



RECONFIGURAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO USANDO OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS SELETIVO COM VISTAS MINIMIZAÇÃO DAS PERDAS

Paulo H. A. Silva e Silva*, Marcelo E. Oliveira, Ghunter P. Viajante, Matheus B. S. Pinto e Hugo X. Rocha
Instituto Federal de Goiás- Departamento de áreas acadêmicas- NuPSE - Núcleo de Pesquisa em Sistemas de Energia.

Resumo - As perdas de energia por efeito Joule configuram um dos maiores problemas enfrentados pelos setores de energia. O impacto causado por estas perdas proporcionam desequilíbrio da qualidade energética ofertada às cargas ao longo do alimentador. Com o avanço tecnológico e a tendência dos sistemas elétricos operarem de forma autônoma, estes problemas têm sido tratados com técnicas de controle e mecanismos computacionais capazes de alterar a dinâmica da rede, possibilitando melhor desempenho e rendimento dos sistemas elétricos de potência. Nesse sentido, o presente trabalho apresenta uma proposta para mudança do estado da rede através da busca pela melhor configuração das chaves para um sistema de distribuição com vistas a minimização das perdas. Para tanto, foi utilizada a técnica meta-heurística de otimização por enxame de partículas seletivo (SPSO) em um sistema teste de 33 barras padrão IEEE. Por fim, serão avaliados o perfil dos níveis de tensão e redução das perdas do sistema reconfigurado em relação ao sistema teste original.

Palavras-Chave- Indicadores da rede, minimização das perdas, sistema de distribuição, otimização por enxame de partículas seletivo, perfil da rede, reconfiguração das chaves.

RECONFIGURATION OF DISTRIBUTION NETWORKS USING SELECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION WITH VIEWS MINIMIZATION OF LOSSES

Abstract - The energy losses through the Joule heating are one of the biggest problems faced by the energy sectors. The impact caused by these losses generates disequilibrium on the energetic quality offered to the loads throughout the feeder. With the technologic advance and the tendency of the electric systems operating autonomously, these problems are correct with control technics and computational mechanisms capable of altering the network's operation, enabling better performance and yield on the electric power systems. In that sense, this project proposes a state alteration on the network focusing on the best configurations of the switches that decreases the losses in a

distribution system. Therefore, was used the Selective Particle Swarm Optimization (SPSO) - a metaheuristic technic - in an IEEE 33 node test system. Finally, is evaluated the voltage levels and the losses reduction, comparing the reconfigured system with the original.

Keywords - Distribution system, loss minimization, network indicators, network profile, selective particle swarm optimization, switch reconfiguration.

I. INTRODUÇÃO

Tendo em vista a crescente demanda de energia elétrica e a intermitência das fontes primárias de energia, a matriz energética mundial reformula-se constantemente, sobretudo, pela busca da geração energética limpa e renovável [1]. Sob essa perspectiva, as fontes geradoras descentralizadas de energia disseminam e consolidam-se no setor elétrico de distribuição, diversificando a forma de produzir energia com vistas atendimento da demanda e sustentabilidade.

Neste segmento energético, um dos maiores problemas está relacionado às perdas elétricas técnicas e desequilíbrio dos níveis de tensão. Este fato ganha maiores proporções com o aumento da demanda de energia pelos consumidores, mal dimensionamento das conexões do sistema, furtos de energia e, sobretudo, pela elevada relação R/X em sistemas de distribuição radiais [1-2]. Frente a este cenário, a inserção de bancos capacitivos, alocação de barras geradoras e reconfiguração da rede são propostas como alternativas para melhoria dos índices da rede [2].

Decorrente disso, a operação dos sistemas têm se tornado, gradualmente, automatizadas e relacionadas a estudos e técnicas computacionais, estas são desenvolvidas e aprimoradas para viabilizar aplicação de técnicas de controle em sistemas de elétricos com objetivo de melhorar a qualidade da energia ofertada às cargas.

Nesse sentido, em [3] é apresentada uma solução para redução das perdas elétricas nas linhas usando um algoritmo genético (GA) a fim de determinar a configuração das chaves no sistema de distribuição. Em [4] um algoritmo baseado nas regras heurísticas e a abordagem multifacetada *fuzzy* é proposto

*paulo.ifg21@gmail.com

com objetivo de otimizar a configuração da rede e controle dos níveis de tensão. Em [5] acrescenta-se à aplicação das técnicas de controle em relação a [3] e [4]. Nesta abordagem, propõe um algoritmo genético refinado (AGR) para reduzir as perdas no sistema de distribuição com refinamento dos métodos de operação *crossover* e mutação por um mecanismo de concorrência. Com a perspectiva dos sistemas de energia tornarem-se cada vez mais inteligentes, através da automatização da rede com aplicação de técnicas de controle, este trabalho tem objetivo de determinar a configuração das chaves da rede de distribuição que possibilite redução das perdas por efeito Joule, aplicando técnicas de meta-heurística como a técnica de otimização por enxame de partículas seletivo (SPSO), haja vista os limites de tensão e carregamento nas linhas.

A avaliação das configurações determinadas pelo SPSO é obtida através do cálculo do fluxo de carga, a partir do método *Back-Forward Sweep*. O algoritmo SPSO torna-se eficaz aos problemas de reconfiguração devido a facilidade de implementação, tempo para solução de problemas e robustez [6].

O trabalho está organizado como segue: Seção II aborda a método utilizado para o cálculo do fluxo de potência e define as restrições a serem consideradas para implementação do algoritmo e método utilizado para a cálculo do fluxo de carga. Seção III apresenta a técnica de otimização por enxame de partículas (PSO) e suas variáveis. Seção IV justifica a utilização da aplicação do SPSO em sistemas elétricos. Seção V valida a abordagem realizada com apresentação do sistema teste utilizado e apresenta a qualidade dos resultados obtidos. Seção VI tira conclusões a cerca do sistema de distribuição com 33 barras padrão IEEE após a reconfiguração das chaves do sistema.

II. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

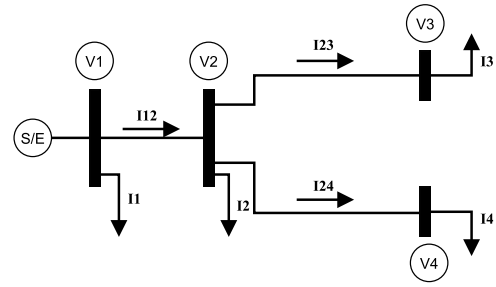
Os sistemas de distribuição operam de forma radial, porém são construtivamente malhados, no entanto o fluxo de carga unidirecional é garantido através da manipulação das chaves da rede. A mudança do estado das chaves da rede normalmente aberta (NA) ou normalmente fechada (NF) tipificam uma nova configuração da rede, alterando, portanto, os níveis de tensão e a quantidade de energia dissipada por efeito Joule. A reconfiguração da rede por meio das chaves é realizada, sobretudo, para otimizar os indicadores da rede como estabilidade da tensão nos barramentos e perdas elétricas [7].

Dessa forma, a utilização de técnicas computacionais para verificação dos índices da rede justificam-se pela rapidez e determinação de soluções para melhoria da rede. Nesta abordagem, o método utilizado para realização do fluxo de carga avalia soluções ou configuração das chaves da rede que possibilitem redução das perdas.

A. Fluxo de carga via *Back-Forward Sweep*

A técnica adotada para o cálculo do fluxo de carga foi o *Back-Forward Sweep* [1]. Neste método, o cálculo do fluxo de carga é realizado a partir das cargas em direção a subestação e, por conseguinte, a magnitude dos ângulos e tensões nas barras são recalculados iterativamente. A figura 1 representa um sistema de quatro barras, a fim de exemplificar a metodologia utilizada.

Figura 1: Sistema de 4 barras.



As etapas utilizadas para implementação desta técnica é apresentada a seguir:

- 1) *Arbitrar as tensões dos nós* $V_k, k = 1, \dots, 4$:
- 2) *Determinar as correntes dos nós, utilizando a equação 1:*

$$I_k = \left(\frac{S_k}{V_k} \right)^* - Y_k^{sh} \cdot V_k, \quad (1)$$

em que Y_k^{sh} representa a admitância conectada na barra.

- 3) *Realizar o processo Backward Sweep. Nesta etapa as correntes dos ramos e nós são calculados a partir das cargas em direção ao alimentador, utilizando a equação 2:*

$$I_{km} = I_m + \sum_{j \in F_m} I_{mj} \quad (2)$$

Onde que F_m é o conjunto das barras alimentadas pela barra m . Assim, a corrente do nó é apresentada na equação 3:

$$I_{12} = I_2 + I_{23} + I_{24} \quad (3)$$

- 4) *Realizar o processo Forward Sweep. Nesta etapa as tensões nas barras são recalculadas a partir do alimentador em direção as cargas:*

A tensão em cada barra m em relação a barra k e a queda de tensão é definida pela equação 4:

$$V_m = V_k - Z_{km} \cdot I_{km}, \quad (4)$$

Dessa forma, a tensão das barras são definidas pelas equações representadas pela expressão 5 :

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 - Z_{12} \cdot I_{12} \\ V_3 &= V_2 - Z_{23} \cdot I_{23} \\ V_4 &= V_2 - Z_{24} \cdot I_{24} \end{aligned} \quad (5)$$

A técnica computacional *Back-Forward Sweep* avalia a magnitude das perdas elétricas de cada configuração da rede indicado pelo SPSO. O *Back-Forward Sweep* foi escolhido para realizar o cálculo do fluxo de carga devido facilidade de implementação e rapidez na convergência.

B. Restrições operacionais

Para realização deste trabalho foram adotadas as seguintes restrições:

- Limite de carregamento da linha:

A corrente em cada linha deve ser limitada pela capacidade máxima de carregamento como é apresentado na equação 6:

$$I_L \leq I_{Lmax} \quad (6)$$

Em que I_L é a corrente em cada linha e deve ser menor que limite máximo suportado.

- Estabilidade da tensão:

O nível de tensão nos barramentos devem atender requisitos de operação como é adotado em [7], sendo os limites de 7% para subtensão e 5% para sobretensão. Esta consideração é descrita na equação 7:

$$V_{min} \leq |Vk| \leq V_{max} \quad (7)$$

Em que Vk é a tensão em cada barra do sistema e deve atender os limites operacionais de [7].

- Radialidade:

A verificação da radialidade pode ser obtida através dos valores de barras do sistema e a quantidade de linhas deste como é apresentado na equação 8:

$$N_L = N_B - 1, \quad (8)$$

Onde N_L representa o número de linhas e N_B o número de barras do sistema. Além disso, as equações 9 e 10 são úteis para determinação da radialidade do sistema como se apresenta em 9.

$$\text{Det}(A) = 1 \text{ ou } -1 \text{ (Sistema radial)} \quad (9)$$

$$\text{Det}(A) = 0 \text{ (Sistema não radial),} \quad (10)$$

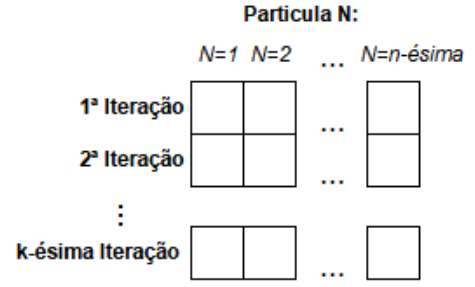
onde A é a matriz incidência do sistema.

III. OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS

A otimização por enxame de partículas (PSO) é uma técnica meta-heurística que consiste na auto-organização social de indivíduos em busca da solução inteligente de problemas complexos. Este algoritmo foi proposto por [8] a fim de descrever o comportamento social de peixes e pássaros. Cada partícula do sistema representa uma solução para realização do objetivo. As partículas são representadas como pontos no espaço, estas interagem entre si com objetivo de tornar conhecida a melhor partícula e manter-la no ambiente. Estas possuem velocidade e posição, representadas, respectivamente, por $V_i = [v_{i1}, v_{i2} \dots v_{id}]$ e $X_i = [x_{i1}, x_{i2} \dots x_{id}]$ em que representa a d -ésima partícula. A taxa de mutação da velocidade que cada partícula se modifica no espaço é controlada pela função peso ou inércia.

A melhor posição representa a melhor partícula local, que será armazenada em $P_{besti} = [P_{bi1}, P_{bi2} \dots P_{bid}]$. A solução do PSO consiste em localizar a melhor partícula local de cada iteração (P_{besti}) e pode ser representada através da $G_{best} = [G_{b1}, G_{b2} \dots G_{bd}]$. A Figura 2 exemplifica o comportamento das partículas em relação as iterações do algoritmo.

Figura 2: Representação do funcionamento do algoritmo PSO.



Os blocos presentes na Figura 2 representam as n -partículas de dimensão Dn para k -iteraões. A dimensão de cada bloco ou partícula representa a busca por espaços, para problemas contínuos a dimensão da partícula é unitária, enquanto os discretos possuem Dn -buscas por espaços. Ainda neste sentido, a melhor partícula da 1ª iteração será a melhor local, enquanto a melhor partícula global será representada através da melhor partícula local ao longo de k -iteraões [8]. O modelo matemático para realização do cálculo da velocidade, coeficiente de inércia e posição são apresentados nas equações 11, 12 e 13:

$$v_i^{k+1} = v + C_1 \cdot r_1 + (P_{besti} - x_i^k) + v_i^{k+1} + C_2 \cdot r_2 \cdot (G_{besti} - x_i^k) \quad (11)$$

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{Iter_{max}} Iter_{max} \quad (12)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (13)$$

Onde:

- w - Função peso.
- w_{max} - Coeficiente de inércia máximo.
- w_{min} - Coeficiente de inércia mínimo.
- $C_{1,2}$ - Coeficiente de aceleração.
- $Iter_{max}$ - Quantidade de iteraões.
- $r_{1,2}$ - Constantes aleatórias com intervalo de [0-1].

A. PSO binário- BPSO

O algoritmo PSO até então foi representado em espaços contínuos, nestas situações a trajetória de partícula é alterada a partir da mudança da velocidade. A adaptação proposta em [9] diz respeito a uso do PSO clássico para modelo binário, limitando a articulação das partículas através de variáveis discretas. A estrutura do PSO é mantida, mas a trajetória, neste caso, representa a mudança da probabilidade que uma coordenada pode assumir 0 ou 1. Dessa forma, para elevados valores de probabilidade aumentam a chance dos elementos da partícula assumirem valor 1, a afirmação oposta também se aplica. Para esta mudança, utilizou-se a função sigmoide descrita em 14, resultando a expressão 15:

$$\text{sig}(v_i^{k+1}) = \frac{1}{1 + e^{-v_i^{k+1}}} \quad (14)$$

$$x_{id}^{k+1} = \begin{cases} 1 & \text{rand} < \text{sig}(v_{id}^{k+1}) \\ 0 & \text{se caso contrário} \end{cases} \quad (15)$$

B. PSO seletivo- SPSO

O SPSO representa a trajetória percorrida pela partícula em seus espaços de busca [10]. Nesta técnica, a contribuição realizada em relação a mudança proposta por [9] no PSO clássico relaciona partes de um sistema que compõem a solução, esta busca é realizada em cada dimensão D_n da partícula e o espaço por busca é representado por $S_d = [S_{d1}, S_{d2} \dots S_{dn}]$. As equações 14 e 15 são modificadas para representar o SPSO, o resultado disto é apresentado nas equações 16 e 17 :

$$\text{sig}(v_i^{k+1}) = \frac{D_n}{1 + e^{-v_i^{k+1}}} \quad (16)$$

$$xid^{k+1} = \begin{cases} S_{d1} & \text{se } \text{sig}(v_{id}^{k+1}) < 1 \\ S_{d2} & \text{se } \text{sig}(v_{id}^{k+1}) < 2 \\ \vdots & \vdots \\ S_{dn} & \text{se } \text{sig}(v_{id}^{k+1}) < D_n \end{cases} \quad (17)$$

A velocidade da partícula para o SPSO deve ser garantida ao longo da busca por espaços. Dessa maneira, como apresentado no PSO clássico a velocidade da partícula estará sob limite da velocidade máxima e mínima que pode atuar [10]. A restrição para a velocidade das partículas é descrito na equação 18:

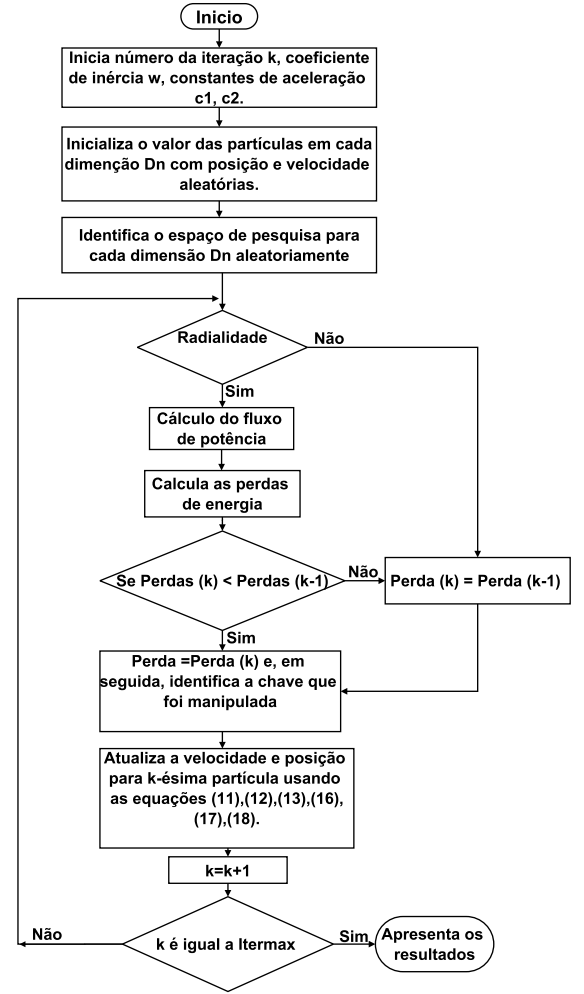
$$v_{id}^{k+1} = \begin{cases} V_{max} & \text{se } v_{id}^{k+1} > V_{max} \\ v_{id}^{k+1} & \text{se } v_{id}^{k+1} \leq V_{max} \\ V_{min} & \text{se } v_{id}^{k+1} < V_{min} \end{cases} \quad (18)$$

Dessa forma, o PSO seletivo se aplica a problemas discretos em que a solução para o problema seja resultado da busca por espaços, fragmentando problemas com objetivo de selecionar partículas que resultem melhor avaliação.

IV. RECONFIGURAÇÃO DE SISTEMAS DISTRIBUIÇÃO USANDO SPSO

A dimensão de cada partícula representa qual chave pode ser manipulada em cada busca por espaço. Nesse sentido, a partícula diz respeito as chaves NF e NA do sistema e as diferentes configurações de chaveamento da rede representam o conjunto de soluções candidatas a configuração que resulte a maior redução de perdas de energia em relação ao sistema original [10]. A configuração das chaves determinadas pelo SPSO é avaliada através da verificação do fluxo de carga e análise da radialidade do sistema obtido. As perdas elétricas resultantes de cada solução de cada reconfiguração da rede são armazenadas em cada avaliação e comparadas entre as demais soluções obtidas e este processo ocorre enquanto o critério de parada não for atendido [11]. Dessa forma, a reconfiguração que apresentar menores perdas elétricas nas linhas e níveis de tensão estáveis será considerada a solução para o problema. A figura 3 apresenta a estrutura de funcionamento da aplicação do SPSO para reconfiguração do estado da rede de distribuição:

Figura 3: Fluxograma do algoritmo PSO.



V. SIMULAÇÃO E RESULTADOS

Nesta seção a metodologia adotada para realização da simulação baseada em técnicas de SPSO é apresentada e, por conseguinte, os resultados obtidos são apresentados. Nesta abordagem foi utilizado o sistema teste de 33 barras, muito presente em problemas de reconfiguração. A simulação foi realizada em uma máquina com processador *Intel Core-I5*.

A. Sistema de 33 barras:

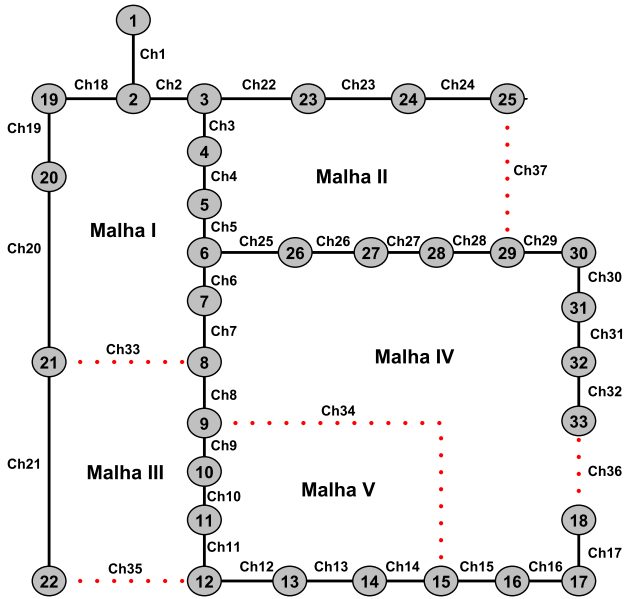
O sistema de distribuição analisado possui 33 barras com tensão nominal de 12.66 kV e potência de 100 MVA [10]. Para avaliação da configuração da rede que proporciona menores índices de perdas são levados em consideração os seguintes passos:

- Identificação das chaves a serem modificadas em cada malha.
- Os ramos que pertencem a mais de uma malha devem ser considerados apenas uma vez para cada iteração.
- Montagem da matriz de admitância para todas conexões possíveis.

- Identificação da quantidade e quais chaves manipuladas conforme a dimensão e posição da partícula, respectivamente.
- Modificação da matriz de admitância após a manipulação das chaves do sistema de distribuição.

As considerações realizadas para rede de distribuição são efetuadas para cada solução obtida. O sistema teste de 33-Barras considerado nesta abordagem é apresentado na figura 4:

Figura 4: Sistema teste 33-Barras.



As chaves $Ch=[33,34,35,36,37]$ foram inseridas no sistema original, resultando um sistema de distribuição malhado. A partir disso foram localizadas as chaves a serem manipuladas em cada malha. Esta procura representa a busca da solução por espaços. A busca por espaços a serem analisados somam 5, sendo a malha I o primeiro espaço, a malha II o segundo espaço e as demais malhas o restante da buscas por espaços restantes. Os espaços por busca encontrados foram:

- $S_1 = [Ch_{02}, Ch_{03}, Ch_{04}, Ch_{05}, Ch_{06}, Ch_{07}, Ch_{18}, Ch_{19}, Ch_{20}]$.
- $S_2 = [Ch_{22}, Ch_{23}, Ch_{24}, Ch_{25}, Ch_{26}, Ch_{27}, Ch_{28}, Ch_{37}]$.
- $S_3 = [Ch_{08}, Ch_{09}, Ch_{10}, Ch_{11}, Ch_{21}, Ch_{33}, Ch_{35}]$.
- $S_4 = [Ch_{15}, Ch_{16}, Ch_{17}, Ch_{29}, Ch_{30}, Ch_{31}, Ch_{32}, Ch_{36}]$.
- $S_5 = [Ch_{22}, Ch_{23}, Ch_{24}, Ch_{25}, Ch_{26}, Ch_{27}, Ch_{28}, Ch_{37}]$.

A partir disso, a chave deve ser manipulada para cada busca por espaço do sistema malhado e evitar a existência de barras sem conexão. Os parâmetros utilizados para implementação do SPSO são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros do PSO.

Parâmetros	Valores
Número de partículas	20
Número de iterações $Iter_{max}$	60
C_1	0.4
C_2	0.9
w_{max}	0.9
w_{min}	0.5
Dimensão da partícula	5

Os resultados obtidos mostraram redução categórica das

perdas nas linhas e melhoria nos níveis de tensão. Após a reconfiguração as chaves $Ch=[7,9,14,32$ e $37]$ foram abertas, resultando uma redução de 33,35% e a tensão mínima nas barras passou de 0.91 pu para 0.94 pu. O perfil de tensão obtido após a manipulação das chaves é apresentado na figura 5 e as perdas em relação a quantidade de iterações na figura 6.

Figura 5: Perfil da tensão no sistema 33-Barras.

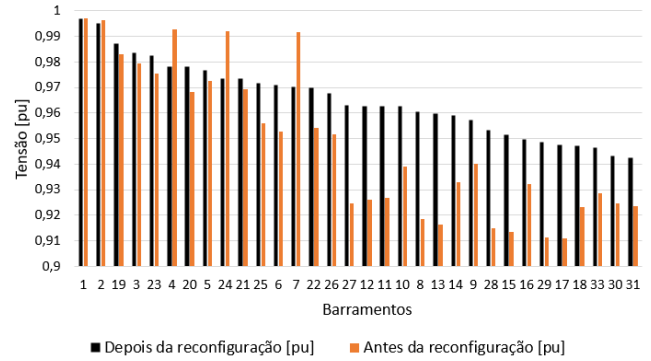
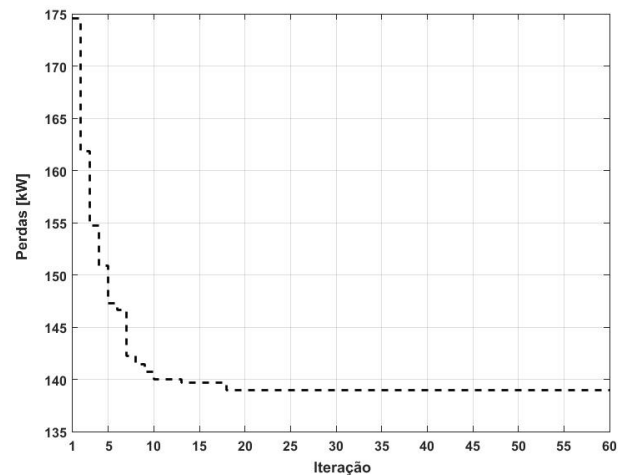


Figura 6: Perdas elétricas por iteração.



Os resultados obtidos apresentaram melhoria nas tensões mínimas dos barramentos e a convergência das perdas foram obtidas com menos de 20 iterações do SPSO. Dessa forma, a qualidade dos resultados obtidos é avaliada através de um comparativo entre o método adotado e os principais metodologias abordadas na literatura.

Neste sentido, os indicadores da rede e esforço computacional (tempo de simulação) serão analisados comparativamente antes e depois da reconfiguração do sistema conforme apresenta a Tabela 2.

A Tabela 2 representa a avaliação da metodologia adotada neste trabalho comparativamente com outras técnicas computacionais para reconfiguração de redes de distribuição. Como exposto, o SPSO apresentou melhores níveis de redução das perdas elétricas e índices de tensão em relação aos resultados apresentados em [11,12]. Além disso, menor tempo de simulação.

Tabela 2: Comparativos dos resultados para 33 barras.

		Configuração das chaves	Perdas (kW)	Tensão Min (pu)	Tempo (s)
Configuração inicial	SPSO	33-34-35-36-37	208,45	0,91	-
	BPSO [11]	33-34-35-36-37	208,45	0,91	-
	Jena[12]	33-34-35-36-37	202,68	0,91	-
Após a reconfiguração	SPSO	7-9-14-28-37	138,92	0,94	22,27
	BPSO [11]	7-9-14-28-32	141,67	0,93	23,07
	Jena[12]	7-9-14-28-37	138,93	0,93	22,68

VI. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado a reconfiguração de redes de um sistema de distribuição de 33 barras, utilizando a técnica SPSO e o *Back-Forward Sweep* para o cálculo do fluxo de potência para avaliação das soluções determinadas. Pode-se concluir que a técnica de otimização por enxame de partículas mostrou-se eficaz para aplicação da reconfiguração do estado da rede de distribuição, devido baixo esforço computacional e tempo de convergência se comparado a outros métodos computacionais aplicados como se apresenta a Tabela 2.

Além disso, a técnica utilizada neste trabalho apresentou soluções com melhores níveis de tensão e perdas elétricas se comparados aos valores obtidos em [11,12]. Portanto o SPSO mostrou-se eficaz aos problemas de reconfiguração de redes de distribuição devido implementação computacional simples e robustez.

REFERÊNCIAS

- [1] D. Shirmohanammadi and H. W. Hong, "Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line losses reduction," *IEEE Trans. Power Del.*, vol.4, No. 2, Apr. 1989, pp. 1492-1498.
- [2] A. Merlin and H. Back, "Search for a minimal-loss operating spanning tree configuration in an urban power distribution system," *Proc. 5 th Power Syst. Comput. Conf. (PSCC)*, Cambridge, UK, 1975, pp. 1-18.
- [3] K. Nara, A. Shiose, M. Kitagawa, and T. Ishihara, "Implementation of genetic algorithm for distribution systems loss minimum configuration," *IEEE Trans. Power Sys.* 7(1992), pp. 1044-1051.
- [4] K. Prasad, R. Ranjan, N. C. Sahoo, and A. Chaturvedi, "Optimal configuration of radial distribution systems using a fuzzy mutated genetic algorithm," *IEEE Trans. Power Del.*, 20(2005), pp. 1211-1213.
- [5] Z. Zhu, "Optimal reconfiguration of electrical distributed network using redefined genetic algorithm," *Electr. Power Syst. Res.*,62(2002), pp. 37- 42.
- [6] Kalal, Zdenek, Krystian Mikolajczyk, and Jiri Matas. "Forward-backward error: Automatic detection of tracking failures."2010 20th International Conference on Pattern Recognition. IEEE, 2010.
- [7] ANEEL, A. N. D. E. E (2018). –. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Procedimentos de Distribuição, Brasil, v. 1, n. 1, p. 20-24.
- [8] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *Proc. IEEE Int. Conf. on Neural Networks*, vol. 4, 1995, pp. 1942-1948.
- [9] J. Kennedy and R. Eberhart, "A discrete binary version of the particle swarm algorithm," *IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 97)*, vol. 5, 1997, pp. 4140-4109.
- [10] Pegado, Raoni. (2018). Reconfiguração de Redes de Distribuição visando Redução de Perdas utilizando Enxame de Partículas Seletivo Modificado. *Congresso nacional de automática-CBA*.
- [11] A. Tandon and D. Saxena, "Optimal reconfiguration of electrical distribution network using selective particle swarm optimization algorithm,"*2014 International Conference on Power, Control and Embedded Systems (ICP-CES)*, Allahabad, 2014, pp. 1-6.
- [12] Jena, S. and Chauhan, S. (2016). Solving distribution feeder reconfiguration and concurrent dg installation problems for power loss minimization by multi swarm cooperative pso algorithm, *Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, 2016 IEEE/PES, IEEE, pp. 1–9.