

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Região do plano complexo para alocação de pólos em malha fechada.....	17
Figura 4.1 – Estrutura do Sistema de Potência com o ESP.....	32
Figura 4.2 – Sistema de Controle Hierarquizado (Centralizado / Descentralizado).....	54
Figura 4.3 – Sistema com atrasos (iguais) nas transmissões das saídas – Descrição no espaço de estados.....	56
Figura 5.1 – Diagrama Unifilar do Sistema New England de 39 barras.....	70
Figura 5.2 – Autovalores do sistema New England de 39 barras em malha aberta para as 8 condições de operação.....	71
Figura 5.3 – Autovalores do sistema New England de 39 barras em malha fechada para todos os pontos de operação.....	72
Figura 5.4 – Autovalores do sistema New England de 39 barras em malha aberta (vermelho) e malha fechada (azul) para os 8 pontos de operação (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	73
Figura 5.5 – Diagramas de Bode de Ganho e Fase dos 9 controladores robustos obtidos para o sistema New England de 39 máquinas.....	74
Figura 5.6 – Autovalores do sistema New England de 39 barras em malha aberta (vermelho) e malha fechada (azul) para os 3 novos pontos de operação (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	75
Figura 5.7 – Autovalores do sistema New England de 39 barras em malha fechada para os 8 pontos de operação (método homotópico).....	78
Figura 5.8 – Autovalores do sistema New England de 39 barras em malha aberta (vermelho) e malha fechada (azul) para os 8 pontos de operação (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	79
Figura 5.9 – Diagramas de Bode de Ganho e Fase dos 9 controladores robustos obtidos para o sistema New England de 39 barras (método homotópico de controle robusto).....	80
Figura 5.10 – Evolução temporal da diferença de fase entre os geradores 31 e 39.....	83
Figura 5.11 – Evolução temporal da diferença de fase entre os geradores 30-36 e 39 para o sistema New England em malha fechada com ESP's robustos (primeiro gráfico). Evolução temporal da frequência dos geradores 30, 31, 34, 35 e 39 (segundo gráfico). Evolução temporal da potência acelerante dos geradores 30-36 (terceiro gráfico).....	84

Figura 5.12 - Evolução temporal do sinal de tensão estabilizante dos geradores 30-35 e 37, todos equipados com ESP's robustos, para a condição operativa no. 8, com um curto trifásico na barra 6 em 0.1 s seguido de abertura da linha 6-5 após 0.1 s.....	85
Figura 5.13 – Evolução temporal da diferença de fase entre os geradores 30-36 e 39 para o sistema New England em malha aberta (primeiro gráfico). Evolução temporal da frequência dos geradores 30, 31, 34, 35 e 39 (segundo gráfico). Evolução temporal da potência acelerante dos geradores 30-36 (terceiro gráfico).....	86
Figura 5.14 – Evolução temporal da diferença de fase entre os geradores 30-36 e 39 para o sistema New England em malha fechada com ESP's robustos (primeiro gráfico). Evolução temporal da frequência dos geradores 30, 31, 34, 35 e 39 (segundo gráfico). Evolução temporal da potência acelerante dos geradores 30-36 (terceiro gráfico).....	88
Figura 5.15 - Evolução temporal do sinal de tensão estabilizante dos geradores 30-35 e 37, todos equipados com ESP's robustos, para a condição operativa no. 8, com abertura do gerador 31 em 0.1 s.....	89
Figura 5.16 – Evolução temporal da diferença de fase entre os geradores 30-36 e 39 para o sistema New England em malha aberta (primeiro gráfico). Evolução temporal da frequência dos geradores 30, 31, 34, 35 e 39 (segundo gráfico). Evolução temporal da potência acelerante dos geradores 30-36 (terceiro gráfico).....	90
Figura 5.17 – Evolução temporal da diferença de fase entre os geradores 30-36 e 39 para o sistema New England em malha fechada com ESP's robustos (primeiro gráfico). Evolução temporal da frequência dos geradores 30, 31, 34, 35 e 39 (segundo gráfico). Evolução temporal da potência acelerante dos geradores 30-36 (terceiro gráfico).....	92
Figura 5.18 - Evolução temporal do sinal de tensão estabilizante dos geradores 30-35 e 37, todos equipados com ESP's robustos, para a condição operativa no. 10, com um curto trifásico na barra 6 em 0.1 s seguido de abertura da linha 6-5 após 0.1 s.....	93
Figura 5.19 – Evolução temporal da diferença de fase entre os geradores 30-36 e 39 para o sistema New England em malha fechada com ESP's robustos (primeiro gráfico). Evolução temporal da frequência dos geradores 30, 31, 34, 35 e 39 (segundo gráfico). Evolução temporal da potência acelerante dos geradores 30-36 (terceiro gráfico).....	94
Figura 5.20 - Evolução temporal do sinal de tensão estabilizante dos geradores 30-35 e 37, todos equipados com ESP's robustos, para a condição operativa no. 10, com abertura do gerador 31 em 0.1 s.....	95
Figura 5.21 – Evolução temporal da diferença de fase entre os geradores 30-36 e 39 para o sistema New England em malha fechada com ESP's robustos (primeiro gráfico). Evolução temporal da frequência dos geradores 30, 31, 34, 35 e 39 (segundo gráfico). Evolução temporal da potência acelerante dos geradores 30-36 (terceiro gráfico).....	96
Figura 5.22 - Evolução temporal do sinal de tensão estabilizante dos geradores 30-35 e 37, todos equipados com ESP's robustos (método homotópico), para a condição operativa no. 8, com um curto trifásico na barra 6 em 0.1 s seguido de abertura da linha 6-5 após 0.1 s.....	97

Figura 5.23 – Evolução temporal da diferença de fase entre os geradores 30-36 e 39 para o sistema New England em malha fechada com ESP's robustos (primeiro gráfico). Evolução temporal da frequência dos geradores 30, 31, 34, 35 e 39 (segundo gráfico). Evolução temporal da potência acelerante dos geradores 30-36 (terceiro gráfico).....	98
Figura 5.24 - Evolução temporal do sinal de tensão estabilizante dos geradores 30-35 e 37, todos equipados com ESP's robustos (método homotópico), para a condição operativa no. 8, com abertura do gerador 31 em 0.1 s.....	99
Figura 5.25 – Evolução temporal da diferença de fase entre os geradores 30-36 e 39 para o sistema New England em malha fechada com ESP's robustos (primeiro gráfico). Evolução temporal da frequência dos geradores 30, 31, 34, 35 e 39 (segundo gráfico). Evolução temporal da potência acelerante dos geradores 30-36 (terceiro gráfico).....	100
Figura 5.26 - Evolução temporal do sinal de tensão estabilizante dos geradores 30-35 e 37, todos equipados com ESP's robustos (método homotópico), para a condição operativa no. 10, com um curto trifásico na barra 6 em 0.1 s seguido de abertura da linha 6-5 após 0.1 s.....	101
Figura 5.27 – Evolução temporal da diferença de fase entre os geradores 30-36 e 39 para o sistema New England em malha fechada com ESP's robustos (primeiro gráfico). Evolução temporal da frequência dos geradores 30, 31, 34, 35 e 39 (segundo gráfico). Evolução temporal da potência acelerante dos geradores 30-36 (terceiro gráfico).....	102
Figura 5.28 - Evolução temporal do sinal de tensão estabilizante dos geradores 30-35 e 37, todos equipados com ESP's robustos (método homotópico), para a condição operativa no. 10, com abertura do gerador 31 em 0.1 s.....	103
Figura 5.29 – Autovalores do sistema New England de 39 barras (II) em malha aberta para os 3 pontos de operação.....	105
Figura 5.30 – Autovalores do sistema New England de 39 barras (II) em malha fechada para os 3 pontos de operação.....	107
Figura 5.31 – Autovalores do sistema New England de 39 barras (II) em malha aberta (vermelho) e malha fechada (azul) para os 3 pontos de operação (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	108
Figura 5.32 – Diagramas de Bode de Ganho e Fase dos 9 controladores robustos obtidos para o sistema New England de 39 barras (II).....	109
Figura 5.33 – Autovalores do sistema New England de 39 barras (II) em malha aberta (vermelho) e malha fechada (azul) para os 3 pontos de operação após a substituição do ESP 37 (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	110
Figura 5.34 – Diagramas de Bode de Ganho e Fase dos 9 controladores robustos obtidos para o sistema New England de 39 barras (II) após a substituição do ESP 37.....	111
Figura 5.35 – Autovalores do sistema New England de 69 barras em malha aberta para as 3 condições de operação.....	113

Figura 5.36 – Autovalores do sistema New England de 69 barras em malha fechada para os 3 pontos de operação.....	114
Figura 5.37 – Autovalores do sistema New England de 69 barras em malha aberta (vermelho) e malha fechada (azul) para os 3 pontos de operação (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	115
Figura 5.38 – Diagramas de Bode de Ganho e Fase dos 16 controladores robustos obtidos para o sistema New England de 69 barras.....	117
Figura 5.39 – Autovalores do sistema New England de 69 barras em malha aberta (vermelho) e malha fechada (azul) para os 3 pontos de operação após a substituição dos ESP's 1 e 10 (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	118
Figura 5.40 – Diagramas de Bode de Ganho e Fase dos 16 controladores robustos obtidos para o sistema New England de 69 barras após a substituição dos ESP's 1 e 10.....	119
Figura 5.41 – Autovalores do sistema New England de 69 barras em malha fechada para os 3 pontos de operação (método homotópico).....	121
Figura 5.42 – Autovalores do sistema New England de 69 barras em malha aberta (vermelho) e malha fechada (azul) para os 3 pontos de operação (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	122
Figura 5.43 – Diagramas de Bode de Ganho e Fase dos 16 controladores robustos obtidos para o sistema New England de 69 barras (método homotópico).....	124
Figura 5.44 – Autovalores do sistema New England de 69 barras (II) em malha aberta para as 3 condições de operação.....	126
Figura 5.45 – Autovalores do sistema New England de 69 barras (II) em malha fechada para os 3 pontos de operação.....	127
Figura 5.46 – Autovalores do sistema New England de 69 barras (II) em malha aberta (vermelho) e malha fechada (azul) para os 3 pontos de operação (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	128
Figura 5.47 – Diagramas de Bode de Ganho e Fase dos 16 controladores robustos obtidos para o sistema New England de 69 barras (II).....	130
Figura 5.48 – Autovalores do sistema New England de 69 barras (II) em malha aberta (vermelho) e malha fechada (azul) para os 3 pontos de operação após a substituição dos ESP's 1 e 10 (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	131
Figura 5.49 – Diagramas de Bode de Ganho e Fase dos 16 controladores robustos obtidos para o sistema New England de 69 barras (II) após a substituição dos ESP's 1 e 10 .....	132
Figura 5.50 – Autovalores do sistema New England de 69 barras (II) em malha fechada para os 3 pontos de operação (método homotópico).....	134

Figura 5.51 – Autovalores do sistema New England de 69 barras (II) em malha aberta (vermelho) e malha fechada (azul) para os 3 pontos de operação (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	135
Figura 5.52 – Diagramas de Bode de Ganho e Fase dos 16 controladores robustos obtidos para o sistema New England de 69 barras (II) – método homotópico.....	137
Figura 5.53 – Autovalores do sistema New England de 39 barras com termogeradores em malha aberta.....	139
Figura 5.54 – Autovalores do sistema New England de 39 barras com termogeradores em malha fechada.....	140
Figura 5.55 – Autovalores do sistema New England de 39 barras com termogeradores em malha aberta (vermelho) e malha fechada (azul) (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	141
Figura 5.56 – Diagramas de Bode de Ganho e Fase dos 9 controladores obtidos para o sistema New England de 39 barras com termogeradores.....	142
Figura 5.57 – Autovalores do sistema New England de 39 barras com termogeradores em malha aberta (vermelho) e malha fechada (azul) após a substituição dos ESP's 30 e 38 (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	143
Figura 5.58 – Diagramas de Bode de Ganho e Fase dos 9 controladores obtidos para o sistema New England de 39 barras com termogeradores após a substituição dos ESP's 30 e 38 .....	144
Figura 5.59 – Autovalores do sistema New England de 39 barras (II) somente com controladores descentralizados (vermelho) e com controladores centralizados (azul) para os 3 pontos de operação – atrasos de 10 ms e aproximação de Padé de ordem 1.....	146
Figura 5.60 – Autovalores do sistema New England de 39 barras (II) somente com controladores descentralizados (vermelho) e com controladores centralizados (azul) para os 3 pontos de operação (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	147
Figura 5.61 – Zeros de transmissão para o controlador centralizado – sistema com atrasos de 10 ms e aproximação de Padé de ordem 1.....	148
Figura 5.62 – Autovalores do controlador centralizado – sistema com atrasos de 10 ms e aproximação de Padé de ordem 1.....	149
Figura 5.63 – Autovalores do controlador centralizado (detalhe nas proximidades do eixo imaginário) – sistema com atrasos de 10 ms e aproximação de Padé de ordem 1.....	150
Figura 5.64 – Autovalores do sistema New England de 39 barras (II) somente com controladores descentralizados (vermelho) e com controladores centralizados (azul) para os 3 pontos de operação – atrasos de 50 ms e aproximação de Padé de ordem 1.....	151

Figura 5.65 – Autovalores do sistema New England de 39 barras (II) somente com controladores descentralizados (vermelho) e com controladores centralizados (azul) para os 3 pontos de operação (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	152
Figura 5.66 – Zeros de transmissão para o controlador centralizado – sistema com atrasos de 50 ms e aproximação de Padé de ordem 1.....	153
Figura 5.67 – Autovalores do controlador centralizado – sistema com atrasos de 50 ms e aproximação de Padé de ordem 1.....	154
Figura 5.68 – Autovalores do controlador centralizado (detalhe nas proximidades do eixo imaginário) – sistema com atrasos de 50 ms e aproximação de Padé de ordem 1.....	155
Figura 5.69 – Autovalores do sistema New England de 39 barras (II) somente com controladores descentralizados (vermelho) e com controladores centralizados (azul) para os 3 pontos de operação – atrasos de 10 ms e aproximação de Padé de ordem 2.....	157
Figura 5.70 – Autovalores do sistema New England de 39 barras (II) somente com controladores descentralizados (vermelho) e com controladores centralizados (azul) para os 3 pontos de operação (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	158
Figura 5.71 – Zeros de transmissão para o controlador centralizado – sistema com atrasos de 10 ms e aproximação de Padé de ordem 2.....	159
Figura 5.72 – Autovalores do controlador centralizado – sistema com atrasos de 10 ms e aproximação de Padé de ordem 2.....	160
Figura 5.73 – Autovalores do controlador centralizado (detalhe nas proximidades do eixo imaginário) – sistema com atrasos de 10 ms e aproximação de Padé de ordem 2.....	161
Figura 5.74 – Autovalores do sistema New England de 39 barras (II) somente com controladores descentralizados (vermelho) e com controladores centralizados (azul) para os 3 pontos de operação – atrasos de 50 ms e aproximação de Padé de ordem 2.....	162
Figura 5.75 – Autovalores do sistema New England de 39 barras (II) somente com controladores descentralizados (vermelho) e com controladores centralizados (azul) para os 3 pontos de operação (detalhe nas proximidades do eixo imaginário).....	163
Figura 5.76 – Zeros de transmissão para o controlador centralizado – sistema com atrasos de 50 ms e aproximação de Padé de ordem 2.....	164
Figura 5.77 – Autovalores do controlador centralizado – sistema com atrasos de 50 ms e aproximação de Padé de ordem 2.....	165
Figura 5.78 – Autovalores do controlador centralizado (detalhe nas proximidades do eixo imaginário) – sistema com atrasos de 50 ms e aproximação de Padé de ordem 2.....	166