



06 a 10 de Outubro de 2008
Pernambuco - PE

RESTAURAÇÃO DE ENERGIA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA UTILIZANDO ALGORITMOS MEMÉTICOS

W. Guerra Z e N. Kagan

Energ - Centro de Estudos em Regulação e Energia Elétrica Departamento de Engenharia de Energia e Automação Escola Politécnica - USP - São Paulo

willguech@poli.usp.br

nelsonk@pea.usp.br

RESUMO

Este trabalho apresenta a formulação e implementação computacional de um algoritmo evolucionário chamado “*Algoritmo Memético*”, utilizado para resolver o problema de Restauração de Redes Elétricas em Sistemas de Distribuição. Sendo este problema possuidor de múltiplos objetivos, alguns deles conflitantes, onde as características das funções dificultam o uso de técnicas de programação para obter planos de restauração. Além disso, são afetadas intensamente pelo problema de explosão combinatória. Este método utiliza como base o algoritmo Genético amplamente conhecido, mas com a diferença que utiliza o conceito de “*evolução cultural*”, onde a adaptabilidade de um indivíduo pode ser modificada no decorrer de sua existência dentro da população. Esta técnica utiliza operadores de recombinação, mutação, seleção, evolução e adaptabilidade. São apresentados resultados utilizando uma rede de 202 barras, no intuito de se avaliar a potencialidade da técnica proposta.

PALAVRAS-CHAVE

Restauração de Redes de Distribuição, Algoritmos Meméticos, Adaptabilidade de Indivíduos.

1. INTRODUÇÃO

A interrupção do fornecimento de energia aos consumidores geralmente compromete muitas atividades, podendo prejudicar os trabalhos na indústria e comércio, as atividades nas residências, bem como os serviços públicos. Por outro lado, as regiões atingidas podem variar desde apenas uns poucos quarteirões até conjuntos de cidades ou estados.

Num contexto do mercado elétrico, este trabalho considera os sistemas de distribuição em casos de interrupção do fornecimento de energia. Onde o principal objetivo é a elaboração de planos para restabelecer o fornecimento (energia) nas áreas atingidas de um sistema de distribuição radial.

A falta de energia pode ser causada por diferentes motivos como, por exemplo, falta permanente ou manutenção em algum circuito. Depois de identificado e eliminado o defeito, os operadores do sistema devem elaborar planos para restabelecer a energia ao maior número de consumidores no menor tempo possível. Esses planos consideram a conexão de parte do circuito afetado a outras áreas da rede, através dos chaveamentos de chaves de seccionamento e de interconexão, respeitando a capacidade

dos equipamentos das mesmas. Além destas condições, neste trabalho consideraram-se garantir o melhor perfil de tensões maximizando a redução de perdas elétricas ativas.

Em sistemas reais, a restauração do serviço de energia apresenta-se como um problema de otimização combinatória complexa, gerando uma explosão de combinações (soluções). Estritamente, trata-se de um problema não-linear inteiro misto multi-objetivo.

Este problema tem sido tema de diversos trabalhos nos últimos anos. A formulação mais comum é restrita ao plano de restauração de serviço [1] [8] [11] [10].

Outro aspecto que diferencia os trabalhos que abordam o restabelecimento de serviço é a técnica dos sistemas especialistas, este consiste em listas de regras a serem seguidas passo a passo, considerando alguns níveis de cargas. Neste grupo, destacam-se os trabalhos propostos por [8], por terem sido os primeiros a modelar a rede em termos de sub-redes indivisíveis que, mais tarde, foram chamadas de setores, e [11], propôs uma extensão do trabalho clássico apresentado em [12] para reconfiguração de redes.

Além dos sistemas especialistas mencionados, foram propostas combinações dessa técnica com diferentes algoritmos de busca, visando melhoria do desempenho. Por exemplo, [9] propuseram um algoritmo que combina sistemas especialistas e programação linear inteira e [13], associaram sistemas especialistas a algoritmos genéticos.

Recentemente, cada vez mais trabalhos têm adotado meta-heurísticas para resolução dos problemas [2] [3] [6] [14]. Essa abordagem permite dotar as soluções, em alguns casos, de independência ou não, com relação ao estado inicial da rede e estende a busca realizada a qualquer nível de transferência de carga entre alimentadores. Contudo, implica em maior complexidade computacional. Nesse sentido, o estado da arte nessa área inclui novas alternativas, estratégias e metodologias que permitam melhorar o desempenho computacional das meta-heurísticas. Esta última linha de pesquisas deste trabalho pretende ilustrar um algoritmo Memético (AM) que utiliza como base o algoritmo Genético, com o grande diferencial que emula de forma mais aproximada, à reprodução humana incluindo um termo estratégico que é a “*evolução cultural*”.

Utilizando as estratégias abordadas neste trabalho, são apresentados os resultados obtidos na simulação de um sistema real de 202 barras com 15 chaves de interconexão e 78 chaves de seccionamento. A seguir serão apresentadas as principais características do AM, para depois modelar o problema de restauração de sistemas de distribuição e detalhar o algoritmo, finalmente ilustrar os resultados do sistema testado.

2. ALGORITMOS MEMÉTICOS

Os algoritmos Meméticos (AM) foram propostos em [7], como uma nova classe dos algoritmos Genéticos (AG) amplamente conhecidos para resolver muitos problemas de inteligência artificial. Onde uma visão simplista diferencia os AM apenas como que utiliza mínimos locais, mas com uma visão geral, trata de emular o conceito de reprodução genética mais próxima da realidade.

Os algoritmos Genéticos e Meméticos se baseiam em processos naturais, tais como recombinação, seleção, mutação, entre outros. O princípio básico consiste em selecionar bons indivíduos, identificados para o problema de restauração como configurações, para reprodução e recombiná-los, com o propósito de obter melhores soluções que os pais. Esses filhos, por sua vez, tendem a ocupar o lugar dos indivíduos menos adaptados da população, melhorando a adaptabilidade da população como um todo. A mutação entra como um elemento adicionador de variedade genética. Desta forma, uma população inicialmente pouco adaptada depois de certo número de gerações, constituir-se-á na sua maioria indivíduos bem adaptados.

O AM utiliza ainda o conceito de “*evolução cultural*”, onde a adaptabilidade de um indivíduo pode ser modificada no decorrer de sua existência dentro da população. Um indivíduo pode ser geneticamente pouco favorecido ao nascer, mas devido às condições em que vive, por trocas de informação com

outros indivíduos, experiências pessoais, entre outros aspectos, pode se tornar mais adaptado, e mais do que isso, transmitir essa experiência aos seus descendentes (evolução cultural).

Há algumas palavras novas além de recombinação, mutação e seleção como adaptabilidade e evolução.

3. FORMULAÇÃO GENÉRICA DO PROBLEMA

A formulação do problema de restauração de uma rede sob contingência pode ser definida como:

$$\text{Max } F(u), \text{ sujeito a } u \in U, \quad (1)$$

Em que, u é uma configuração de rede obtida a partir de um determinado plano de restauração em um espaço de configurações factíveis U .

A função F é definida de acordo com os objetivos da solução, seja qual for a técnica de busca utilizada. Define-se deste modo um compromisso entre a exatidão de F em relação ao atendimento dos objetivos do problema e o esforço computacional requerido para calculá-la. Neste trabalho, a função F a ser maximizada é definida como:

$$F(u) = w_1 f_{chaveamento} + w_2 f_{tensões} + w_3 f_{perdas} + w_4 f_{potência} \quad (2)$$

s.a.

- Capacidade de fornecimento de subestações e alimentadores;
- Capacidade de fluxo nos alimentadores;
- Radialidade do sistema de distribuição;
- Atendimento da demanda (equações de fluxo de potência).

Em que,

$$f_{chaveamento} = 1 - \frac{n_{operadas}}{n_{total}} \quad (3)$$

$$f_{tensões} = \frac{1}{n_g} \sqrt{\sum_{k=1}^{n_g} \left(\frac{V_{\min_k}}{V_{base_k}} \right)^2} \quad (4)$$

$$f_{Perdas} = \sum_{k=1}^{n_h} R_k I_k^2 \quad (5)$$

$$f_{Potência} = \frac{1}{n_g} \sqrt{\sum_{k=1}^{n_g} \left(\frac{P_{ON_k}}{P_{total_k}} \right)^2} \quad (6)$$

são funções que denotam objetivos a serem maximizados segundo a relação de prioridades estabelecida pelos valores w_1, w_2, w_3 e w_4 . Além disto:

$n_{operadas}$ chaves operadas na restauração;

n_{total} total de chaves no sistema;

n_g número de alimentadores;

n_h número de ramos da rede;

V_{\min_k} menor tensão do alimentador k ;

V_{base_k} tensão do alimentador k ;

P_{ON_k} carga nominal atendida dentro dos limites de tensão e sobrecarga no alimentador k ;

P_{total_k} carga nominal total do alimentador k ;

Definir F como em 2-6 permite realizar testes com diferentes ajustes para cada um dos objetivos, o que implica uma solução dependente dos pesos adotados. A idéia é que a parcela relativa a $f_{chaveamento}$ modele o objetivo de minimizar o número total de chaveamentos; a parcela $f_{tensões}$ modele o objetivo da melhoria de perfil de tensões; a parcela f_{Perdas} modele as perdas ativas totais da rede; e que $f_{Potência}$

represente o objetivo de minimizar a carga fora de serviço atendida dentro dos limites de tensão e sobrecarga dos alimentadores.

Um exemplo de execução de um plano de restauração é apresentado no Gráfico 1, onde estão representadas as chaves de manobras e as seções definidas por estas chaves. As seções são definidas como sendo todos os consumidores e cargas instaladas delimitadas por chaves de manobras, facilitando a identificação do conjunto de cargas a ser remanejado quando ocorre a abertura ou fechamento de um dispositivo de manobras. Seja por exemplo, a falta permanente na seção 12. A solução do problema de restauração consiste em isolar a seção 12 do restante do sistema de modo a manter a integridade dos alimentadores, restaurar as seções fora do serviço e buscar uma melhor configuração. Essa busca baseia-se em selecionar seções que possuam interligação com alimentadores vizinhos e trocá-las de alimentadores modificando suas fontes de alimentação. O isolamento se dá ao abrir os dispositivos de manobras entre as seções 11-12 e 12-13. Assim a região sob falta permanente é isolada, porém as seções 13, 14 e 15 ficam desenergizadas e deverão ser restauradas da melhor maneira possível, isto é, devem-se religar tais seções conectando-as aos alimentadores vizinhos menos carregados. Para o exemplo, fechando as chaves entre as seções 13-8, 14-9, 15-20 e abrindo as chaves entre as seções 13-14 e 14-15, restauram-se todas as seções que estão fora de serviço, se essa configuração não apresentar sobrecarga nos alimentadores. No processo de busca, uma nova configuração pode ser obtida selecionando uma seção que possua uma chave que interligue com um alimentador vizinho. Por exemplo, a seção 4 possui a chave de interligação entre as seções 4-9, podendo assim fecha-la e abrir a chave entre as seções 3-4, fazendo com que as seções 4 e 5 passem a ser energizadas pelo alimentador B e não mais pelo alimentador A.

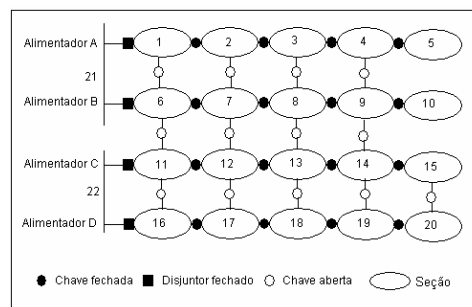


Gráfico 1. Sistema de distribuição ilustrativo.

4. ALGORITMO DE SOLUÇÃO

Para solucionar o problema de restauração considerado como de multifunção neste trabalho, onde a técnica consiste na adição de todas as funções objetivos simultaneamente, utilizando diferentes coeficientes ponderados (parâmetros) para cada objetivo. Deste modo o problema multiobjetivo original é transformado em um problema escalar mono-objetivo como segue:

$$\sum_{i=1}^k w_i f_i(x) \quad (7)$$

Sendo $w_i \geq 0$ os coeficientes ponderados que representam a importância relativa das funções objetivos f_i . Estes pesos, geralmente, são normalizados, tal que:

$$\sum_{i=1}^k w_i = 1 \quad (8)$$

Resolver o problema através do método de soma ponderada consiste em gerar diferentes retas suporte, definidas pelo vetor de pesos.

Em termos gerais, propõe-se a implementação do AM considerando além dos operadores de cruzamento, mutação típica no AG utiliza-se para o processo de construção do indivíduo o conceito de “*evolução cultural*”. Ao termo, o algoritmo fornece uma lista de chaves que devem ser abertas para isolar a área defeituosa e outra lista com chaves a serem abertas ou fechadas para implementar o plano de restabelecimento.

Essa seção foi dividida em três partes: na primeira apresenta-se a codificação proposta; na segunda o desenvolvimento do algoritmo, onde se considera a geração dos indivíduos aplicando o conceito de “*evolução cultural*” e descreve-se a função de aptidão utilizada, para finalmente apresentar resultados do sistema testado.

4.1. Codificação

A codificação representa o conteúdo do gene (estado das chaves) de um indivíduo (configuração) e os cromosomas serão codificados utilizando uma simbologia binária “1” se a chave estiver fechada e “0” se a chave estiver aberta.

No Gráfico 2 ilustra-se a codificação, onde 1,2,3...,9 são as chaves, e o 1 e 0 representam o estado das chaves. Essa codificação foi adotada porque representa a maneira mais simples e adequada para implementar este algoritmo. Levando-se em conta a redução do espaço de busca, para o qual só consideram-se configurações factíveis, ou seja, radiais.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Indivíduo 1	1	0	0	0	1	0	0	0	1
Indivíduo 2	0	0	1	0	0	1	0	1	0

Gráfico 2. Codificação.

4.2. Desenvolvimento do Algoritmo

O problema de restauração começa depois de localizado o defeito, devese isolar só o bloco onde se apresenta o defeito, abrindo as chaves interligadas aos demais blocos.

Num segundo passo, identifica-se todos os blocos que ficam desenergizados. A partir dessa análise, começará a primeira etapa do AM para o problema de restauração de redes elétricas.

Construção do indivíduo:

Dados um ou mais blocos desenergizados devese analisar as possíveis conexões para reestabelecer energia a estes blocos, com o fechamento e abertura de chaves de interconexão ou seccionamento. Esta etapa se dividirá em duas. A primeira só se fechará uma chave de interconexão, considerando dois parâmetros: o máximo carregamento em cada alimentador vizinho (visto desde a barra onde esta conectada a chave de interconexão a ser fechada); e o perfil de tensões na mesma barra.

Tomam-se em conta 40% das chaves candidatas e fecha-se aleatoriamente uma chave deste grupo. Depois que a rede volta a ser radial devese avaliar esta, através de um fluxo de carga para encontrar os seguintes parâmetros: Perdas ativas; Perfil de tensões. Esta informação será armazenada só para as barras onde estão conectadas as chaves. Este processo será feito para uma população pré-estabelecida (para o problema P=100 indivíduos).

Esta sub-etapa é importante, para modificar a adaptabilidade do indivíduo no processo de formação, em outras palavras, um indivíduo pode ser geneticamente pouco favorecido ao nascer, mas devido às condições em que vive, por trocas de informações com outros indivíduos e experiências pessoais, pode tornar-se adaptado. Nesse sentido, a segunda sub-etapa que consiste na formação da configuração (indivíduo adulto) influenciada pela informação acumulada de toda a população.

Esta sub-etapa consiste em realizar um fechamento e uma abertura simultaneamente de uma chave de interconexão e seccionamento respectivamente de modo a manter a radialidade da rede. Nela participarão todas as chaves da rede, considerando a informação armazenada das chaves, que a sua vez continuará, ou não, modificando esta informação.

Recombinação dos indivíduos:

Uma vez que todos os indivíduos (configurações) chegam a definir-se (madurar), inicia-se o processo de reprodução ou recombinação. Este processo será feito para uma população não estruturada, além de ser aleatória, conhecida como Roulette Wheel ou “Roleta Ponderada”. Apesar da aleatoriedade desse procedimento, utiliza uma boa quantidade de conhecimento na escolha dos indivíduos (configurações). O intervalo 0-1 é inicialmente repartido entre todos os indivíduos, com os indivíduos mais adaptados recebendo fatias proporcionais maiores. Um número aleatório entre 0 e 1 é gerado, e o elemento, cujo intervalo contiver este número é selecionado. Esse procedimento faz com que indivíduos melhores adaptados sejam selecionados mais frequentemente que os menos adaptados, sem eliminar a possibilidade de indivíduos pouco adaptados também serem selecionados. Com isso pode-se esperar uma diversidade maior na população do que quando seleções determinísticas são utilizadas.

Note-se alguns problemas na condução da escolha dos indivíduos: testes iniciais indicaram que o melhor indivíduo da população participava em quase todas as recombinações. Desta forma foi necessária a criação de mecanismos que mantivessem a diversidade nas escolhas, diminuindo a pressão sobre a solução incumbente, assim como, direcionando a adaptabilidade das gerações posteriores em procura de melhores.

Foi implementado um mecanismo, uma vez que os indivíduos possam ser escolhidos, mas, na medida em que vão sendo selecionados, ficam proibidos de serem selecionados de novo naquela geração. Essa proibição se aplica em todos os indivíduos com exceção do melhor, cuja participação fica restrita no máximo 50% do número de recombinações. Se em um determinado instante mais de 70% da população estiver proibida de recombinar, as proibições caem e todos voltam a poder participar de recombinações.

Outro mecanismo criado foi utilizando uma heurística proposta em [5], onde gerado um laço, este constrói uma lista de chaves candidatas a ser abertas para manter a radialidade da rede, considerando perdas ativas mínimas. O algoritmo é apresentado no Gráfico 3.

Mutação dos indivíduos (filhos):

Neste trabalho, viemos comprovar que a mutação é, sem duvida, muito importante para nosso problema, como um fator de adição de diversidade. A mutação implementada consiste em fechar e abrir chaves das configurações dos filhos, mantendo a radialidade da rede, através de uma taxa de mutação (para o exemplo igual a um). Para finalmente agrupar as configurações filhos até chegar a 100% da população inicial. O algoritmo é apresentado na no Gráfico 3.

Depois de terminado este processo, deverá-se atualizar a população inicial. Formar a nova população com aquelas configurações que tenham melhor função objetivo comparadas entre a população inicial e a população filhos.

Finalmente, a rotina repete-se até não conseguir uma melhora da função objetivo.

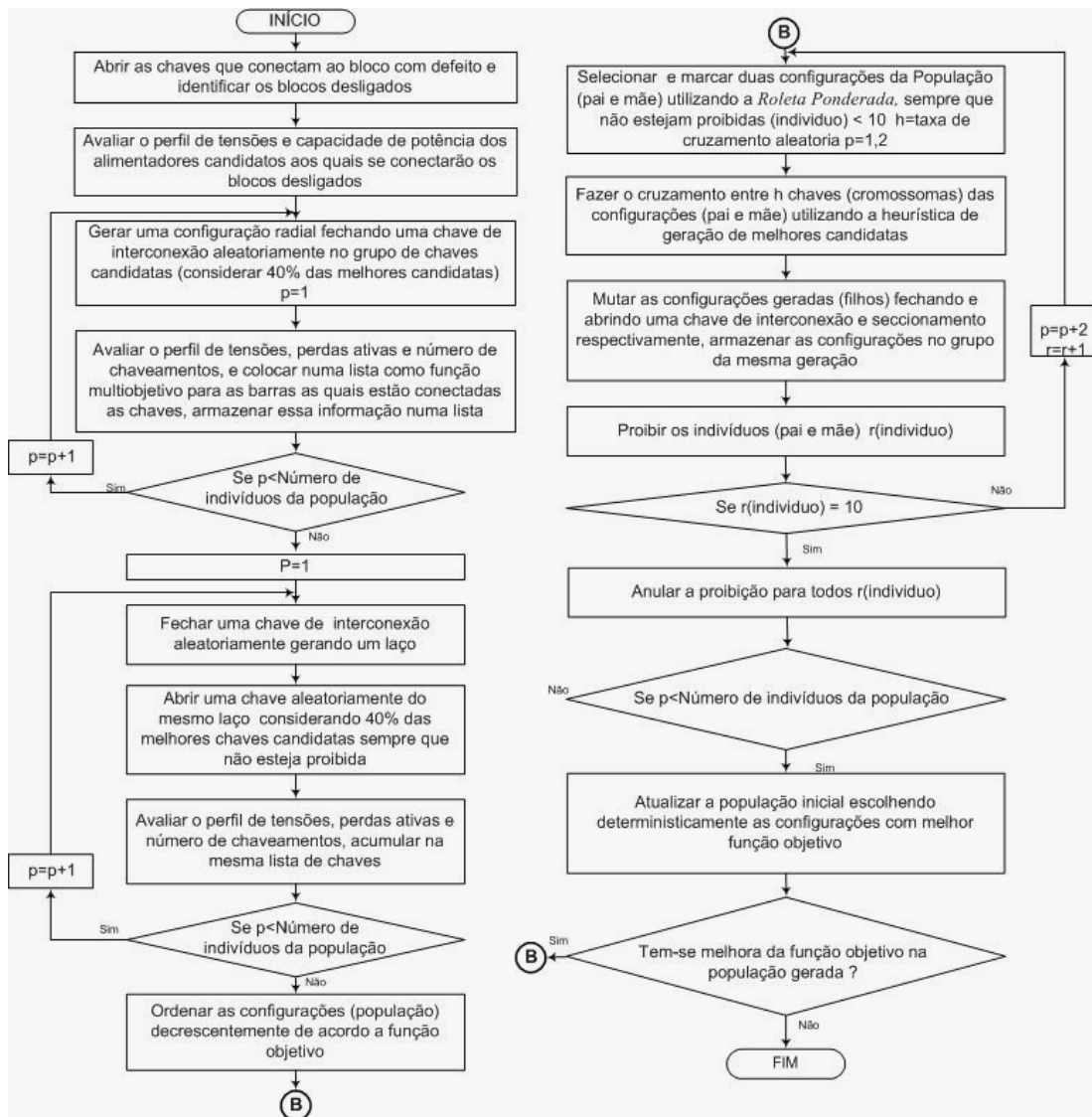


Gráfico 3. Algoritmo.

Conf.	Chaves abertas	Nro. Chaveamentos	Min. Tensão	Perda	Pot.	F.O.
Inicial	202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216	0	0,95709	545,43	0,00	
1	202 124 204 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 134	1	0,94246	754,27	1,29858	0,00763420
2	202 203 204 206 207 208 209 210 211 212 122 214 215 216	1	0,94366	795,89	1,81124	0,00749890
3	204 213 202 203 206 207 208 209 210 211 212 214 119 216	1	0,94366	795,89	1,9823	0,00749890
4	212 124 213 202 204 206 207 208 209 210 211 214 215 134	2	0,94246	754,27	1,2986	0,00557530
5	213 214 124 202 204 206 207 208 209 210 211 113 215 216	2	0,94359	774,57	1,5007	0,00556200
6	212 117 202 205 206 207 208 209 210 211 213 214 215 132	2	0,94173	774,8	1,1033	0,00550980

Tabela 1. Resultados

5. APLICAÇÃO

Para avaliar o algoritmo apresentado, foi utilizado um sistema de 202 barras, 216 trechos, 15 chaves de interconexão, 79 chaves de seccionamento, Potência Ativa 27,471 MW. Os dados ilustram-se em [4], as chaves alocadas estão ilustradas na Tabela 2. Para solucionar o problema previamente teve-se que implementar um algoritmo de construção de blocos. Além, de preestabelecer alguns parâmetros como são:

- ◆ Falta simulada tramo 143 - 152;
- ◆ População igual a 100 indivíduos;
- ◆ Taxa de recombinação aleatória dinâmica nos valores de 1 e 2;
- ◆ Taxa de mutação 1;
- ◆ População gerada igual a 100;
- ◆ Pesos das funções objetivos:
- ◆ Chaveamentos (w_1) 0,50
- ◆ Perfil de tensões (w_2) 0,15
- ◆ Perdas (w_3) 0,15
- ◆ Potencia fora das faixas (w_4) 0,20

Com esses valores e com uma falha simulada entre a barra 20 e 40 foram abertas as chaves 104 e 107 para isolar o bloco afetado. Os resultados ilustrados na tabela 02.

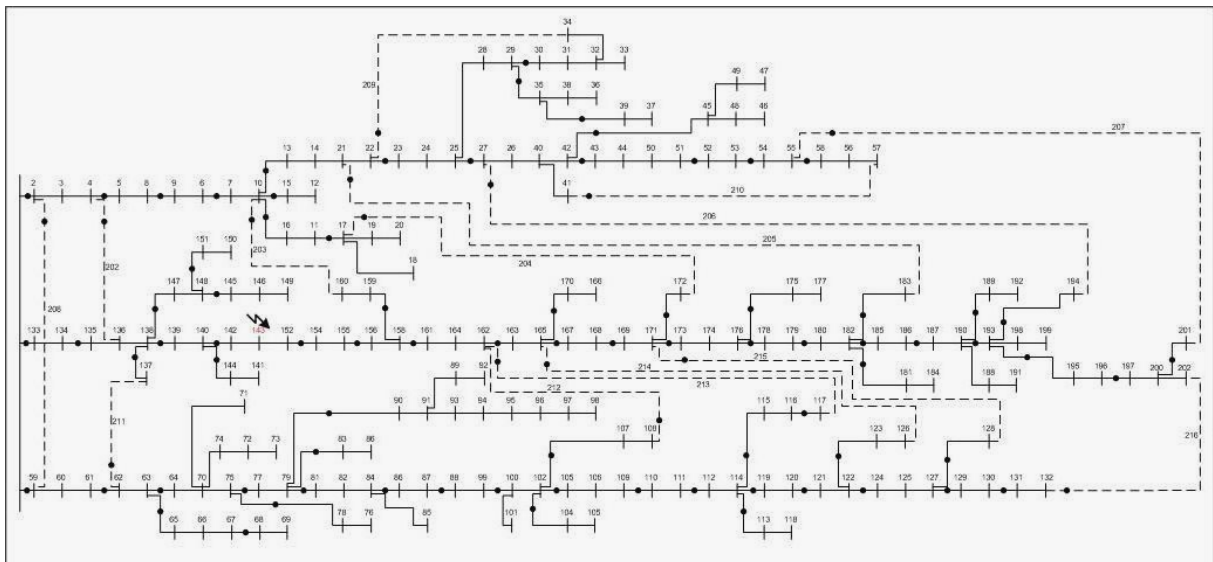


Gráfico 4. Sistema de 202 barras.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Para a solução do problema de restauração de sistemas de distribuição foi implementado um AM que considera a natureza multiobjetivo do problema, utilizando uma função que reflete através de ponderações o grau de importância de cada um dos objetivos.

Além das estratégias que utiliza o AG, utiliza um conceito fundamental “*evolução cultural*”, que faz a diferencia deste algoritmo, onde, um indivíduo pode ser geneticamente pouco favorecido ao nascer, mas devido às condições em que vive, por trocas de informação com outros indivíduos, experiências pessoais, entre outros aspectos, pode se tornar mais adaptado, e mais do que isso, transmitir essa experiência aos seus descendentes.

O ajuste dos parâmetros: taxa de recombinação e mutação assim como o grau de importância das funções objetivo dependerão do problema e do investigador respectivamente.

Este modelo de restauração pode ser aplicado para sistemas automatizados ou para sistemas que operam manualmente.

Para desenvolvimentos futuros deste trabalho propõe-se analisar restrições referentes ao sistema de proteção da rede como relés de disjuntores, elos fusíveis e religadores. Outro desafio será reduzir o número de iterações melhorando o desempenho e eficiência desta metaheurística.

Ramo	De	Para	Ramo	De	Para	Ramo	De	Para	Ramo	De	Para
3	4	5	76	116	117	128	186	187	171	190	189
4	6	7	77	114	119	130	190	193	172	8	9
12	29	30	79	120	121	131	193	194	173	10	16
17	29	35	83	127	128	132	193	195	174	10	15
21	42	45	84	127	129	134	196	197	176	22	23
22	42	43	86	130	131	136	200	201	179	35	39
26	51	52	104	140	142	140	137	138	180	25	27
28	53	54	107	152	154	144	148	145	184	1	59
32	10	13	109	155	156	154	1	2	185	61	62
36	11	17	111	158	159	155	1	133	187	67	68
43	58	55	113	158	161	156	134	135	188	63	64
47	63	65	115	165	167	157	138	147	190	75	78
51	75	77	117	168	169	159	148	151	191	79	83
58	79	81	118	171	172	160	138	139	192	79	90
60	84	86	119	171	173	161	140	144	195	99	100
62	87	88	122	176	178	164	162	163	196	102	104
66	102	107	124	179	180	165	165	170	197	109	110
68	102	105	125	182	183	167	176	175	198	114	113
72	111	112	126	182	185	169	182	181	199	122	123
74	114	115	128	186	187	170	190	188	200	122	124

Tabela 2. Chaves Sistema 202 barras.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Aoki K, Nara K, Itoh M, Satoh T, Kuwabara H (1989). A new algorithm for service restoration in distribution systems, **IEEE Trans. Power Delivery**, 1989, PWRD-4: pp 1832-1839
- [2] Delbem, A C B; de Carvalho, A C Pd L F; Bretas, N G, “Main chain representation for evolutionary algorithms applied to distribution system reconfiguration”, **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 20, no. 1, pp. 425-436. Feb. 2005
- [3] Eduardo Caixeta Sedano “Restauração de Redes de Distribuição de Energia Elétrica usando Algoritmo de Busca Tabu Reativa” **Dissertação de Mestrado UNESP**, Dezembro de 2005.
- [4] Guimarães, M. do N. Reconfiguração de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica utilizando algoritmos de Busca Tabu. **Dissertação (Teses de mestrado) — UNICAMP**, Abril 2005.
- [5] Goswami, S.; Basu, S. K. A new algorithm for the reconfiguration of distribution feeders for loss minimization. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 7, n. 3, p. 1484–1491, 1992.
- [6] Isamu Watanabe and Makoto Nodu, “A genetic algorithm for optimizing switching sequence of service restoration in distribution systems,” in Proceedings of the 2004 **IEEE Congress on Evolutionary Computation**, Portland, OR, June 2004, pp. 1683–1690, IEEE Press.
- [7] Moscato, P. (1989). On Evolution, Search, Optimization. Genetic Algorithms and Martial Arts: Towards Memetic Algorithms, **Caltech Concurrent Computation Program**, C3P Report 826.

- [8] NDR Sarma, VC Prasad, KS Prakasa Rao, V Sankar, A New Reconfiguration Technique for Service Restoration in Distribution Networks, **IEEE Transactions on Power Delivery**, Vol 9, No. 4, October, 1994, pp 1936 -1942.
- [9] Q. Zhou, D. Shirmohammadi, and W. H. E. Liu, "Distribution feeder reconfiguration for service restoration and load balancing," **IEEE Transactions on Power Systems**, vol. 12, no. 2, pp. 724–729, May 1997.
- [10] S. Toune, H. Fudo, T. Genji, Y. Fukuyama, Y. Nakanishi, Comparative Study of Modern Heuristic Algorithms to Service Restoration in Distribution Systems, **IEEE Transactions on Power Delivery**, Vol.17, No.1, January 2002.
- [11] Shirmohammadi, D, Service restoration in distribution networks via network reconfiguration. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 7, no 2, April 1992 p. 952-958.
- [12] Shirmohammadi, D. e Hong H. W, Reconfiguration of electric distribution for resistive line loss reduction, **IEEE Transactions on Power Delivery**, vol. 4, no. 2, 1989, pp. 1492 - 1498.
- [13] Sheng Siqing, Sun Youjiang, Liu Yan, et al., "Integrating Genetic Algorithm with Expert System for Service Restoration in Distribution System", **International Conference on Power System Technology Proceedings**, Vol. 1, 18-21 August 1998, Beijing, China, pp. 265-269, 1998
- [14] Y. Fukuyama and H. D. Chiang, "A Parallel Genetic Algorithm for Service Restoration in Electric Power Distribution Systems", **Proc. of IEEE FUZZ/IFES conference**, Yokohama, March 1995.