



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

FORMAÇÃO DE ILHAS ELÉTRICAS PARA RESTAURAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

**Arturo Suman Bretas*
UFRGS**

**Newton Geraldo Bretas
USP-EESC**

RESUMO

Restauração de Sistemas Elétricos de Potência (RSEP) tem sido área de estudo há muitos anos. Em anos recentes algumas novas técnicas foram propostas para resolver as limitações dos procedimentos e guias pré-estabelecidos utilizados pela maioria das companhias para restaurar o sistema quando da ocorrência de um distúrbio de grandes proporções. Uma característica comum a estas novas técnicas propostas é o uso de Ilhamento Intencional para a restauração do sistema em paralelo. Este artigo apresenta e discute as principais áreas envolvidas em Ilhamento Intencional de Sistemas Elétricos de Potência e expõe um exemplo em um Sistema de Transmissão de 162 barras.

PALAVRAS CHAVE

Restauração, Ilhamento Intencional, Blecautes.

1 INTRODUÇÃO

Blecautes em Sistemas Elétricos de Potência são eventos raros. No entanto, quando estes ocorrem, os efeitos no comércio, indústria e no dia a dia da população em geral pode ser bastante severa. Após a ocorrência de um blecaute, um dado de importância crítica é a velocidade com que o sistema elétrico é restaurado [1].

De forma a reduzir os custos econômicos e sociais de um blecaute, a maioria das companhias de energia elétrica têm guias e procedimentos de restauração pré-estabelecidos para restaurar o SEP. Estes guias e procedimentos contêm uma série seqüencial de passos que o(s) operador(s) devem tomar de forma a restaurar

o sistema quando da ocorrência de um blecaute. No entanto, as condições altamente estressantes encontradas após a ocorrência de um blecaute, unidas ao fato dos guias serem baseados em condições específicas de restauração, diminuem em muito a taxa de sucesso da técnica (definido como a fração das tentativas de restauração que não produzem tensões e fluxos inaceitáveis, ou em operações desnecessárias dos relés de proteção) [2]. A principal característica desta técnica, que pode ocasionar tentativas frustradas de restauração [3], são as condições assumidas no desenvolvimento dos planos que podem ser significativamente diferentes das condições existentes. Em anos recentes uma série de novas propostas [4]-[5] para a Restauração de Sistemas Elétricos de Potência (RSEP) foram apresentadas como alternativas aos procedimentos padrões hoje utilizados. Enquanto estas técnicas podem variar em certa extensão, existem apenas três princípios organizacionais para RSEP:

(a) Restauração Automática: Neste princípio organizacional o computador (programas computacionais) é responsável pelo desenvolvimento e implementação do plano de restauração do sistema elétrico quando da ocorrência de um blecaute. As técnicas baseadas neste princípio organizacional adquirem dados através do *Supervisory Control and Data Acquisition System* (SCADA) e do *Energy Management System* (EMS). Quando da ocorrência de um blecaute, um programa de restauração, instalado no EMS, usará os dados provenientes do SCADA para desenvolver um plano de restauração. Depois de desenvolvido o plano de restauração, o mesmo programa ou outro instalado no EMS será responsável pela transmissão de sinais de controle, via SCADA, para os disjuntores do sistema de forma a implementar

* Avenida Caçapava, No. 507, Ap. 404, Petrópolis, CEP 90460-160, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
Tel: (51) 3316-3326 Fax: (51) 3316-3293 E-mail: abretas@eletro.ufrgs.br

o plano. Neste princípio organizacional o(s) operador(s) do sistema possui apenas o papel de supervisor.

(b) **Restauração Auxiliada por Técnicas Computacionais:** Neste princípio organizacional o desenvolvimento do plano de restauração e sua implementação são responsabilidades do(s) operador(s). As técnicas que se utilizam deste princípio organizacional também adquirem dados do sistema elétrico via SCADA/EMS. Diante de um blecaute, o operador se utilizará dos dados adquiridos do sistema elétrico para desenvolver um plano de restauração. De forma a auxiliar o operador, certos programas (fluxo de carga, localização de falta, etc..) estarão à sua disposição. Após o desenvolvimento do plano de restauração, o operador se utilizará das instalações SCADA/EMS para transmitir sinais de controle para disjuntores do sistema e assim realizar a implementação do plano de restauração.

(c) **Restauração Cooperacional:** Neste princípio organizacional um programa de computador, instalado no EMS, será responsável pelo desenvolvimento de um plano de restauração quando da ocorrência de um blecaute. O(s) operador(s) será responsável pela implementação do plano de restauração. As técnicas de restauração que aplicam este princípio organizacional adquirem dados do sistema elétrico novamente via SCADA/EMS. Diante de um blecaute um programa computacional irá desenvolver um plano de restauração utilizando-se de dados adquiridos via SCADA/EMS. Com o plano de restauração desenvolvido, o operador poderá transmitir sinais de controle a disjuntores do sistema via SCADA/EMS e implementar o plano.

Publicações recentes indicam um alto interesse por parte das companhias de energia elétrica bem como da comunidade científica por técnicas de restauração baseadas no princípio cooperacional. Dentro destas publicações as técnicas comumente propostas compreendem sistemas especialistas baseados em regras de produção, e técnicas de busca heurísticas conhecidas como técnicas baseadas em programação matemática. Uma característica comum de ambas as técnicas, e requerimento básico para a RSEP, é a formação automática de ilhas quando da ocorrência de um distúrbio de grandes proporções.

Durante um distúrbio no SEP, vários grupos de geradores podem perder sincronismo entre si. Em tal situação é desejável ter-se ilhas elétricas pré-selecionadas e auto-suficientes que serão geradas durante o distúrbio com o objetivo de impedir a perda de estabilidade do sistema e de facilitar a restauração posterior completa do mesmo. Operações de chaveamento coordenadas chamadas de 'ilhamento intencional' são utilizadas para gerar estas ilhas elétricas pré-estabelecidas [6] - [7]. De forma a assegurar uma separação satisfatória, no processo de ilhamento intencional alguns relés podem ter sua operação bloqueada, onde uma separação do sistema não é desejada, e outros podem ter sua operação iniciada, onde uma separação do sistema é desejada. No caso de um distúrbio de grandes proporções no SEP existem duas estratégias gerais que podem ser implementadas para se obter a separação desejada, a estratégia 'todos abertos' (*all open*) e a 'operação controlada' (*controlled operation*). As técnicas de

ilhamento intencional, baseadas na estratégia 'todos abertos', dividem o sistema através da abertura de todos os disjuntores do sistema. Esta estratégia pode ser implementada através do uso de sinais de supervisão transmitidos a todos os disjuntores pelo operador do sistema através do SCADA/EMS. Já as técnicas baseadas na estratégia de ilhamento intencional 'operação controlada' geram as ilhas através da abertura de disjuntores selecionados. Existem vantagens e desvantagens relacionadas a ambas as estratégias. A estratégia 'todos abertos' possui a vantagem do ponto de vista de restauração, pois gera um estado bem definido para o operador que precisa apenas se concentrar em que disjuntores devem ser fechados e não com a abertura de disjuntores fechados. A desvantagem óbvia desta estratégia é a necessidade da abertura de todos os disjuntores do sistema, tarefa que não é necessária para uma série de distúrbios do sistema. As técnicas de ilhamento intencional baseadas na estratégia 'abertura controlada' necessitam de uma pré-seleção de ilhas elétricas de forma a se poder gerar uma coordenação entre tempos de abertura de relés. A coordenação de tempo de aberturas dos relés de proteção permitiria a criação das ilhas elétricas. Esta estratégia é mais complexa, no entanto é a mais eficiente em SEP com grande número de barras, pois permite a manutenção de cargas prioritárias.

O ilhamento do SEP quando da ocorrência de um distúrbio de grandes proporções é de extrema importância para a redução do tempo de restauração principalmente quando o sistema possuir um grande número de barras. Em sistemas de grandes dimensões, a técnica de RSEP conhecida como 'restauração paralela' é a mais utilizada. Nesta, o SEP deve estar dividido em ilhas elétricas que possuem uma capacidade instalada de geração *Blackstart* de forma que a restauração do sistema possa ocorrer inicialmente através da restauração de cada ilha em paralelo. Esta técnica requer um tempo significativamente menor do que a técnica de RSEP conhecida como 'restauração seqüencial'. Nesta última, a restauração do sistema não necessita da divisão do mesmo em ilhas auto-suficientes uma vez que cada elemento do sistema é energizado seqüencialmente. Assim, nesta técnica de restauração, o sistema é restaurado como um todo, re-energizando linha de transmissão após linha de transmissão de modo seqüencial. Em sistemas de transmissão com um número pequeno de barras, geralmente a capacidade de geração *blackstart* está concentrada, sendo assim propício o uso de técnicas de restauração seqüenciais. No entanto, em sistemas de transmissão onde esta capacidade *blackstart* não está concentrada, notadamente o SEP com um grande número de barras possuem esta característica, a técnica de restauração paralela é a mais utilizada.

Desta forma, qualquer técnica de RSEP a ser aplicada em sistemas com grande número de barras devem utilizar o ilhamento intencional para resguardar cargas prioritárias e permitir a aplicação da restauração paralela.

Este artigo inicia-se com uma revisão das principais áreas envolvidas em ilhamento intencional. O problema de ilhamento intencional é então analisado em um sistema de transmissão de 162 barras. O artigo é

finalizado com uma discussão dos resultados e algumas conclusões finais sobre o trabalho.

2 ILHAMENTO INTENCIONAL

Ilhamento intencional é o nome dado às operações coordenadas de abertura/fechamento de disjuntores realizadas para separar o sistema em regiões auto-suficientes quando da ocorrência de um distúrbio de grandes proporções. As operações de abertura/fechamento são realizadas de forma a implementar um plano pré-estabelecido de divisão do sistema. Este plano pré-estabelecido é implementado através de uma coordenação de tempos de abertura de relés de proteção e é baseado em estudos *off-line*. Estes estudos são realizados de forma a determinar as melhores configurações de ilhas para determinados distúrbios de forma que estas consigam operar em condições aceitáveis. Dentre uma série de estudos que devem ser feitos na determinação destas regiões auto-sustentáveis destacam-se:

- Balanço de Potência Reativa.
- Balanço de Carga e Geração.
- Localização de Falta.
- Estabilidade do Sistema.
- Mau funcionamento de Disjuntores.

A seguir as áreas descritas acima serão caracterizadas.

2.1 Balanço de Potência Reativa

Balanço de potência reativa é uma área de grande importância na definição do plano ilhamento intencional. Balanço de potência reativa é requerimento indispensável para a manutenção do padrão de tensão dentro de limites aceitáveis. O balanço é especialmente importante durante as fases iniciais do processo de restauração, quando altas tensões podem ser geradas devido a energização de linhas de transmissão não carregadas. Usualmente sobretensões de regime permanente podem ser controladas se o sistema for capaz de absorver a potência reativa gerada na energização de linhas de transmissão pouco carregadas. Isto pode ser obtido através de:

- Geradores possuindo suficiente capacidade de excitação.
- Conexão de cargas reativas incluindo reatores shunt.
- Remover fontes de potência reativa, incluindo capacitores shunt.
- Uso de geradores com o máximo de geração de reativos para permitir ajustes quando da energização de linhas de transmissão.
- Restauração de linhas de transmissão com cargas acopladas evitando a energização de linhas extras não necessárias.

A inabilidade em realizar estas tarefas pode levar ao desbalanço de potência reativa ocasionando a elevação do padrão de tensão da ilha. O estudo de balanço de potência reativa deve ser feito a priori nas

ilhas candidatas do sistema de forma a se verificar sua viabilidade.

2.2 Balanço de Carga e Geração

Uma área de grande importância a ser considerada na escolha do plano de ilhamento intencional é o balanço entre carga e geração nas respectivas ilhas. Durante o processo de restauração, bem como logo após a ocorrência do distúrbio, é de extrema importância manter a frequência do sistema (ilha) dentro certos limites de operação. Este limite é necessário para se manter a estabilidade da ilha bem como evitar que certos relés sensíveis à frequência operarem desnecessariamente. A frequência do sistema é mantida dentro limites aceitáveis de operação através do balanço entre carga e geração. Isto significa que durante o processo de restauração a carga deve ser balanceada com a capacidade do gerador. Este balanço é geralmente obtido com a restauração da carga em incrementos definidos pela característica inercial do sistema, de forma que o gerador possa responder a este aumento. A restauração de carga com incrementos excessivamente grandes pode resultar em subtensoes ou subfrequências, particularmente em um sistema ilhado que é mais vulnerável do que um sistema totalmente conectado. De outro lado, a restauração da carga em incrementos excessivamente pequenos pode prolongar consideravelmente o tempo de restauração. O tamanho da carga a ser restaurada/mantida deve ser determinado pela capacidade de resposta dos geradores. Assim, cada ilha terá um tamanho de carga associado que manterá a frequência e tensão dentro limites aceitáveis de operação. Um estudo de balanço de carga deve ser feito em cada ilha candidata antes da determinação do plano de ilhamento intencional.

2.3 Localização de Faltas

Faltas ou equipamentos faltosos são os maiores causadores de distúrbios em SEP. A maioria das faltas se ocorrem no sistema de transmissão. Estas faltas por sua vez, podem ocasionar eventos em cascata que podem resultar em distúrbios de alto impacto no SEP. Grande número das faltas no sistema de transmissão são temporárias, o que significa que elas são rapidamente extintas deixando o sistema em uma condição não faltosa. Neste caso, obviamente a localização da falta não é considerada prioritária, no entanto, no caso da falta ser permanente, seria desastroso a tentativa da restauração. O conhecimento da localização da falta é assim de grande importância para o processo de restauração e para a escolha do plano de plano de ilhamento intencional. Várias técnicas têm sido propostas para a identificação da localização da falta em um SEP. Os resultados têm sido satisfatórios e o estudo do problema da localização de faltas para a escolha do plano de ilhamento intencional é considerado de grande importância.

2.4 Estabilidade do Sistema

Estabilidade de SEP é uma área de grande importância na determinação do plano de restauração e conseqüentemente da divisão do sistema quando da

ocorrência de um distúrbio de grandes proporções. As regiões geradas quando da divisão do sistema devem ser capazes de permitir uma suficiente variação de carga e geração sem passar por um comportamento indesejável ou incontrolável que possa levar à instabilidade ou mesmo a re-ocorrência do distúrbio.

De forma a verificar a estabilidade de cada ilha do sistema deve-se realizar estudos de estabilidade transitória. A dinâmica de um sistema multi-máquinas é descrita por um conjunto de equações diferenciais de segunda ordem. O número de equações é definido pelo número de máquinas do sistema.

Uma das metodologias mais aceita para se estudar a estabilidade transitória de um sistema é através da análise da resposta das equações diferenciais para uma série de possíveis variações de carga/geração ou curto-circuitos que venham a ocorrer no sistema. Este estudo deve ser realizado nas ilhas candidatas antes da formação do plano de ilhamento intencional.

2.5 Disjuntores

Disjuntores são equipamentos relativamente seguros e confiáveis do SEP. Estes equipamentos são responsáveis pela conexão/desconexão de outros equipamentos do sistema através de operações de chaveamento. No entanto, como quaisquer equipamentos, disjuntores são também sujeitos a falhas que devem ser levadas em conta na escolha do plano de ilhamento intencional. A tabela 1. [10] mostra os resultados de um estudo sobre falhas de disjuntores.

TABELA 1. FALHAS DE DISJUNTORES

Tipo de Falha	Percentagem das Falhas
Elétrico	10
Vazamento de Ar	20
Juntas	3
Circuitos de Controle	10
Válvulas de Ar	15
Interlocks	12
Mecânicos	25
Desconhecidos	5

A falha de disjuntores pode atrasar o processo de restauração ou mesmo ocasionar uma re-ocorrência do distúrbio. O estudo sobre possíveis falhas de disjuntores deve ser feito nas ilhas candidatas antes da formulação do plano de restauração.

3 SISTEMA DE ESTUDO

O sistema de transmissão escolhido para a aplicação do estudo de ilhamento intencional foi o *IEEE* 162-barras 17-geradores [8]. Um estudo sistemático avaliando todas as áreas descritas anteriormente foi realizado de forma a obter-se um plano de divisão do sistema quando da ocorrência de um distúrbio de grandes proporções. Várias possíveis divisões foram testadas considerando-se todas as áreas descritas anteriormente. O resultado do estudo determinou que o melhor plano de ilhamento intencional para o sistema é composto por 10 ilhas. Simulações utilizando o programa de fluxo de carga ANAREDE [9] foram feitas de forma a checar as condições de operação do sistema dividido. As simulações demonstraram ainda que as ilhas selecionadas são capazes de maximizar a

quantidade de carga mantida usando um mínimo número de linhas de transmissão. Nas tabelas seguintes apresentam-se as ilhas finais do sistema e os respectivos caminhos de transmissão (linhas e transformadores) utilizados obtidos pelo estudo.

TABELA 2. ILHA 1

Barra	Barra	Caminho de Transmissão
110	111	221
111	115	226
110	112	222
110	138	254
112	120	227
120	128	237
110	134	224
72	128	245
133	134	247
4	112	14
133	135	248
135	138	251
133	136	249
138	139	255
138	140	256
136	139	252
4	115	15
133	137	250
137	140	253
115	117	231
138	145	257
72	152	174
117	147	235
112	121	228
110	114	223

TABELA 3. ILHA 2

Barra	Barra	Caminho de Transmissão
1	3	2
1	5	4
5	129	18
129	132	246
2	7	6
8	12	23
2	12	37
8	14	25
12	132	40
12	13	38
1	2	1
12	14	39
7	8	20
8	13	24
8	132	27
3	14	8
2	13	7
4	113	44
113	132	229
14	132	45
7	9	21
9	75	28
75	130	177
9	75	28
1	6	5
5	131	19

TABELA 4. ILHA 3

Barra	Barra	Caminho de Transmissão
10	60	32
10	11	29
10	15	31
15	62	48
11	46	34
15	58	46
11	58	35
11	59	36

15	60	47
11	15	33
60	62	149
58	61	145
61	62	152
59	61	146
60	61	147
60	61	148

TABELA 5. ILHA 4

Barra	Barra	Caminho de Transmissão
103	124	212
103	125	213
123	125	240
124	125	241
50	125	128
103	123	211
43	103	113
43	124	114
43	125	115
50	123	127
50	51	126
51	141	129
144	146	264
142	146	260
142	143	259
51	142	258
143	144	261
141	144	262

TABELA 6. ILHA 5

Barra	Barra	Caminho de Transmissão
17	19	56
29	31	92
27	31	84
65	126	160
27	126	88
37	127	104
17	18	55
16	17	50
27	65	86
37	126	103
16	126	53
16	27	52
28	29	90
24	25	76
30	32	93
24	28	77
18	37	61
18	32	60
19	38	63
23	24	74
18	30	59
19	127	65
25	27	80
17	127	58
16	18	51
16	127	54
27	127	89
63	65	157
29	30	91
126	127	244

TABELA 7. ILHA 6

Barra	Barra	Caminho de Transmissão
82	83	181
41	83	109
27	31	84
22	39	71
39	42	105
42	109	111
34	40	98
40	81	106

42	93	195
35	40	100
41	81	108
22	40	72
67	68	162
34	77	99
33	35	96
36	67	101
33	36	97
68	69	163
40	82	107
33	34	95
69	77	164
69	78	165
22	41	73
41	84	110
93	108	196
21	22	68

TABELA 8. ILHA 7

Barra	Barra	Caminho de Transmissão
45	54	118
54	56	138
55	57	140
53	55	137
55	157	280
53	54	136
158	159	282
20	157	67
74	119	175
157	158	281
26	74	81
20	53	66
44	149	141
55	162	142
57	80	144
71	85	170
54	57	139
71	150	171
149	151	269
161	162	284
149	150	268
116	148	265
151	161	271
74	79	180
116	119	233
26	149	267
26	149	266
26	76	83

TABELA 9. ILHA 8

Barra	Barra	Caminho de Transmissão
91	94	193
44	97	207
91	95	200
91	92	191
94	107	198
106	107	216
107	122	217
95	98	203
95	97	202
98	105	209
52	106	131
44	102	116
92	102	194
52	118	134
95	99	204
48	52	124

TABELA 10. ILHA 9

Barra	Barra	Caminho de Transmissão
155	156	278
153	155	275

153	154	274
154	156	276
154	160	277
70	153	272
70	153	273
70	73	167

TABLE 11. ILHA 10

Barra	Barra	Caminho de Transmissão
91	94	193
44	97	207
91	95	200
91	92	191
94	107	198
106	107	216
107	122	217
95	98	203
95	97	202
98	105	209
52	106	131
44	102	116

4 CONCLUSÕES

Restauração de Sistemas Elétricos de Potência têm se tornado um campo de crescente interesse nos últimos anos. Em resposta a este interesse, novas técnicas, baseadas em inteligência artificial, foram propostas para se melhorar o desempenho das metodologias existentes. Estas técnicas propõem a utilização do computador como ferramenta de ajuda ao operador do sistema para determinar o melhor plano de restauração, ao invés do uso dos guias e procedimentos pré-determinados.

Uma característica comum a estas novas técnicas propostas para a RSEP é o uso da restauração paralela. Nesta, o sistema necessita estar dividido em regiões auto-suficientes. As operações de chaveamento que fornecem tal divisão quando da ocorrência de um distúrbio são chamadas de ilhamento intencional. O plano de divisão do sistema, ou plano de ilhamento intencional é formulado a partir de estudos *off-line*. Neste artigo são apresentadas as principais preocupações envolvidas na determinação do plano de ilhamento intencional de um SEP, bem como um exemplo no sistema *IEEE* de 162 barras. Os resultados demonstram que estudos *off-line* baseados em algumas áreas consideradas podem ser suficientes para determinar a melhor divisão de um SEP quando da ocorrência de um distúrbio.

5 REFERÊNCIAS

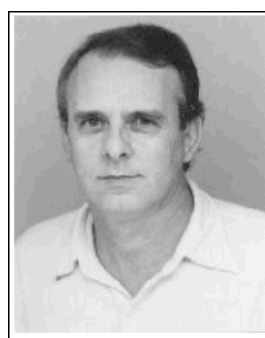
- [1] M. M. Adibi, Power System Restoration Methodologies and Implementation Strategies", IEEE Press Power Engineering Series, 2000.
- [2] L. Fink e K. Carlsen, "Operating under stress and strain", *IEEE Spectrum*, March 1978.
- [3] K. Matsumoto, T. Sakaguchi, R. Kafka e M. M. Adibi, "Knowledge-based systems as operational aids in power system restoration", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 80, No.5, pp. 689-697, Maio 1992.
- [4] T. Sakaguchi and K. Matsumoto, "Development of a knowledge based system for power system restoration", *IEEE Transactions in Power Apparatus & Systems*, Vol. PAS-102, No. 2, pp. 320-329, Fevereiro 1983.

- [5] K. L. Liou, C. C. Liu and R. Chu, "Tie line utilization during power system restoration", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 10, No. 1, pp. 192-199, Fevereiro 1995.
- [6] M. M. Adibi, "Special Considerations in Power System Restoration", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 7, No. 4, pp. 1419-1427, Novembro 1992.
- [7] H. B. Ross, N. Zhu, J. Giri and B. Kindel, "An AGC Implementation for System Islanding and Restoration Conditions", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 9, No. 3, pp. 1399-1410, Agosto 1994.
- [8] University of Washington Power System Test Case Archive [Online]. Available: <http://www.ee.washington.edu/research/pstca/>
- [9] Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), Programa de Análise de Redes – Manual do Usuário, Rio de Janeiro, 1994.
- [10] C. H. Flurscheim, Power Circuit Breaker Theory and design, Peter Peregrinus, Inglaterra, 1975.

6 BIOGRAFIAS



Arturo S. Bretas membro do IEEE nasceu em Bauru, São Paulo, Brasil, no dia 5 de Julho de 1972. Ele graduou-se em engenharia elétrica pela Universidade de São Paulo – EESC em 1995. Ele recebeu seu título de mestre no mesmo departamento e pela mesma universidade em 1998. Em 2001 ele terminou seu doutorado pela Virginia Tech. Ele trabalha atualmente no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como Professor Adjunto. Seus interesses de pesquisa incluem proteção, restauração e controle de sistemas elétricos de potência.



Newton G. Bretas senior member do IEEE nasceu em Dores de Guanhões, Minas Gerais, Brasil, no dia 1 de Agosto de 1946. Ele formou-se e recebeu seu título de mestre em 1970 e 1976 pela Universidade Federal de Minas Gérias e pela Universidade de São Paulo respectivamente. Em 1981 ele obteve seu doutoramento pela University of Missouri. Ele trabalha atualmente no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de São Paulo – EESC como professor titular. Seus interesses de pesquisa incluem, estabilidade, controle e estimação de estados de sistemas elétricos de potência.