000.0000.0000.000	0.
181	187	0.04	0.8311.5000.0000.0000.000	0.
184	185	0.25	2.4516.4000.0000.0000.000	0.
186	188	0.07	0.8611.5000.0000.0000.000	0.
187	188	0.07	0.8611.5000.0000.0000.000	0.
188	138	0.04	2.02 0.0000.0000.0000.000	0.
189	208	3.30	9.50 0.0000.0000.0000.000	0.
189	209	4.60	6.90 0.0000.0000.0000.000	0.
190	231	0.04	0.22620.000.0000.0000.000	0.
190	240	0.00	2.75 0.0000.0000.0000.000	0.
191	192	0.30	4.80 0.0000.0000.0000.000	0.
192	225	0.20	0.90 0.0000.0000.0000.000	0.
193	205	4.50	6.30 0.0000.0000.0000.000	0.
193	208	4.80	12.70 0.0000.0000.0000.000	0.
194	219	0.31	2.8650.0000.0000.0000.000	0.
194	664	0.24	3.5536.0000.0000.0000.000	0.
195	219	0.31	2.8650.0000.0000.0000.000	0.
196	197	1.40	4.00 0.4000.0000.0000.000	0.
196	210	3.00	8.10 1.0000.0000.0000.000	0.
197	198	1.00	6.00 0.9000.0000.0000.000	0.
197	211	1.50	4.00 0.6000.0000.0000.000	0.
198	202	33.20	68.80 0.0000.0000.0000.000	0.
198	203	0.90	4.60 2.5000.0000.0000.000	0.
198	210	2.00	7.30 0.8000.0000.0000.000	0.
198	211	3.40	10.90 3.2000.0000.0000.000	0.
199	200	7.60	13.50 0.9000.0000.0000.000	0.
199	210	4.00	10.20 0.5000.0000.0000.000	0.
200	210	8.10	12.80 1.4000.0000.0000.000	0.
201	204	12.40	18.30 0.0000.0000.0000.000	0.
203	211	1.00	5.90 0.8000.0000.0000.000	0.
204	205	4.60	6.80 0.0000.0000.0000.000	0.
205	206	30.20	44.60 0.0000.0000.0000.000	0.
206	207	7.30	9.30 0.0000.0000.0000.000	0.
206	208	24.00	42.10 0.0000.0000.0000.000	0.
212	215	1.39	7.78 8.6000.0000.0000.000	0.
213	214	0.25	3.80 0.0000.0000.0000.000	0.
214	215	0.17	1.85 2.0000.0000.0000.000	0.
214	242	0.15	1.08 0.2000.0000.0000.000	0.
215	216	0.45	2.49 2.6000.0000.0000.000	0.
216	217	0.40	4.97 1.8000.0000.0000.000	0.
217	218	0.00	4.56 0.0000.0000.0000.000	0.

217	219	0.05	1.77	2.0000.0000.0000.000	0.
217	220	0.27	3.9583	2.000.0000.0000.000	0.
219	237	0.03	0.18520	0.000.0000.0000.000	0.
220	218	0.37	4.8443	0.0000.0000.0000.000	0.
220	221	0.10	2.9550	3.000.0000.0000.000	0.
220	238	0.16	0.4640	2.000.0000.0000.000	0.
221	223	0.03	0.13100	0.000.0000.0000.000	0.
222	237	0.14	5.1433	0.0000.0000.0000.000	0.
224	225	1.00	6.4048	0.0000.0000.0000.000	0.
224	226	0.19	0.8186	0.0000.0000.0000.000	0.
225	191	0.10	6.10	0.0000.0000.0000.000	0.
226	231	0.05	2.12	0.0000.0000.0000.000	0.
227	231	0.09	4.7218	6.0000.0000.0000.000	0.
228	229	0.19	0.87128	0.000.0000.0000.000	0.
228	231	0.26	9.17	0.0000.0000.0000.000	0.
228	234	0.13	2.8881	0.0000.0000.0000.000	0.
229	190	0.00	6.26	0.0000.0000.0000.000	0.
231	232	0.02	0.69136	4.00.0000.0000.000	0.
231	237	0.01	0.06357	0.0.0000.0000.000	0.
232	233	0.17	4.85	0.0000.0000.0000.000	0.
234	235	0.02	2.5914	4.000.0000.0000.000	0.
234	237	0.06	2.72	0.0000.0000.0000.000	0.
235	238	0.02	0.0680	0.0000.0000.0000.000	0.
241	237	0.05	1.54	0.0000.0000.0000.000	0.
240	281	0.03	0.43	0.9000.0000.0000.000	0.
242	245	0.82	8.51	0.0000.0000.0000.000	0.
242	247	1.12	7.23	0.0000.0000.0000.000	0.
243	244	1.27	3.55	0.0000.0000.0000.000	0.
243	245	3.26	18.04	0.0000.0000.0000.000	0.
244	246	1.95	5.51	0.0000.0000.0000.000	0.
245	246	1.57	7.32	0.0000.0000.0000.000	0.
245	247	3.60	21.19	0.0000.0000.0000.000	0.
246	247	2.68	12.85	0.0000.0000.0000.000	0.
247	248	4.28	12.15	0.0000.0000.0000.000	0.
248	249	3.51	10.04	0.0000.0000.0000.000	0.
249	250	6.16	18.57	0.0000.0000.0000.000	0.
3	1	0.00	5.20	0.0000.0000.0000.000	0.
3	2	0.00	5.20	0.0000.0000.0000.000	0.
3	4	0.00	0.50	0.0000.0000.0000.000	0.
7	5	0.00	3.90	0.0000.0000.0000.000	0.
7	6	0.00	3.90	0.0000.0000.0000.000	0.
10	11	0.00	8.90	0.0000.0000.0000.000	0.
12	10	0.00	5.30	0.0000.0000.0000.000	0.
15	17	1.94	3.11	0.0000.0000.0000.000	0.
16	15	0.10	3.80	0.0000.0000.0000.000	0.
21	20	0.00	1.40	0.0000.0000.0000.000	0.
24	23	0.00	6.40	0.0000.0000.0000.000	0.
36	35	0.00	4.70	0.0000.0000.0000.000	0.
45	44	0.00	2.00	0.0000.0000.0000.000	0.
45	46	0.00	2.10	0.0000.0000.0000.000	0.
62	61	0.00	5.90	0.0000.0000.0000.000	0.
63	64	0.00	3.80	0.0000.0000.0000.000	0.
73	74	0.00	2.44	0.0000.0000.0000.000	0.
81	88	0.00	2.00	0.0000.0000.0000.000	0.
85	99	0.00	4.80	0.0000.0000.0000.000	0.
86	102	0.00	4.80	0.0000.0000.0000.000	0.
87	94	0.00	4.60	0.0000.0000.0000.000	0.
114	207	0.00	14.90	0.0000.0000.0000.000	0.
116	124	0.52	1.74	0.0000.0000.0000.000	0.
121	115	0.00	2.80	0.0000.0000.0000.000	0.
122	157	0.05	1.95	0.0000.0000.0000.000	0.
130	131	0.00	1.80	0.0000.0000.0000.000	0.
130	150	0.00	1.40	0.0000.0000.0000.000	0.
132	170	0.10	4.02	0.0000.0000.0000.000	0.
141	174	0.24	6.03	0.0000.0000.0000.000	0.
142	175	0.24	4.98-8	7.000.0000.0000.000	0.
143	144	0.00	8.33	0.0000.0000.0000.000	0.
143	148	0.13	3.71	0.0000.0000.0000.000	0.
145	180	0.05	1.82	0.0000.0000.0000.000	0.
151	170	0.10	3.92	0.0000.0000.0000.000	0.
153	183	0.27	6.39	0.0000.0000.0000.000	0.
155	156	0.08	2.56	0.0000.0000.0000.000	0.
159	117	0.00	1.60	0.0000.0000.0000.000	0.
160	124	0.12	3.96	0.0000.0000.0000.000	0.

163	137	0.13	3.84-5.7000.0000.0000.000	0.
164	155	0.09	2.31-3.3000.0000.0000.000	0.
182	139	0.03	1.31 0.0000.0000.0000.000	0.
189	210	0.00	25.20 0.0000.0000.0000.000	0.
193	196	0.00	23.70 0.0000.0000.0000.000	0.
195	212	0.08	3.66 0.0000.0000.0000.000	0.
200	248	0.00	22.00 0.0000.0000.0000.000	0.
201	69	0.00	9.80 0.0000.0000.0000.000	0.
202	211	0.00	12.80 0.0000.0000.0000.000	0.
204	2040	2.00	20.40-1.2000.0000.0000.000	0.
209	198	2.60	21.10 0.0000.0000.0000.000	0.
211	212	0.30	1.22 0.0000.0000.0000.000	0.
218	219	0.10	3.54-1.0000.0000.0000.000	0.
223	224	0.12	1.95-36.400.0000.0000.000	0.
229	230	0.10	3.32 0.0000.0000.0000.000	0.
234	236	0.05	1.60 0.0000.0000.0000.000	0.
238	239	0.05	1.60 0.0000.0000.0000.000	0.
196	2040	0.01	2.00 0.0000.0000.0000.000	0.
119	1190	0.10	2.30 0.0000.0000.0000.000	0.
120	1200	0.00	2.30 0.0000.0000.0000.000	0.
7002	2	0.10	1.46 0.0000.0000.0000.000	0.
7003	3	0.00	1.05 0.0000.0000.0000.000	0.
7061	61	0.00	2.38 0.0000.0000.0000.000	0.
7062	62	0.00	3.21 0.0000.0000.0000.000	0.
7166	166	0.00	1.54 0.0000.0000.0000.000	0.
7024	24	0.00	2.89 0.0000.0000.0000.000	0.
7001	1	0.00	1.95 0.0000.0000.0000.000	0.
7130	130	0.00	1.93 0.0000.0000.0000.000	0.
7011	11	0.00	1.92 0.0000.0000.0000.000	0.
7023	23	0.00	2.30 0.0000.0000.0000.000	0.
7049	49	0.00	1.24 0.0000.0000.0000.000	0.
7139	139	0.00	1.67 0.0000.0000.0000.000	0.
7012	12	0.00	3.12 0.0000.0000.0000.000	0.
7017	17	0.00	1.65 0.0000.0000.0000.000	0.
7039	39	0.00	3.16 0.0000.0000.0000.000	0.
7057	57	0.00	5.35 0.0000.0000.0000.000	0.
7044	44	0.00	18.18 0.0000.0000.0000.000	0.
7055	55	0.00	19.61 0.0000.0000.0000.000	0.
7071	71	0.00	6.90 0.0000.0000.0000.000	0.
9999				
	0.90	1.1		
9999				

RESULTADOS OBTIDOS

Neste apêndice estão apresentados os resultados obtidos pelo programa de FPO para o ponto inicial, e os resultados obtidos pelo programa SFPO após as perturbações nos sistemas.

SISTEMA IEEE 118 BARRAS

TABELA B.1 – Solução ótima do sistema IEEE 118 barras obtida pelo FPO para ($\epsilon=0,0$) e utilizada na SFPO

Barra k	V_k (p.u.)	θ_k (graus)
69	1,0167	30,0000
1	0,9589	10,7027
2	0,9715	11,2973
3	0,9688	11,6346
4	0,9998	15,3660
5	0,9983	15,8873
6	0,9910	13,0810
7	0,9891	12,6477
8	1,0043	21,0802
9	1,0380	28,4219
10	1,0517	35,9975
11	0,9834	12,8242
12	0,9878	12,3099
13	0,9672	11,4141
14	0,9822	11,5538
15	0,9710	11,1546
16	0,9799	12,0028

continua

continuação

17	0,9872	13,8236
18	0,9705	11,5038
19	0,9656	10,9519
20	0,9596	11,8260
21	0,9597	13,4079
22	0,9702	15,9563
23	0,9992	20,8736
24	0,9953	20,6872
25	1,0413	27,9472
26	1,0188	29,7900
27	0,9688	15,2234
28	0,9612	13,5271
29	0,9615	12,5654
30	1,0050	18,9857
31	0,9648	12,6964
32	0,9663	14,6516
33	0,9704	10,5608
34	0,9862	11,1758
35	0,9828	10,7219
36	0,9833	10,7078
37	0,9884	11,7047
38	1,0013	17,0502
39	0,9716	8,1801
40	0,9739	7,0285
41	0,9696	6,5823
42	0,9844	8,1667
43	0,9786	11,0444
44	0,9847	13,4055
45	0,9862	15,1920
46	1,0065	17,9404
47	1,0127	20,2628
48	1,0180	19,4355
49	1,0213	20,4594
50	0,9983	18,3448
51	0,9658	15,6256
52	0,9564	14,6410
53	0,9476	13,5961
54	0,9581	14,4535
55	0,9503	14,2384
56	0,9544	14,3890
57	0,9696	15,6833
58	0,9586	14,8035
59	0,9539	19,1358
60	0,9759	22,9555
61	0,9786	23,8746
62	0,9822	23,1987
63	0,9738	22,6732
64	0,9859	24,4007
65	1,0069	27,4999
66	1,0278	27,3709
67	1,0003	24,6413
68	0,9978	27,4008
70	0,9836	22,2253
71	0,9861	21,8214
72	0,9812	20,7024

continua

conclusão

73	0,9892	21,6205
74	0,9615	21,2103
75	0,9678	22,5218
76	0,9508	21,3066
77	1,0098	26,3157
78	1,0063	26,0351
79	1,0101	26,3652
80	1,0354	28,7090
81	1,0169	27,8140
82	0,9903	26,8977
83	0,9867	28,0804
84	0,9827	30,5966
85	0,9883	32,1390
86	0,9876	30,8159
87	1,0119	31,1085
88	0,9901	35,2666
89	1,0071	39,3133
90	0,9838	32,9727
91	0,9817	32,9535
92	0,9954	33,4441
93	0,9881	30,4762
94	0,9900	28,3499
95	0,9803	27,3774
96	0,9920	27,2106
97	1,0088	27,6060
98	1,0194	27,1428
99	1,0128	26,7064
100	1,0139	27,7785
101	0,9920	29,3135
102	0,9929	31,9678
103	0,9951	24,2040
104	0,9703	21,3634
105	0,9663	20,2244
106	0,9606	20,0009
107	0,9473	17,2562
108	0,9675	19,0327
109	0,9683	18,5834
110	0,9742	17,7444
111	0,9804	19,4003
112	0,9683	14,8121
113	0,9848	13,8219
114	0,9624	14,3313
115	0,9621	14,3251
116	0,9860	27,0085
117	0,9716	10,7620
118	0,9533	21,4960
Perdas	131.5627 MW	

TABELA B.2 – Solução do sistema IEEE 118 barras estimada pela SFPO
após a perturbação

Barra k	V_k (p.u.)	θ_k (graus)
69	1,0184	30,0000
1	0,9594	10,7611
2	0,9721	11,3545
3	0,9694	11,6914
4	1,0004	15,4177
5	0,9990	15,9383
6	0,9916	13,1357
7	0,9897	12,7029
8	1,0050	21,1245
9	1,0388	28,4539
10	1,0527	36,0151
11	0,9841	12,8791
12	0,9884	12,3655
13	0,9678	11,4707
14	0,9828	11,6103
15	0,9716	11,2116
16	0,9805	12,0590
17	0,9878	13,8783
18	0,9711	11,5607
19	0,9661	11,0092
20	0,9603	11,8841
21	0,9604	13,4653
22	0,9710	16,0115
23	1,0001	20,9233
24	0,9961	20,7395
25	1,0423	27,9835
26	1,0190	29,8266
27	0,9696	15,2809
28	0,9620	13,5866
29	0,9622	12,6255
30	1,0054	19,0337
31	0,9655	12,7560
32	0,9671	14,7097
33	0,9708	10,6169
34	0,9863	11,2302
35	0,9830	10,7761
36	0,9835	10,7621
37	0,9885	11,7587
38	1,0014	17,1021
39	0,9717	8,2340
40	0,9740	7,0820
41	0,9697	6,6353
42	0,9844	8,2181
43	0,9787	11,0970
44	0,9848	13,4553
45	0,9862	15,2409
46	1,0065	17,9883
47	1,0129	20,3078
48	1,0179	19,4847
49	1,0212	20,5092
50	0,9981	18,3931
51	0,9655	15,6719

continua

continuação

52	0,9562	14,6865
53	0,9474	13,6403
54	0,9579	14,4976
55	0,9501	14,2822
56	0,9542	14,4329
57	0,9694	15,7290
58	0,9583	14,8486
59	0,9532	19,1885
60	0,9750	23,0129
61	0,9778	23,9336
62	0,9815	23,2559
63	0,9730	22,7302
64	0,9852	24,4597
65	1,0063	27,5610
66	1,0272	27,4308
67	0,9996	24,6992
68	0,9974	27,4600
70	0,9849	22,2748
71	0,9873	21,8720
72	0,9823	20,7554
73	0,9904	21,6718
74	0,9623	21,2829
75	0,9685	22,5951
76	0,9504	21,4220
77	1,0104	26,4419
78	1,0068	26,1636
79	1,0106	26,4972
80	1,0356	28,8502
81	1,0167	27,9024
82	0,9911	27,1024
83	0,9875	28,3065
84	0,9838	30,8546
85	0,9896	32,4113
86	0,9889	31,0911
87	1,0131	31,3826
88	0,9913	35,5660
89	1,0084	39,6265
90	0,9851	33,3081
91	0,9830	33,2942
92	0,9966	33,7957
93	0,9891	30,7877
94	0,9909	28,6249
95	0,9811	27,6293
96	0,9927	27,4314
97	1,0092	27,7874
98	1,0199	27,3373
99	1,0135	26,9501
100	1,0147	28,0606
101	0,9940	29,6905
102	0,9960	32,4215
103	0,9962	24,4906
104	0,9714	21,6572
105	0,9675	20,5200
106	0,9617	20,2975
107	0,9484	17,5599

continua

conclusão

108	0,9690	19,3266
109	0,9699	18,8768
110	0,9761	18,0358
111	0,9825	19,6822
112	0,9706	15,1082
113	0,9854	13,8770
114	0,9632	14,3901
115	0,9629	14,3840
116	0,9854	27,0682
117	0,9722	10,8196
118	0,9536	21,5895
Perdas	131,5481 MW	

SISTEMA IEEE 162 BARRAS

TABELA B.3 – Solução ótima do sistema IEEE 162 barras obtida pelo FPO para ($\epsilon=0,0$) e utilizada na SFPO

Barra k	V_k (p.u.)	θ_k (graus)
118	1,0422	-28,0000
1	1,0548	-25,2227
2	1,0436	-29,6876
3	1,0269	-32,1602
4	1,0420	-33,3003
5	1,0521	-24,3798
6	1,0739	-19,8734
7	1,0394	-30,0269
8	1,0315	-33,4505
9	1,0435	-27,4721
10	1,0018	-35,3344
11	1,0084	-31,5518
12	1,0361	-33,2226
13	1,0325	-30,3952
14	1,0286	-30,7115
15	1,0343	-24,4800
16	1,0043	-28,9636
17	0,9940	-28,0818
18	1,0043	-32,9792
19	1,0011	-37,4291
20	0,9800	-32,4565
21	0,9965	-29,6452
22	1,0096	-36,8241
23	0,9865	-34,3788
24	1,0072	-32,8445
25	1,0202	-29,0427
26	1,0414	-21,2493
27	1,0225	-30,1089
28	0,9866	-35,6414
29	0,9863	-37,4387

continua

continuação

30	0,9771	-39,2989
31	0,9992	-36,6227
32	0,9829	-40,6047
33	0,9799	-42,5831
34	0,9855	-42,5277
35	0,9697	-44,0188
36	0,9806	-42,7421
37	1,0350	-30,3365
38	1,0047	-37,4693
39	1,0379	-32,9040
40	0,9802	-41,5317
41	0,9911	-39,6834
42	1,0445	-32,7367
43	1,0398	-35,2550
44	1,0359	-35,7804
45	0,9932	-35,7708
46	1,0104	-38,5171
47	1,0037	-41,1702
48	1,0158	-40,0518
49	1,0015	-41,4840
50	1,0181	-38,9596
51	1,0107	-37,7701
52	1,0252	-38,7258
53	0,9975	-30,4322
54	0,9859	-37,4535
55	0,9973	-30,1371
56	0,9854	-40,0616
57	0,9957	-37,1281
58	1,0239	-28,5141
59	0,9979	-32,7100
60	0,9909	-33,6125
61	1,0035	-31,1628
62	1,0424	-18,6728
63	1,0083	-29,5574
64	1,0291	-28,7066
65	1,0154	-25,2871
66	1,0105	-30,8518
67	0,9905	-41,2979
68	1,0069	-39,7274
69	1,0148	-38,3925
70	1,0170	-23,2459
71	0,9897	-31,5008
72	1,0264	-30,4675
73	1,0037	-18,2970
74	1,0338	-33,1049
75	1,0440	-25,1936
76	1,0509	-16,7152
77	1,0036	-39,9703
78	1,0191	-37,7071
79	1,0287	-35,6253
80	1,0072	-37,8981
81	0,9805	-46,1047
82	0,9800	-41,5165
83	0,9856	-40,6100
84	1,0026	-37,3263

continua

continuação

v85	0,9763	-40,6987
86	0,9801	-44,4779
87	0,9920	-43,0233
88	1,0001	-44,1587
89	0,9781	-45,5982
90	0,9505	-48,1496
91	1,0291	-36,1932
92	1,0245	-37,0956
93	1,0339	-32,4204
94	1,0445	-36,4320
95	1,0292	-36,2688
96	0,9995	-44,6374
97	1,0291	-36,8407
98	1,0292	-34,9887
99	1,0543	-31,5251
100	0,9805	-45,3954
101	1,0256	-39,9067
102	1,0291	-36,6160
103	1,0477	-34,3681
104	0,9818	-44,1953
105	1,0017	-37,9325
106	1,0079	-42,3653
107	1,0097	-43,1799
109	1,0523	-32,7999
110	1,0339	-29,1934
111	1,0154	-33,4996
112	1,0425	-26,7494
113	1,0333	-30,6266
114	1,0101	-23,6650
115	1,0344	-35,5366
116	1,0307	-36,6831
117	1,0264	-37,3699
118	1,0514	-33,9384
119	1,0377	-34,7654
120	1,0400	-27,0971
121	1,0644	-20,6551
122	1,0121	-44,9908
123	1,0287	-45,2732
124	1,0444	-30,9259
125	1,0614	-29,4005
126	1,0416	-26,5481
127	1,0189	-29,2703
128	1,0384	-26,9970
129	1,0398	-27,2241
130	1,0654	-19,5353
131	1,0591	-20,6223
132	1,0296	-30,0511
133	1,0252	-31,7882
134	1,0318	-30,5282
135	1,0236	-31,8569
136	1,0193	-32,1517
137	1,0217	-32,1071
138	1,0305	-30,9884
139	1,0230	-31,7310
140	1,0221	-32,0439

continua

conclusão

141	1,0134	-33,5071
142	0,9917	-39,9920
143	0,9818	-38,9417
144	1,0058	-35,6917
145	1,0103	-34,0323
146	0,9850	-39,4332
147	1,0205	-38,3587
148	1,0200	-39,3655
149	1,0176	-23,4310
150	1,0155	-24,0882
151	1,0052	-26,4119
152	1,0223	-26,4977
153	1,0096	-25,4774
154	0,9714	-31,8210
155	0,9806	-29,9941
156	0,9754	-31,5145
157	0,9802	-32,3113
158	0,9665	-33,2329
159	0,9663	-33,0529
160	0,9681	-32,4791
161	1,0012	-27,8265
162	0,9990	-28,7118
Perdas	158,3030 MW	

TABELA B.4 – Solução do sistema IEEE 162 barras estimada pela SFPO após a perturbação

Barra k	V_k (p.u.)	θ_k (graus)
118	1,0433	-28,0000
1	1,0546	-26,8364
2	1,0426	-31,3370
3	1,0263	-33,7190
4	1,0413	-34,8429
5	1,0519	-26,0150
6	1,0743	-21,4879
7	1,0384	-31,6910
8	1,0304	-35,1528
9	1,0429	-29,1243
10	0,9990	-36,9495
11	1,0058	-33,1041
12	1,0349	-34,9162
13	1,0304	-32,0004
14	1,0281	-32,4054
15	1,0312	-25,8967
16	1,0010	-30,0871
17	0,9906	-29,1157
18	1,0010	-34,1378
19	0,9986	-38,4807
20	0,9783	-34,0612
21	0,9935	-30,6050
22	1,0071	-37,8080
23	0,9836	-35,8929
24	1,0049	-34,3290

continua

continuação

25	1,0183	-30,4886
26	1,0415	-22,8216
27	1,0198	-31,4369
28	0,9837	-37,1099
29	0,9831	-38,8614
30	0,9732	-40,6225
31	0,9961	-38,0407
32	0,9790	-41,9221
33	0,9763	-43,9353
34	0,9824	-43,8741
35	0,9660	-45,2878
36	0,9772	-44,1556
37	1,0325	-31,4253
38	1,0022	-38,4464
39	1,0362	-33,8427
40	0,9769	-42,6249
41	0,9883	-40,6235
42	1,0436	-33,5882
43	1,0386	-36,3304
44	1,0347	-36,8205
45	0,9907	-37,3009
46	1,0075	-40,1372
47	1,0015	-42,7939
48	1,0144	-41,6712
49	0,9992	-43,1079
50	1,0170	-40,5691
51	1,0096	-39,4113
52	1,0246	-40,2872
53	0,9958	-31,9983
54	0,9834	-39,0111
55	0,9957	-31,7057
56	0,9827	-41,5947
57	0,9937	-38,7042
58	1,0206	-29,9967
59	0,9946	-34,2671
60	0,9871	-35,1592
61	0,9997	-32,6742
62	1,0393	-19,9675
63	1,0046	-31,0395
64	1,0259	-30,1699
65	1,0119	-26,6460
66	1,0077	-32,3836
67	0,9876	-42,7885
68	1,0047	-41,2358
69	1,0130	-39,8972
70	1,0172	-24,8342
71	0,9888	-33,1034
72	1,0259	-32,1595
73	1,0054	-19,8947
74	1,0329	-34,6235
75	1,0437	-26,8367
76	1,0515	-18,2907
77	1,0013	-41,4333
78	1,0175	-39,2378
79	1,0275	-37,1462

continua

continuação

80	1,0053	-39,4556
81	0,9766	-47,2130
82	0,9768	-42,5752
83	0,9826	-41,6097
84	1,0004	-38,0635
85	0,9742	-42,3172
86	0,9775	-46,0823
87	0,9896	-44,6458
88	0,9982	-45,6495
89	0,9751	-47,1958
90	0,9469	-49,7067
91	1,0280	-36,9880
92	1,0234	-38,0069
93	1,0336	-32,8682
94	1,0434	-37,4965
95	1,0281	-37,0328
96	0,9966	-45,9394
97	1,0275	-37,8265
98	1,0286	-35,5676
99	1,0532	-32,2794
100	0,9772	-46,7427
101	1,0232	-41,1837
102	1,0280	-37,6013
103	1,0466	-35,4641
104	0,9786	-45,5558
105	0,9988	-38,8163
106	1,0064	-43,8448
107	1,0080	-44,5829
109	1,0514	-33,8581
110	1,0335	-30,8654
111	1,0147	-35,1609
112	1,0423	-28,4036
113	1,0329	-32,3185
114	1,0096	-25,3321
115	1,0337	-37,0923
116	1,0299	-38,2133
117	1,0256	-38,9281
118	1,0527	-35,5030
119	1,0369	-36,2642
120	1,0396	-28,7557
121	1,0650	-22,3118
122	1,0105	-46,4158
123	1,0273	-46,6997
124	1,0434	-31,9899
125	1,0611	-30,6180
126	1,0390	-27,7492
127	1,0160	-30,3435
128	1,0381	-28,6555
129	1,0394	-28,8842
130	1,0655	-21,1772
131	1,0589	-22,2560
132	1,0291	-31,7389
133	1,0246	-33,4899
134	1,0313	-32,2178
135	1,0230	-33,5587

continua

conclusão

136	1,0186	-33,8561
137	1,0211	-33,8114
138	1,0300	-32,6782
139	1,0224	-33,4298
140	1,0215	-33,7471
141	1,0126	-35,1751
142	0,9905	-41,6832
143	0,9805	-40,6525
144	1,0049	-37,3823
145	1,0095	-35,7295
146	0,9838	-41,1479
147	1,0196	-39,9208
148	1,0190	-40,9271
149	1,0177	-25,0186
150	1,0155	-25,6769
151	1,0047	-27,9959
152	1,0221	-28,1281
153	1,0094	-27,0787
154	0,9700	-33,4545
155	0,9795	-31,6164
156	0,9740	-33,1425
157	0,9786	-33,9185
158	0,9648	-34,8654
159	0,9647	-34,6908
160	0,9666	-34,1169
161	1,0002	-29,4082
162	0,9978	-30,2894
Perdas	161,0412 MW	

SISTEMA IEEE 300 BARRAS

TABELA B.5 – Solução ótima do sistema IEEE 300 barras obtida pelo FPO para ($\epsilon=0,0$) e utilizada na SFPO

Barra k	V_k (p.u.)	θ_k (graus)
7049	1,0804	0,0000
1	1,0107	7,0130
2	1,0115	8,9690
3	1,0084	7,7257
4	1,0163	5,7207
5	0,9994	5,7193
6	1,0067	8,1761
7	1,0089	7,2849
8	0,9873	3,4814
9	0,9895	3,7894
10	1,0104	2,3530
11	0,9974	3,3516
12	1,0083	6,3284
13	0,9860	0,3545

continua

continuação

14	0,9817	-4,1482
15	1,0292	-8,0991
16	1,0329	-1,8645
17	1,0340	-13,8262
19	0,9990	2,1848
20	0,9860	-1,5367
21	0,9953	2,7296
22	0,9835	-1,0805
23	1,0458	4,7944
24	1,0154	7,0364
25	1,0180	2,2922
26	0,9914	-0,8820
27	0,9643	-4,0733
33	1,0361	-11,2573
34	1,0477	-7,1572
35	1,0015	-24,8741
36	1,0113	-21,7111
37	1,0363	-10,5952
38	1,0320	-11,7959
39	1,0599	-5,0441
40	1,0346	-12,0306
41	1,0411	-9,7049
42	1,0506	-6,6554
43	1,0050	-15,8687
44	1,0087	-16,4877
45	1,0184	-13,7873
46	1,0372	-10,8432
47	0,9819	-22,1845
48	1,0152	-15,3711
49	1,0733	-2,7846
51	1,0384	-7,5109
52	0,9965	-10,8732
53	0,9978	-16,6490
54	1,0023	-15,2320
55	1,0027	-10,9986
57	1,0123	-6,4907
58	0,9743	-4,6088
59	0,9626	-3,9261
60	1,0127	-8,4463
61	0,9754	-2,0627
62	0,9915	0,4340
63	0,9524	-16,5733
64	0,9485	-11,9719
69	0,9632	-25,4734
70	0,9418	-33,7950
71	0,9708	-28,4330
72	0,9866	-26,4604
73	0,9890	-24,7546
74	1,0037	-21,0464
76	0,9957	-25,8292
77	1,0035	-24,0671
78	1,0079	-23,2125
79	0,9958	-24,1170
80	0,9961	-23,8863
81	1,0389	-17,8333

continua

continuação

84	1,0382	-16,5346
85	0,9868	-16,5792
86	0,9915	-13,0367
87	1,0015	-6,6754
88	1,0224	-19,9807
89	1,0488	-10,5822
90	1,0507	-10,8715
91	1,0795	-8,9494
92	1,0982	-6,4318
94	1,0173	-8,3889
97	1,0277	-12,3761
98	0,9737	-13,0205
99	0,9884	-19,2178
100	1,0007	-13,2614
102	0,9972	-14,0820
103	1,0562	-11,7168
104	0,9929	-16,2090
105	1,0505	-12,5716
107	1,0246	-15,3960
108	0,9883	-19,1858
109	0,9781	-25,2122
110	0,9786	-23,8590
112	0,9754	-28,2390
113	0,9740	-24,4176
114	0,9773	-28,1699
115	1,0068	-12,2690
116	1,0310	-11,2813
117	0,9962	-3,8783
118	0,9898	-3,3384
119	1,0766	5,2603
120	0,9930	-7,6963
121	1,0026	-11,5028
122	1,0082	-12,8414
123	1,0209	-15,9548
124	1,0349	-11,9571
125	1,0309	-16,6767
126	1,0194	-11,3435
127	1,0191	-9,0927
128	1,0244	-3,5742
129	1,0255	-3,2210
130	1,0167	6,6604
131	1,0108	7,0956
132	1,0032	4,1636
133	1,0308	-4,2599
134	1,0342	-6,6715
135	1,0294	-5,4238
136	1,0526	2,7190
137	1,0556	-0,2021
138	1,0590	-5,0372
139	1,0299	-2,1542
140	1,0403	-2,0682
141	1,0595	1,4552
142	1,0272	-1,3500
143	1,0657	5,3287
144	0,9979	0,7977

continua

continuação

145	1,0124	1,1966
146	1,0519	5,7114
147	1,0540	9,7336
148	1,0378	1,5591
149	1,0751	6,6229
150	1,0105	7,3523
151	1,0018	5,2163
152	1,0530	10,3505
153	1,0283	11,5043
154	1,0059	-0,2085
155	0,9863	7,8011
156	0,9763	6,3090
157	1,0104	-10,4607
158	1,0236	-9,9323
159	1,0087	-8,3978
160	1,0314	-11,0504
161	1,0153	9,8893
162	0,9982	19,5434
163	1,0653	4,1883
164	0,9978	10,8508
165	1,0004	27,3260
166	0,9944	31,2510
167	0,9911	-5,6203
168	1,0244	-3,5962
169	1,0119	-5,4092
170	0,9736	1,5041
171	1,0419	-8,3969
172	1,0266	-4,7711
173	0,9827	-11,3359
174	1,0496	-1,2631
175	0,9810	-5,7768
176	1,0508	6,0494
177	1,0085	1,9271
178	0,9388	-5,2701
179	0,9671	-8,1022
180	0,9817	-1,7598
181	1,0590	-0,0648
182	1,0305	-2,7515
183	1,0252	8,3854
184	1,0456	-5,4706
185	1,0559	-2,9634
186	1,0748	3,3594
187	1,0699	2,6307
188	1,0610	0,5229
189	0,9615	-24,8597
190	1,0611	-19,4279
191	1,0949	10,4592
192	0,9867	-10,6855
193	0,9581	-26,3555
194	1,0517	-18,0595
195	1,0402	-19,5632
196	0,9650	-23,1149
197	0,9825	-21,9191
198	1,0004	-18,8205
199	0,9442	-24,3509

continua

continuação

200	0,9477	-24,3195
201	0,9417	-28,3219
202	0,9734	-23,9102
203	0,9916	-20,7604
204	0,9246	-28,4806
205	0,9448	-27,4301
206	0,9670	-27,4359
207	0,9840	-27,2557
208	0,9590	-25,8830
209	0,9626	-24,4267
210	0,9694	-22,4426
211	0,9941	-21,8982
212	1,0048	-21,1359
213	0,9819	-9,9680
214	0,9846	-16,1203
215	0,9808	-18,8693
216	0,9721	-21,2267
217	1,0244	-20,9407
218	1,0219	-21,3736
219	1,0564	-19,9082
220	1,0099	-20,4308
221	0,9832	-21,1533
222	1,0480	-21,9232
223	0,9807	-21,3839
224	1,0002	-20,2634
225	0,9912	-10,8159
226	1,0185	-20,3399
227	0,9947	-25,9974
228	1,0337	-19,7120
229	1,0428	-18,7266
230	1,0538	-12,7655
231	1,0556	-19,9888
232	1,0424	-21,9554
233	0,9928	-24,6591
234	1,0214	-19,6380
235	1,0144	-19,7938
236	1,0353	-14,4564
237	1,0572	-19,8603
238	1,0154	-19,7168
239	1,0172	-14,8341
240	1,0294	-18,9520
241	1,0460	-15,2488
242	0,9909	-16,1547
243	1,0328	-18,2616
244	1,0108	-19,0888
245	0,9790	-19,5857
246	0,9772	-20,4511
247	0,9718	-20,2892
248	0,9759	-23,7103
249	0,9751	-24,1348
250	1,0195	-22,2764
281	1,0308	-18,8802
319	1,0250	2,5701
320	1,0082	-1,3690
322	0,9979	-16,4732

continua

continuação

323	0,9818	-12,5367
324	0,9725	-22,3859
526	0,9367	-33,4488
528	0,9624	-36,2493
531	0,9786	-28,0336
552	1,0194	-22,5433
562	0,9869	-26,9025
609	0,9775	-27,7990
664	1,0338	-15,8532
1190	1,0692	4,1298
1200	0,9848	-6,3486
1201	1,0084	-14,1164
2040	0,9616	-23,5911
7001	1,0496	11,9376
7002	1,0336	13,8831
7003	0,9936	15,0103
7011	1,0093	5,9096
7012	1,0300	12,7450
7017	1,0987	-11,0790
7023	1,0654	6,9831
7024	1,0084	13,6812
7039	1,0976	2,7616
7044	1,0191	-12,7359
7055	1,0120	-6,0093
7057	1,0474	-1,7147
7061	1,0158	3,4513
7062	0,9687	8,1165
7071	0,9989	-23,6986
7130	1,0797	19,7902
7139	1,0473	4,0675
7166	1,0078	36,1258
9001	1,0363	-10,6167
9002	0,9904	-17,8067
9003	0,9753	-19,6827
9004	0,9684	-19,8841
9005	1,0367	-10,6922
9006	0,9947	-17,2400
9007	0,9842	-18,5950
9012	1,0004	-16,3473
9021	0,9843	-17,9973
9022	0,9435	-21,1989
9023	0,9843	-17,9973
9024	0,9847	-19,6989
9025	0,9843	-17,9973
9026	0,9843	-17,9973
9031	0,9026	-25,2949
9032	0,9660	-22,6545
9033	0,9001	-25,4710
9034	0,9855	-21,4146
9035	0,9236	-23,7374
9036	0,9515	-22,6873
9037	0,9384	-22,6624
9038	0,9246	-25,0653
9041	0,9642	-21,3913
9042	0,9556	-23,2627

continua

conclusão

9043	0,9465	-21,9112
9044	0,9707	-19,8231
9051	1,0782	-17,7556
9052	0,9326	-17,1560
9053	1,0584	-16,1359
9054	1,0893	-6,8333
9055	1,0366	-7,2780
9071	0,9792	-20,3592
9072	0,9808	-19,8161
9121	0,9800	-18,5255
9533	1,0584	-16,5195
Perdas	408,3139 MW	

TABELA B.6 – Solução do sistema IEEE 300 barras estimada pela SFPO
após a perturbação

Barra k	V_k (p.u.)	θ_k (graus)
7049	1,0869	0,0000
1	1,0075	7,0462
2	1,0087	9,0128
3	1,0062	7,7592
4	1,0143	5,7437
5	0,9963	5,7437
6	1,0039	8,2145
7	1,0066	7,3171
8	0,9847	3,4965
9	0,9864	3,8041
10	1,0081	2,3625
11	0,9944	3,3657
12	1,0058	6,3572
13	0,9829	0,3507
14	0,9795	-4,1664
15	1,0277	-8,1292
16	1,0315	-1,8789
17	1,0321	-13,8631
19	0,9965	2,1945
20	0,9829	-1,5519
21	0,9926	2,7420
22	0,9802	-1,0913
23	1,0420	4,8285
24	1,0127	7,0768
25	1,0142	2,3082
26	0,9875	-0,8898
27	0,9606	-4,1050
33	1,0367	-11,2893
34	1,0474	-7,1952
35	0,9997	-24,9681
36	1,0094	-21,7929
37	1,0377	-10,6260
38	1,0327	-11,8295
39	1,0597	-5,0817
40	1,0354	-12,0617
41	1,0419	-9,7344

continua

continuação

42	1,0502	-6,6928
43	1,0048	-15,9359
44	1,0081	-16,5668
45	1,0171	-13,8573
46	1,0362	-10,8922
47	0,9809	-22,2705
48	1,0153	-15,4193
49	1,0784	-2,8171
51	1,0398	-7,5714
52	0,9946	-11,0578
53	0,9974	-16,7300
54	1,0014	-15,3362
55	1,0006	-11,1587
57	1,0089	-6,5902
58	0,9712	-4,6721
59	0,9595	-3,9767
60	1,0095	-8,5002
61	0,9723	-2,0971
62	0,9856	0,4421
63	0,9405	-16,8366
64	0,9379	-12,1305
69	0,9609	-25,5680
70	0,9400	-33,9243
71	0,9691	-28,5439
72	0,9848	-26,5606
73	0,9873	-24,8490
74	1,0019	-21,1286
76	0,9939	-25,9275
77	1,0016	-24,1575
78	1,0060	-23,2997
79	0,9939	-24,2076
80	0,9940	-23,9751
81	1,0369	-17,8983
84	1,0364	-16,5976
85	0,9861	-16,6348
86	0,9906	-13,0840
87	0,9998	-6,7026
88	1,0205	-20,0556
89	1,0482	-10,6149
90	1,0510	-10,9016
91	1,0786	-8,9797
92	1,0979	-6,4694
94	1,0158	-8,4180
97	1,0270	-12,4186
98	0,9733	-13,0727
99	0,9879	-19,2768
100	1,0001	-13,3085
102	0,9965	-14,1294
103	1,0558	-11,7606
104	0,9922	-16,2615
105	1,0501	-12,6172
107	1,0244	-15,4447
108	0,9878	-19,2455
109	0,9772	-25,2893
110	0,9779	-23,9284

continua

continuação

112	0,9742	-28,3278
113	0,9730	-24,5035
114	0,9761	-28,2596
115	1,0043	-12,3162
116	1,0283	-11,3224
117	0,9935	-3,8838
118	0,9872	-3,3413
19	1,0748	5,2922
120	0,9906	-7,7184
121	1,0002	-11,5447
122	1,0056	-12,8918
123	1,0181	-16,0200
124	1,0321	-12,0007
125	1,0282	-16,7468
126	1,0168	-11,3864
127	1,0167	-9,1250
128	1,0222	-3,5827
129	1,0234	-3,2281
130	1,0145	6,6920
131	1,0085	7,1273
132	1,0010	4,1847
133	1,0289	-4,2708
134	1,0319	-6,6925
135	1,0272	-5,4402
136	1,0508	2,7313
137	1,0540	-0,1976
138	1,0573	-5,0477
139	1,0291	-2,1559
140	1,0392	-2,0689
141	1,0590	1,4589
142	1,0275	-1,3440
143	1,0663	5,3341
144	0,9926	0,8041
145	1,0130	1,2023
146	1,0523	5,7123
147	1,0543	9,7326
148	1,0386	1,5686
149	1,0758	6,6244
150	1,0084	7,3852
151	0,9996	5,2413
152	1,0516	10,3822
153	1,0280	11,5292
154	1,0060	-0,1843
155	0,9867	7,8164
156	0,9767	6,3252
157	1,0078	-10,4993
158	1,0209	-9,9675
159	1,0061	-8,4261
160	1,0287	-11,0900
161	1,0152	9,9105
162	0,9996	19,5353
163	1,0645	4,2029
164	0,9983	10,8629
165	1,0024	27,2893
166	0,9966	31,1978

continua

continuação

167	0,9889	-5,6386
168	1,0223	-3,6048
169	1,0097	-5,4255
170	0,9716	1,5135
171	1,0400	-8,4231
172	1,0262	-4,7723
173	0,9832	-11,3287
174	1,0493	-1,2601
175	0,9816	-5,7676
176	1,0525	6,0130
177	1,0103	1,9062
178	0,9400	-5,2558
179	0,9681	-8,0839
180	0,9825	-1,7497
181	1,0573	-0,0595
182	1,0295	-2,7544
183	1,0250	8,4097
184	1,0431	-5,4853
185	1,0534	-2,9660
186	1,0731	3,3761
187	1,0682	2,6450
188	1,0593	0,5301
189	0,9590	-24,9482
190	1,0585	-19,4951
191	1,0946	10,4284
192	0,9858	-10,7438
193	0,9556	-26,4507
194	1,0494	-18,1225
195	1,0379	-19,6324
196	0,9624	-23,1976
197	0,9799	-21,9962
198	0,9978	-18,8817
199	0,9413	-24,4393
200	0,9448	-24,4046
201	0,9393	-28,4311
202	0,9708	-23,9987
203	0,9891	-20,8319
204	0,9221	-28,5880
205	0,9424	-27,5311
206	0,9652	-27,5341
207	0,9824	-27,3541
208	0,9565	-25,9755
209	0,9600	-24,5135
210	0,9667	-22,5215
211	0,9916	-21,9764
212	1,0023	-21,2106
213	0,9792	-9,9787
214	0,9817	-16,1654
215	0,9779	-18,9308
216	0,9692	-21,3026
217	1,0217	-21,0161
218	1,0191	-21,4516
219	1,0537	-19,9782
220	1,0071	-20,5043
221	0,9815	-21,2329

continua

continuação

222	1,0456	-22,0031
223	0,9790	-21,4641
224	0,9983	-20,3388
225	0,9902	-10,8736
226	1,0164	-20,4127
227	0,9930	-26,0940
228	1,0305	-19,7807
229	1,0395	-18,7886
230	1,0502	-12,7883
231	1,0530	-20,0593
232	1,0399	-22,0357
233	0,9910	-24,7524
234	1,0184	-19,7063
235	1,0115	-19,8625
236	1,0323	-14,4941
237	1,0546	-19,9301
238	1,0125	-19,7851
239	1,0143	-14,8744
240	1,0269	-19,0169
241	1,0436	-15,2971
242	0,9880	-16,1994
243	1,0289	-18,3044
244	1,0070	-19,1407
245	0,9756	-19,6482
246	0,9736	-20,5178
247	0,9685	-20,3571
248	0,9726	-23,7967
249	0,9718	-24,2242
250	1,0163	-22,3535
281	1,0283	-18,9447
319	1,0223	2,5866
320	1,0044	-1,3804
322	0,9973	-16,5260
323	0,9809	-12,5831
324	0,9720	-22,4485
526	0,9234	-34,1750
528	0,9607	-36,3875
531	0,9768	-28,1398
552	1,0175	-22,6278
562	0,9850	-27,0053
609	0,9756	-27,9038
664	1,0313	-15,9059
1190	1,0674	4,1580
1200	0,9824	-6,3642
1201	1,0065	-14,1621
2040	0,9590	-23,6759
7001	1,0458	12,0043
7002	1,0304	13,9570
7003	0,9921	15,0710
7011	1,0061	5,9394
7012	1,0275	12,8054
7017	1,0967	-11,1058
7023	1,0611	7,0338
7024	1,0063	13,7538
7039	1,0984	2,7193

continua

conclusão

7044	1,0266	-12,8405
7055	1,0102	-6,1503
7057	1,0446	-1,7858
7061	1,0141	3,4432
7062	0,9595	8,2442
7071	0,9976	-23,7953
7130	1,0777	19,8757
7139	1,0469	4,0733
7166	1,0103	36,0498
9001	1,0376	-10,6476
9002	0,9925	-17,8155
9003	0,9770	-19,6860
9004	0,9701	-19,8867
9005	1,0382	-10,7238
9006	0,9963	-17,2511
9007	0,9858	-18,6018
9012	1,0024	-16,3605
9021	0,9864	-18,0052
9022	0,9457	-21,1924
9023	0,9864	-18,0052
9024	0,9868	-19,6996
9025	0,9864	-18,0052
9026	0,9864	-18,0052
9031	0,9044	-25,2767
9032	0,9678	-22,6473
9033	0,9020	-25,4521
9034	0,9873	-21,4123
9035	0,9255	-23,7256
9036	0,9533	-22,6798
9037	0,9402	-22,6548
9038	0,9264	-25,0485
9041	0,9660	-21,3885
9042	0,9573	-23,2532
9043	0,9482	-21,9065
9044	0,9724	-19,8259
9051	1,0795	-17,7682
9052	0,9342	-17,1668
9053	1,0598	-16,1524
9054	1,0930	-6,8836
9055	1,0416	-7,3307
9071	0,9809	-20,3599
9072	0,9825	-19,8187
9121	0,9820	-18,5300
9533	1,0598	-16,5350
Perdas	410,0645 MW	