

ALOCAÇÃO E DIMENSIONAMENTO ÓTIMOS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA VIA METAHEURÍSTICA INSPIRADA NA ECOLOCALIZAÇÃO DE MORCEGOS

**Francisco Carlos Rodrigues Coelho; Ivo Chaves da Silva Junior; Bruno Henriques Dias;
André L. M. Marcato; Leonardo Willer Oliveira**

Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF
Campus da UFJF, Plataforma do Setor de Tecnologia, 36036-330, Juiz de Fora, MG.
franciscorodriguescoelho@gmail.com; ivo.junior@ufjf.edu.br; bdias@ieee.org;
andre.marcato@ufjf.edu.br; leonardo.willer@ufjf.edu.br

Luana Jatobá

Universidade Federal Fluminense - UFF
Rua Passo da Pátria, 156, 422-D – 24210-240, São Domingos, Niterói, RJ.
luanajatoba@id.uff.br

RESUMO

O presente trabalho propõe a utilização de uma técnica de otimização bioinspirada baseada na ecolocalização de morcegos para a alocação e dimensionamento ótimos de Geração Distribuída em sistemas radiais de distribuição de energia elétrica visando à redução das perdas ativas. Para tanto, a técnica de otimização em estudo será comparada com a literatura especializada a fim de verificar a eficiência do método proposto. Desta forma, serão utilizados dois sistemas testes recentes encontrados na literatura.

PALAVRAS CHAVE. Energia, Técnicas de Otimização, Geração Distribuída, Perdas Técnicas.

Área principal: EN - PO na Área de Energia

ABSTRACT

The present work proposes the use of a bioinspired optimization technique based on the bat echolocation to optimal siting and sizing of distributed generation in radial electrical distribution systems aiming at reducing active power losses. So, this optimization technique will be compared to some other methodologies previously described in specialized literature in order to evaluate the efficiency of the proposed methodology. To do so, two test systems will be used.

KEYWORDS. Energy, Optimization Techniques, Distributed Generation, Technical Losses.

Main area: OR in Energy

1. Introdução

Soluções para os problemas ambientais estão sendo solicitadas pela sociedade global com maior intensidade a cada dia. Dentre as questões mais preocupantes estão o aquecimento global, poluição atmosférica e acidificação do solo. Por enquanto não há uma ação unificada que resolveria todos estes problemas de uma só vez, no entanto, o uso racional e consciente dos recursos naturais disponíveis no planeta já seria grande parte da solução. Neste contexto, a Geração Distribuída (GD) se insere como um passo na busca por eficiência energética, desde que bem planejada e implantada.

Apesar do conceito de GD existir a mais de um século, a discussão recente do tema produziu várias definições para este tipo de geração. O Instituto Nacional de Eficiência Energética estabeleceu em 2002 que GD seja qualquer fonte geradora com produção destinada, em sua maior parte, a cargas locais ou próximas, alimentadas sem necessidade de transporte da energia através da rede de transmissão.

Em meio às tecnologias que utilizam combustíveis fósseis nas unidades de GD destacam-se as que permitem a cogeração, que é a produção combinada de energia elétrica e aproveitamento do calor resultante do processo (Lora, E. E. S., Haddad, J., 2006). Os Motores Alternativos de Combustão Interna são máquinas de alta confiabilidade e partida rápida, com alta eficiência elétrica se adequadas a sistemas de cogeração. Por outro lado, estes motores são ruidosos, requerem frequente manutenção e se caracterizam pelas elevadas emissões de poluentes atmosféricos. Microturbinas a Gás possuem como características positivas o tamanho compacto, baixas emissões de resíduos gasosos e longo período entre manutenções. Sua eficiência elétrica, porém, é baixa se não houver recuperação de calor. Existem ainda outras tecnologias em desenvolvimento onde alto custo e baixa experimentação são pontos negativos destas tecnologias mais recentes.

As tecnologias de GD que utilizam fontes renováveis fazem parte de uma necessária revolução no modo como lidamos com a natureza. Energia eólica e solar fotovoltaica são as alternativas energéticas que mais tem recebido atenção por parte dos pesquisadores nas últimas décadas. A captação da energia proveniente do vento é feita através de aerogeradores, que não emitem poluentes durante a geração. Além disso, as fazendas eólicas necessitam de um curto período para construção (em relação às hidroelétricas), e o terreno pode ser aproveitado para outras atividades simultaneamente. Os pontos negativos desta tecnologia são os ruídos causados pelas turbinas, acidentes com aves e alteração de suas rotas de migração. No caso da energia solar fotovoltaica, a conversão direta de radiação solar em energia elétrica possibilita a obtenção de uma fonte abundante de energia elétrica para as unidades de GD. A ausência de emissão de resíduos gasosos, vida útil longa e baixa manutenção, são as características que mais tornam esta tecnologia atraente (Lora, E. E. S., Haddad, J., 2006). Como obstáculos a serem vencidos encontram-se o alto custo da tecnologia e a necessidade de melhorias de ordem técnica.

O objetivo deste trabalho é obter a melhor configuração possível de unidades de GD em sistemas de distribuição, de modo que as perdas técnicas sejam mínimas. Como será mostrado nos resultados, as perdas diminuem significativamente devido a injeção de energia pela unidade de GD. A redução de perdas contabilizada nos resultados abrange apenas o sistema analisado, ou seja, a distribuição. Porém ocorrem reduções em cascata, pois o volume de energia injetado diretamente no sistema de distribuição deixa de ser transportado pelas linhas de transmissão como no caso da geração centralizada. Estimativas sugerem que estas perdas sejam da ordem de 4 a 7% da potência total transmitida (Public Utility Commission of Texas, 2001). Outros benefícios proporcionados ao sistema pela alocação de GD são a postergação de investimentos para expansão da capacidade da rede, aumento da confiabilidade, possibilidade de atendimento de comunidades isoladas e melhoria nos níveis de tensão.

2. Metodologia

Com o objetivo de alocar a Geração distribuída nos sistemas elétricos de distribuição de maneira ótima utilizou-se o algoritmo baseado na Ecolocalização de Morcegos, dotado de um aperfeiçoamento no qual há uma modificação no modo como a população de morcegos virtuais se desloca na superfície de solução do problema. Para se Dimensionar a GD já alocada, utilizou-se o Fluxo de Potencia Ótimo (FPO), que além de determina a potência a ser injetada na rede, mantém as tensões nas barras dentro dos limites preestabelecidos (Dias, B. H. *et al.*, 2012).

2.1 Metaheurística inspirada na Ecolocalização

A ecolocalização é uma sofisticada capacidade biológica utilizada para determinar a distância e/ou posição de obstáculos e/ou indivíduos em um ambiente através da emissão e captação de ondas sonoras. Os morcegos, que são animais noturnos, não possuem boa visão e se orientam pela ecolocalização. Baseando-se neste fenômeno, foi desenvolvido um algoritmo onde morcegos virtuais se deslocam segundo regras bio-inspiradas (Yang, X.-S., 2010). O algoritmo possui um número fixo n de morcegos virtuais que se deslocam ao longo das iterações de índice t sobre a superfície da função objetivo em estudo. Cada morcego se localiza em uma posição \mathbf{x}_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) que representa uma possível solução para a função matemática que se deseja encontrar o ponto ótimo, sendo \mathbf{x}_* a melhor posição/solução na iteração t .

Inicialmente é necessário estabelecer algumas premissas em relação às características do processo referente à ecolocalização utilizado por morcegos, sendo estas:

- (i) Todos os morcegos fazem uso da ecolocalização para medir distância, e também a diferença entre sua presa e os limites do espaço onde ele se encontra;
- (ii) Os morcegos se deslocam para a posição \mathbf{x}_i no espaço através dos seguintes parâmetros: (a) velocidade \mathbf{v}_i ; (b) frequência f_i ; (c) volume do pulso emitido A_i ; (d) taxa de emissão de pulso r_i .

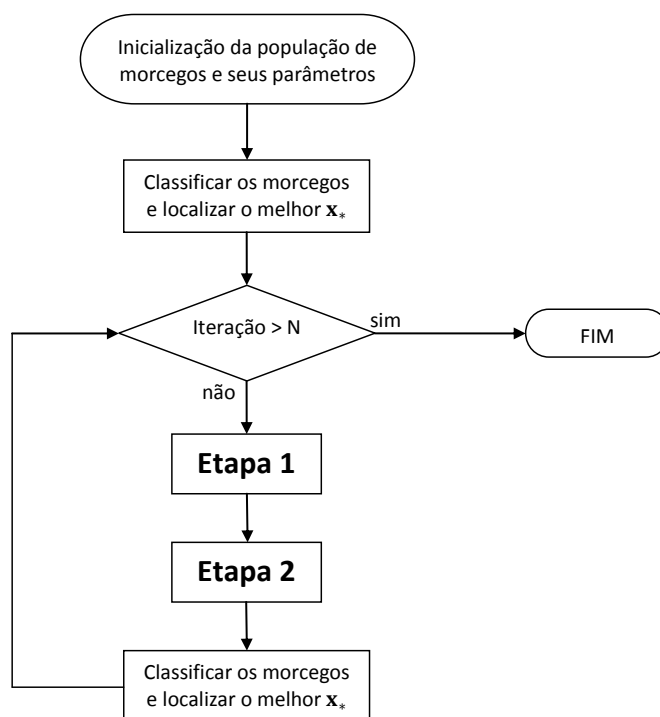


Figura 1 - Fluxograma Básico do Algoritmo.

A Figura 1 apresenta o fluxograma básico do algoritmo baseado na ecolocalização de morcegos, com N significando o número máximo de iterações do algoritmo.

Inicialmente gera-se uma população de morcegos, soluções iniciais, para o problema em análise, onde cada morcego tem sua própria taxa de emissão (r_i) e volume de pulso (A_i). Estas soluções são geradas de forma aleatória, porém dentro de limites previamente conhecidos. Com as soluções iniciais conhecidas, as mesmas são classificadas através do valor da função objetivo do problema em estudo. A seguir, entra-se no processo de busca, sendo a primeira etapa apresentada no fluxograma abaixo, Figura 2.

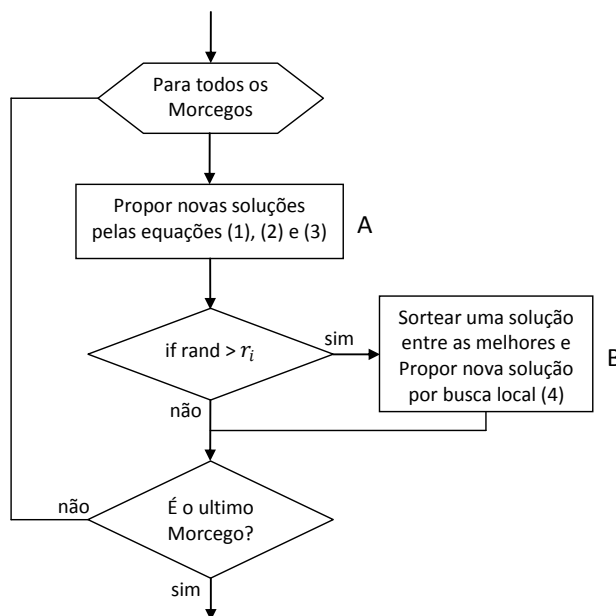


Figura 2 - Fluxograma - Etapa 1.

A frequência de cada morcego, a cada iteração, está compreendida entre f_{min} e f_{max} , sendo que $\beta \in [0,1]$ é um escalar aleatório proveniente de uma distribuição normal. A nova frequência, velocidade e posição no espaço são atualizadas de acordo com as seguintes equações:

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})\beta \quad (1)$$

$$\mathbf{v}_i^t = \mathbf{v}_i^{t-1} + (\mathbf{x}_* - \mathbf{x}_i^{t-1})f_i \quad (2)$$

$$\mathbf{x}_i^t = \mathbf{x}_i^{t-1} + \mathbf{v}_i^t \quad (3)$$

Após a atualização dos parâmetros frequência, velocidade e posição, devem-se verificar as taxas de emissão de pulso emitidas por cada morcego. Essa verificação é feita comparando a taxa de emissão r_i com um ruído aleatório, função randômica (rand). Caso o ruído aleatório seja maior do que a taxa de emissão do pulso (r_i), significa que provavelmente o morcego-i (solução-i) está distante de sua presa (melhor solução). Assim sendo, executa-se uma busca local. Ou seja, sorteia-se uma solução entre as melhores e através de um pequeno deslocamento gera-se uma nova solução para o morcego-i, isto é:

$$\mathbf{x}_{novo} = \mathbf{x}_{velho} + \epsilon A^t \quad (4)$$

Onde $\epsilon \in [-1,1]$ é um escalar aleatório e A^t é a média dos volumes de todos morcegos na iteração t .

Com as novas soluções obtidas na Etapa 1, parte-se para a Etapa 2, Figura 3. Inicialmente, verifica-se a ocorrência ou não de violações nos limites das novas soluções obtidas. Caso existam, estas são corrigidas, sendo as mesmas colocadas novamente dentro de seus limites superiores ou inferiores. A seguir duas condições devem ser analisadas: (i) verificar se a nova solução é melhor do que a solução anterior; (ii) comparar o volume do pulso com uma função randômica (rand). Caso o volume randômico seja menor do que o volume do pulso (A_i) significa que, provavelmente, o morcego-i (solução-i) está perto de sua presa (melhor solução). Caso estas duas condições sejam verdadeiras, aceitam-se as novas soluções e são atualizadas as taxas de emissão e volumes.

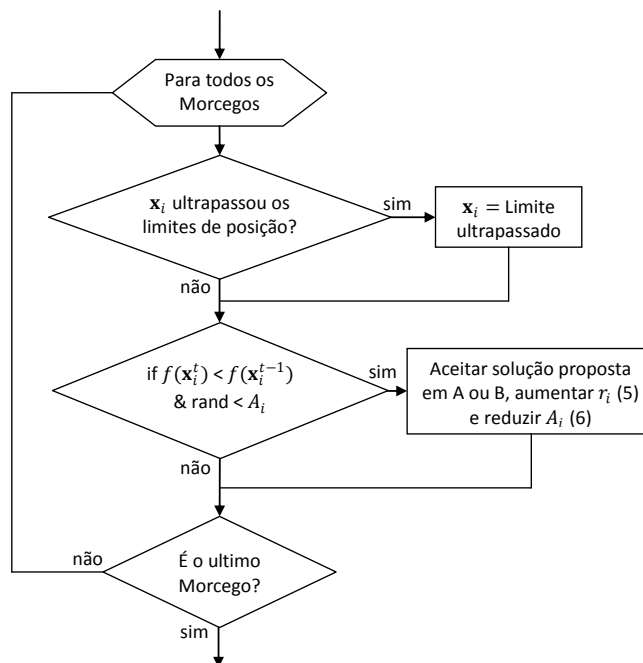


Figura 3 - Fluxograma - Etapa 2.

As taxas de emissão (r_i) e os volumes dos pulsos (A_i) são atualizados no decorrer do processo iterativo. Conforme o morcego se aproxima de sua presa, há um aumento da taxa de emissão de pulso e uma redução do volume do pulso emitido, sendo dadas pelas equações:

$$r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma t)], \quad (5)$$

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t, \quad (6)$$

Onde α e γ são constantes positivas pertencentes aos intervalos $0 < \alpha < 1$ e $\gamma > 1$. Deste modo quanto t tende ao infinito, A_i tende a zero e r_i tende a r_i^0 .

Diante das descrições do algoritmo básico, foi proposta uma etapa adicional, após a verificação da ocorrência ou não de violações das novas soluções. Esta nova etapa consiste na elaboração de um conjunto de soluções contendo os piores indivíduos (morcegos) durante cada iteração do processo de busca. Desta forma, é dada a um percentual dos piores indivíduos a possibilidade de se deslocarem aleatoriamente para novas posições, independente da posição que se encontravam e dos volumes dos pulsos emitidos. Através desse procedimento pôde-se observar uma distribuição mais abrangente de indivíduos por toda a região de solução, fazendo com que a eficiência do processo de busca seja maior (Coelho, F. C. R. *et al.*, 2012).

2.2 Modelagem Matemática do Problema

As perdas reais do sistema são calculadas segundo a equação (7) (Olamaie J, Niknam, T., 2006).

$$P_r = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n A_{ij}(P_i P_j + Q_i Q_j) + B_{ij}(Q_i P_j - P_i Q_j)$$

$$A_{ij} = \frac{R_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)}{V_i V_j} \quad (7)$$

$$B_{ij} = \frac{R_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)}{V_i V_j}$$

Onde P_r representa as perdas reais, P_i e Q_i são injeções de potência ativa e reativa na barra i , respectivamente, R_{ij} é a resistência de linha entre as barras i e j , V_i e δ_i são tensão e ângulo na barra i , respectivamente e n é o numero total de barras no sistema.

O FPO busca os melhores valores das variáveis P_i , Q_i , V_i e δ_i para que as perdas reais sejam mínimas. Segue a formulação do problema de otimização.

$$\text{Min } P_r \quad (8)$$

Sujeito a:

$$CH_i \cdot P_{GD_i} + P_{G_i} - P_{D_i} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{P_{ij}} = 0 \quad (8.1)$$

$$CH_i \cdot Q_{GD_i} + Q_{G_i} - Q_{D_i} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{Q_{ij}} = 0 \quad (8.2)$$

$$CH_i = 0 \text{ ou } 1 \quad (8.3)$$

$$P_{GD_i}^{min} \leq P_{GD_i} \leq P_{GD_i}^{max} \quad (8.4)$$

$$Q_{GD_i}^{min} \leq Q_{GD_i} \leq Q_{GD_i}^{max} \quad (8.5)$$

$$Z^{min} \leq Z \leq Z^{max} \quad (8.6)$$

Em (8) está definida a função objetivo do problema, pela qual qualquer solução proposta é avaliada. As restrições (8.1) e (8.2) são equações de balanço de potência nas barras. Com i significando a barra, a variável CH_i representa uma chave que liga ou desliga a GD (8.3), P_{GD_i} é a potência ativa injetada na rede pela GD, P_{G_i} é a potencia ativa gerada, P_{D_i} a demanda de potência ativa, $f_{P_{ij}}$ o fluxo de potência ativa entre as barras i e j , Q_{GD_i} é a potência reativa injetada ou consumida pela GD, Q_{G_i} é a potência reativa gerada, Q_{D_i} a demanda de potência reativa e $f_{Q_{ij}}$ representa o fluxo de potência reativa entre as barras i e j . Os intervalos nos quais as variáveis do problema podem assumir valores factíveis (8.4), (8.5) e (8.6) são mostrados pelos limites inferiores e superiores $P_{GD_i}^{min}$, $P_{GD_i}^{max}$, $Q_{GD_i}^{min}$, $Q_{GD_i}^{max}$, Z^{min} e Z^{max} , sendo que Z é um vetor genérico com outras variáveis contidas no FPO.

É importante deixar claro que os valores P_{GD_i} e Q_{GD_i} são contínuos e determinados pelo FPO, enquanto CH_i é binário e determinado pela metaheurística inspirada na ecolocalização de morcegos.

3. Estudo de Caso

Para avaliação da metodologia proposta foram considerados dois sistemas radiais de distribuição de energia elétrica difundidos na literatura especializada. Nas simulações aqui realizadas o objetivo é a minimização das perdas técnicas no sistema de distribuição de energia através da alocação e do dimensionamento ótimo de unidades distribuídas de geração, sendo estas gerações ativas e/ou reativas. Para tanto, a metodologia proposta faz uso da otimização bioinspirada na ecolocalização para a determinação da alocação ótima dos geradores distribuídos e de um fluxo de potência ótimo no dimensionamento do despacho de potência ativa e/ou reativa.

Foram considerados 50 indivíduos (morcegos) e convergência em 50 iterações, correspondendo assim aos valores praticados no Enxame de Partículas do trabalho (Dias, B. H., 2012), que é utilizado para comparação na seção 3.2. Os resultados serão apresentados em forma de gráficos e tabelas, nas quais se encontram comparações entre os resultados obtidos pela metodologia proposta e outras publicações encontradas na literatura.

3.1 Sistema de Distribuição com 33 Barras

O primeiro sistema teste em estudo possui 33 barras, sendo o mesmo detalhado em (Kashem, M. A., *et al.*, 2000). A simulação inicial deste sistema, sem a inserção das GDs, revela perdas técnicas da ordem de 210.84 kW. Para este sistema foram realizadas comparações entre a metodologia proposta e os resultados publicados em (Hussain, I., Roy, A.K., 2012), que realiza um estudo considerando a inserção de até quatro unidades distribuídas de geração injetando somente potência ativa na rede elétrica. Os resultados são apresentados na Tabela 1, onde se têm: (i) O número máximo de GDs que podem ser alocadas no sistema de distribuição; (ii) as informações das barras onde foram alocadas as GDs; (iii) as potências ativas despachadas por cada GD; (iv) As perdas técnicas após a inserção das gerações distribuídas; (v) A redução percentual das perdas técnicas em relação ao sistema original, ou seja, sem a alocação das GDs.

Tabela 1 - Alocação de Potência Ativa no sistema de 33 barras.

1 GD	Barra	Potência (kW)	Perdas (kW)	Redução das Perdas (%)
Proposto	5	2590	111.03	47.34
(Hussain, I., 2012)	6	2590	110.89	47.40
2 GDs	Barras	Potência (kW)	Perdas (kW)	Redução das Perdas (%)
Proposto	12/ 29	851.5/ 1157.6	87.17	58.66
(Hussain, I., 2012)	6/ 14	1902.3/ 646.9	91.29	56.70
3 GDs	Barras	Potência (kW)	Perdas (kW)	Redução das Perdas (%)
Proposto	12/ 23/ 29	801.7/ 1091.3/ 1053.6	72.79	65.48
(Hussain, I., 2012)	6/ 14/ 31	1667.0/ 736.1/ 890.4	78.00	63.01
4 GDs	Barras	Potência (kW)	Perdas (kW)	Redução das Perdas (%)
Proposto	5/ 13/ 23/ 30	926.3/646.8/ 967.2/686.3	67.63	67.92
(Hussain, I., 2012)	6/ 14/ 24/ 31	797.3/646.9/ 782.4/818.8	69.55	67.01

A análise da Tabela 1 indica que o método proposto se apresenta competitivo em relação ao trabalho de (Hussain, I., 2012). Percebe-se que, com exceção do primeiro caso, a metodologia proposta foi mais eficiente, encontrando soluções (alocação/despacho) com valores inferiores de perdas técnicas para o sistema de distribuição em estudo.

A Figura 4 apresenta o gráfico com a trajetória de convergência da metodologia proposta para o caso em que é permitida a alocação de até quatro geradores distribuídos. Percebe-se que a obtenção da melhor solução ocorre na décima quinta iteração.

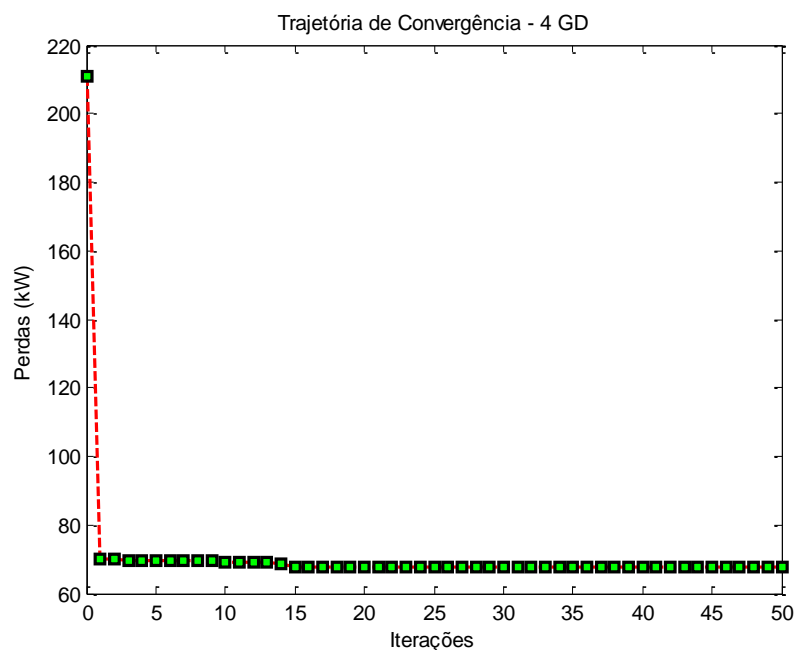


Figura 4 – Trajetória de Convergência - 4 GDs no sistema de 33 barras.

3.2 Sistema de Distribuição com 69 Barras

O sistema aqui em análise pode ser encontrado em (Baran, M. E., Wu, F. F., 1989) e possui perdas técnicas na ordem de 225.003 kW. Para este sistema foram realizados estudos considerando a inserção de uma até três unidades distribuídas de geração e as seguintes situações: (i) Alocação de somente potência ativa; (ii) Alocação de apenas potência reativa; (iii) alocação de potência ativa e reativa. Para este sistema foram realizadas comparações entre a metodologia proposta e os resultados publicados em (Abu-Mouti, 2011) e (Dias, B. H., 2012).

Os resultados, para a situação (i), são apresentados na Tabela 2, onde se têm: (i) O número máximo de GDs que podem ser alocadas no sistema de distribuição; (ii) as informações das barras onde foram alocadas as GDs; (iii) as potências ativas despachadas por cada GD; (iv) As perdas técnicas após a inserção das gerações distribuídas; (v) A redução percentual das perdas técnicas em relação ao sistema original, ou seja, sem a alocação das GDs.

Tabela 2 – Situação 1: Alocação de Potência Ativa.

1 GD	Barra	Potência (kW)	Perdas (kW)	Redução das Perdas (%)
Proposto	61	1872.7	83.22	63.01
(Dias, B. H., 2012)	61	1872.7	83.22	63.01
(Abu-Mouti, 2011)	56	1807.4	84.98	62.23
2 GDs	Barras	Potência (kW)	Perdas (kW)	Redução das Perdas (%)
Proposto	17/ 61	531.5/ 1781.5	71.68	68.14
(Dias, B. H., 2012)	17/ 61	531.5/ 1781.5	71.68	68.14
(Abu-Mouti, 2011)	56/ 53	1724.1/ 519.4	73.19	67.47
3 GDs	Barras	Potência (kW)	Perdas (kW)	Redução das Perdas (%)
Proposto	11/ 18/ 61	526.8/ 380.4/ 1719	69.43	69.14
(Dias, B. H., 2012)	11/ 18/ 61	526.8/ 380.4/ 1719	69.43	69.14
(Abu-Mouti, 2011)	56/ 55/ 33	1666.7/ 376/ 508.4	70.88	68.50

Diante dos resultados apresentados, Tabela 2, verifica-se que a metodologia proposta mostra-se novamente competitiva, encontrando resultados melhores que os publicados em (Abu-Mouti, 2011) e resultados idênticos aos encontrados em (Dias, B. H. *et al.*, 2012). Destaca-se a importância da determinação da alocação ótima dos geradores distribuídos, uma vez que há grande divergência entre as barras escolhidas em (Abu-Mouti, 2011) e a metodologia proposta e (Dias, B. H., 2012).

Os resultados, para a situação (ii), são apresentados na Tabela 3. Percebe-se que somente a injeção de potência reativa produz uma redução menor nas perdas técnicas em relação à injeção de potência ativa, como pode ser observado comparando as Tabelas 2 e 3. A metodologia proposta, novamente, apresentou resultados idênticos aos encontrados em (Dias, B. H. *et al.*, 2012) e um nível menor de perdas em relação ao trabalho de (Abu-Mouti, 2011).

Tabela 3 – Situação 2: Alocação de Potência Reativa.

1 GD	Barra	Potência (kVar)	Perdas (kW)	Redução das Perdas (%)
Proposto	61	1330	152	32.45
(Dias, B. H., 2012)	61	1330	152	32.45
(Abu-Mouti, 2011)	56	1326.6	155.29	30.98
2 GDs	Barras	Potência (kVar)	Perdas (kW)	Redução das Perdas (%)
Proposto	17/ 61	361.1 / 1275	146.44	34.91
(Dias, B. H., 2012)	17/ 61	361.1 / 1275	146.44	34.91
(Abu-Mouti, 2011)	53/ 56	367.9/ 1247.8	149.63	33.50
3 GDs	Barras	Potência (kVar)	Perdas (kW)	Redução das Perdas (%)
Proposto	11/ 21/ 61	413.1/ 230.6/ 1232.4	145.12	35.50
(Dias, B. H., 2012)	11/ 21/ 61	413.1/ 230.6/ 1232.4	145.12	35.50
(Abu-Mouti, 2011)	56/ 61/ 33	1202.5/ 233.2/ 303.7	148.31	34.08

Os resultados, para a situação (iii), são apresentados na Tabela 4. Para este estudo, a literatura só faz referência a possibilidade da inserção de uma única GD no sistema de distribuição em análise. Desta forma, partiu-se para o uso da técnica de otimização proposta em (Dias, B. H. *et al.*, 2012), *Hybrid Heuristic*, a fim de possibilitar a análise da inserção de até seis GDs no sistema de distribuição. Destaca-se que para esta análise, ambas as metodologias partiram da mesma condição inicial, possibilitando uma comparação mais correta entre as metodologias.

Tabela 4 – Situação 3: Alocação de Potência Ativa e Reativa.

1 GD	Barra	Potência (kW)	Potência (kVar)	Perdas (kW)	Redução das Perdas (%)
Proposto	61	1828.7	1300.6	23.17	89.70
(Dias, B. H., 2012)	61	1828.7	1300.6	23.17	89.70
(Abu-Mouti, 2011)	61	1870	1159	23.92	89.34
6 GDs	Barras	Potência (kW)	Potência (kVar)	Perdas (kW)	Redução das Perdas (%)
Proposto	12/22/49/ 61/64/66	303.5/311.2/790.2/ 1387.1/289.3/234.9	213.7/206.7/564.2/ 991/ 206.4/ 168	1.014	99.55
<i>Hybrid Heuristic</i>	12/21/50/ 51/61/65	384.6/312.3/717.9/ 293.9/ 1487.9/168	273.3/205.8/513.2/ 211.1/1062.5/119.5	1.078	99.52

Fazendo uma análise dos resultados apresentados, Tabela 4, pode-se verificar que, matematicamente, a metodologia proposta mostrou-se um pouco mais eficiente que a técnica de otimização utilizada em (Dias, B. H., 2012), não só pela pequena diferença obtida, mas pelo fato de que em média a solução ótima, pela metodologia proposta, foi obtida na 26ª iteração enquanto que a utilizada em (Dias, B. H., 2012) na 36ª iteração, vide Figuras 5 e 6, respectivamente.

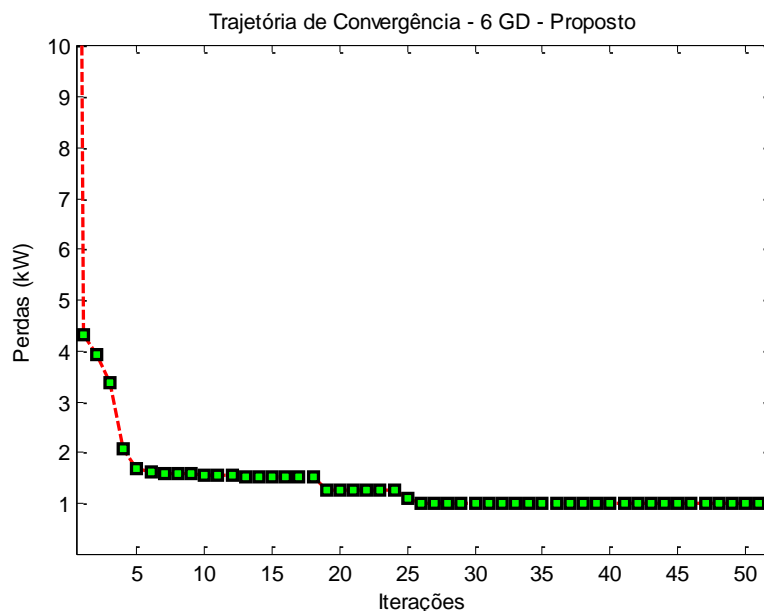


Figura 5 –Convergência proposto - 6 GDs no sistema de 69 barras.

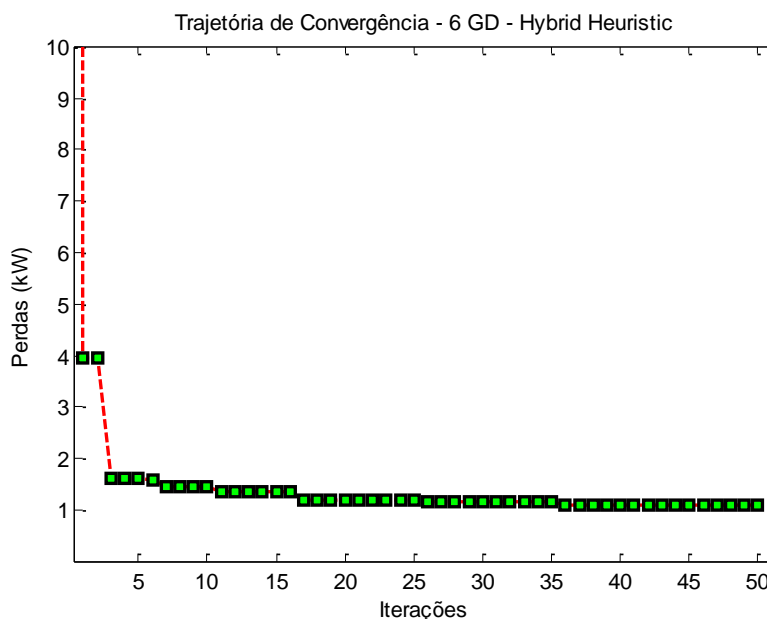


Figura 6 – Convergência Hybrid Heuristic - 6 GDs no sistema de 69 barras.

4. Conclusões

O presente artigo propõe a utilização da técnica de otimização bioinspirada na ecolocalização de morcegos, técnica ainda pouco utilizada em problemas de otimização na área de energia, na alocação e dimensionamento ótimos de Geração Distribuída em

sistemas radiais de distribuição de energia elétrica visando à redução das perdas técnicas, grande preocupação para a maioria das distribuidoras.

O problema em estudo é classificado como um problema de programação não linear inteira mista e, portanto, de difícil solução. Esta dificuldade aumenta com o número de GDs que podem ser instaladas no sistema de distribuição de energia elétrica, uma vez que há uma explosão combinatória referente às opções de decisão de alocação. Diante destas características surgiu a motivação de aplicar a técnica de otimização bioinspirada na ecolocalização de morcegos.

Diante dos resultados obtidos pode-se afirmar que a metodologia proposta mostra-se competitiva em relação às técnicas recentemente divulgadas na literatura e empregadas na resolução do problema em estudo, apresentando configurações de alocação e despacho que ocasionam reduções significativas das perdas técnicas inerentes aos sistemas de distribuição. Entretanto, assim como a maioria das técnicas de busca inteligente, o tempo computacional ainda é elevado. Desta forma, conciliar soluções de qualidade e tempo computacional reduzido é um campo atrativo de pesquisa e desenvolvimento.

Referências

- Malfa, E.**, *ABB on Sustainable Energy Markets*, Università di Brescia, 2002.
- Dias, M. V. X., Borotni, E. C. e Hadadd, J.**, *Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras*, Revista Brasileira de Energia, Vol. 11, Nº 2, 2005.
- Lora, E. E. S., Haddad, J.**, *Geração Distribuída: Aspectos Tecnológicos, Ambientais e Institucionais*, Interciência, Rio de Janeiro, 2006.
- Hinrichs, R. A., Kleinbach, M.**, *Energia e Meio Ambiente*, Editora Thomson, São Paulo, 2003.
- Public Utility Commission of Texas**, *Distributed Generation Interconnection Manual*, Março, 2001.
- Bortoni, E. C.**, *Interligação de Autoprodutores e Produtores de Energia ao Sistema Elétrico*, 2002.
- Yang, X.-S.**, *A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm*, Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization, Studies in Computational Intelligence, Springer Berlin, 284, Springer, 65-74, 2010.
- Coelho, F. C. R., Silva Junior, I. C., Dias, B. H., Marcato, A. L. M.**, *Metaheurística inspirada na Ecolocalização de Morcegos: Aperfeiçoamento e Estudo de Casos*, XLIV SBPO, Rio de Janeiro, Setembro, 2012.
- Dias, B. H., Oliveira, L. W., Gomes, F. V., Silva, I. C., Oliveira, E. J.**, *Hybrid Heuristic Optimization Approach for Optimal Distributed Generation Placement and Sizing*, IEEE General Meeting, 2012.
- Olamaie J., Niknam, T.**, *Daily Volt/Var control in distribution networks with regard to DGs: a comparison of evolutionary methods*, in Proc. IEEE Power India Conference, pp.6, 2006.
- Baran, M. E., Wu, F. F.**, *Optimal capacitor placement on radial distribution systems*, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 4, no. 1, pp. 725-734, Jan. 1989.
- Abu-Mouti, F. S., El-Hawary, M. E.**, *Optimal DG placement for minimizing power loss in distribution feeder systems using sensory deprived optimization algorithm*, in IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, pp. 205-209, 2011.
- Kashem, M. A., Ganapathy, V., Jasmon, G. B., Buhari, M. I.**, *A Novel Method for Loss Minimization in Distribution Networks*, IEEE International Power Technologies, Conference on Electric Utility deregulation, London, April 2000.
- Hussain, I., Roy, A.K.**, *Optimal Size and Location of Distributed Generations using Differential Evolution (DE)*, CISP - Computational Intelligence and Signal Processing, 2012.