



Estudo para otimização do planejamento da expansão de redes de distribuição

Study to optimize the planning of the expansion of distribution networks

Vinicius Henrique Barbosa Versotti, Murilo da Silva.

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo a aplicação de algoritmos evolutivos ao problema de otimização do planejamento de expansão do sistema de distribuição de energia elétrica em média tensão, o aumento gradual do consumo de energia é uma preocupação não só da geração, mas também da transmissão e distribuição dessa energia, dito isto o planejamento da expansão dos sistemas elétricos de potência se torna um importante foco de estudo para a evolução da sociedade, em função da complexidade do problema analisado é proposto neste trabalho a utilização do algoritmo evolutivo diferencial binário dado a sua rápida capacidade de convergência, soluções com base em otimizações metaheurísticas são alvos de estudo aplicados a problemas com elevada complexidade de processamento e otimização, a partir disso a linguagem C foi utilizada para a modelagem tanto do sistema elétrico como do algoritmo evolutivo diferencial e os resultados preliminares obtidos demonstram uma promissora aplicabilidade do algoritmo evolutivo diferencial binário ao problema proposto.

Palavras-chave: sistema de distribuição, linguagem C, algoritmo evolutivo diferencial binário.

ABSTRACT

This article aims to apply evolutionary algorithms to the problem of optimizing the expansion planning of the medium voltage electricity distribution system, the gradual increase in energy consumption and a concern not only for generation, but also for transmission and distribution of this energy, that being said that the planning of the expansion of electric power systems becomes an important focus of study for the evolution of society, due to the complexity of the problem analyzed, this work proposes the use of the binary differential evolutionary algorithm given its fast convergence capability, solutions based on metaheuristic optimizations are targets of specialized study for problems with high processing and optimization complexity, using the C language for modeling both the electrical system and the differential evolutionary algorithm and the preliminary results obtained demonstrate a promising applicability of the algorithm differential evolutionary binary to the proposed problem.

Keywords: distribution system, C language, binary differential evolutionary algorithm.

1 INTRODUÇÃO

O sistema elétrico de potência é responsável por gerar, transmitir e distribuir a energia elétrica para os consumidores, sendo essa energia imprescindível para evolução e desenvolvimento de todos. Portanto, o desenvolvimento de um país está diretamente ligado ao aumento do consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, ao desenvolvimento do sistema elétrico de potência para garantir que a energia esteja disponível onde e quando for solicitada e necessária para atendimento a crescente demanda. O planejamento da expansão do sistema de distribuição da rede de média tensão é um problema complexo, combinatório, não

* Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil; viniciusversotti@gmail.com

* Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil; murilosilva@utfpr.edu.br



linear, com restrições operativas e variáveis conflitantes ou não, que dificultam a obtenção de uma única solução ótima em alguns casos. Tendo isso em mente a otimização desses sistemas elétricos é alvo de estudo e pesquisas visando a busca de soluções rápida, levando-se em conta o custo-benefício de cada solução de forma a auxiliar a tomada de decisão do engenheiro de planejamento. Dado importância da expansão do sistema de potência as empresas investem continuamente neste processo de forma a buscar ferramentas que otimizem os processos de forma a contemplar planos de obras técnico e economicamente viáveis (VARGAS, 2015, p. 23).

De acordo com (MIASAKI, 2006, p. 2) as técnicas de otimização metaheurísticas são utilizadas para resolver problemas de otimização complexos que exigem elevado esforço de processamento, portanto, nesta pesquisa será abordada uma destas técnicas para aplicação ao problema de expansão do sistema de distribuição.

Tendo isso em mente qual seria o melhor modelo para o planejamento da expansão? A modelagem de todos os aspectos do problema de expansão vem sendo objeto de estudo principalmente nas últimas três décadas (FERREIRA, 2009, p. 1), com isso diversos métodos são desenvolvidos e quanto mais o estudo avança mais completo e otimizados eles se tornam. A modelagem por meio de algoritmos evolutivos diferenciais representa essa evolução, sendo o foco de aplicação para o problema de expansão nesta pesquisa.

Dado o exposto, esta pesquisa visa o estudo e aplicação do algoritmo evolutivo diferencial binário aplicado ao problema da expansão do sistema distribuição de energia elétrica de média tensão. Este estudo visa a abordagem problema tendo em vista a expansão do sistema devido ao crescimento de demanda de um consumidor ou entrada de uma nova carga (consumidor) no sistema e a possível expansão de uma rede nova construída desde o início. Busca-se com estes dois cenários enfrentar os problemas do cotidiano do engenheiro de planejamento no que tange ao atendimento de novas cargas, bem como, o planejamento macro do sistema como um todo.

2 MÉTODO

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram necessários o estudo e aplicação de forma remota dos conceitos relativos ao sistema de distribuição, fluxo de potência, algoritmo genético e algoritmo evolutivo diferencial a partir do software Dev-C++.

2.1 Fluxo de Potência

O método utilizado para o cálculo do fluxo de potência em sistemas de distribuição radiais abordado neste estudo é o chamado *Backward/Forward Sweep*, conforme apresentado em (SHIRMOHAMMADI, 1988, p. 754). Na implementação do fluxo de potência, segundo (KAGAN, 2005, p. 165), as cargas podem ser implementadas de algumas formas diferentes como: carga de impedância constante, corrente constante, potência constante, híbrida ou ZIP (junção das três últimas) ou por curvas de cargas. Neste trabalho optou-se pela representação da carga pelo modelo de potência constante, dado à simplicidade e por ser o modelo que oferece uma solução mais desvantajosa (mais conservativa) se comparamos os três primeiros modelos, conforme demonstrado em (KAGAN, 2005, p. 186).

2.2 Algoritmo evolutivo diferencial

Para o estudo dos algoritmos genéticos é necessário entender que os mesmos tem base em iterações assim como o fluxo de potência apresentado acima, porém sua convergência é distinta, enquanto o fluxo de potência



analisa a mudança de geração e converge quando essa mudança não possui transformações significativas, a proposta do algoritmo genético é que quando uma família de indivíduos possuir, em sua maioria, um resultado igual, o algoritmo converge.

Os algoritmos evolutivos diferenciais possuem entre seus operadores genéticos a mutação fazendo com que o indivíduo absorva características de outros indivíduos e as mute, e um crossover que garante a convergência do algoritmo.

Conforme (CHANGSHOU, 2010, p. 250) uma adaptação do algoritmo evolutivo diferencial é proposta conforme a Equação (1), que torna possível a mutação na forma binária que por sua vez acontece quando a condição $r1 < r2$ for verdadeira, para $r1$ sendo um número aleatório entre 0 e 99 e $r2$ um número aleatório entre 0 e 30, tais condições de $r1$ e $r2$ foram desenvolvidas no próprio algoritmo a partir de testes considerando sua otimização.

$$I_{ij} = 1 - X_{r3j} \quad (1)$$

Sendo I_{ij} o cromossomo da posição ij modificado e X_{r3j} o cromossomo aleatório selecionado para a mutação. O próximo operador é o crossover, que por sua vez, através do fator de crossover Cr tem a função de controlar a grande disparidade que os indivíduos novos podem ter desenvolvido através da mutação.

Por fim a seleção, compara os indivíduos criados pela Equação (1) e modificadas pelo crossover com os indivíduos da iteração anterior e seleciona os melhores para continuar no programa.

2.3 Formulação do problema

O problema foi formulado tendo como objetivo a redução de custos relativo aos cabos utilizados e atendimento das restrições operativas ligadas a limite de corrente dos cabos e limites de tensão em cada barra do sistema elétrico, conforme Equação (2). É importante destacar que se considerou como definida a rota da rede distribuição neste trabalho.

$$FOB = \frac{C_r}{P1} + \frac{I_c}{P2} + \frac{I_t}{P3} \quad (2)$$

Para C_r representando o custo de recondutoramento, I_c o índice de corrente, I_t o índice de tensão e $P1$, $P2$ e $P3$ os parâmetros de normalização das variáveis, os índices de corrente e tensão alcançar soluções que sejam factíveis no tocante a corrente passante no cabo do respectivo trecho e que o nível de tensão de cada barra seja respeitado de acordo com a legislação vigente. As correntes nos trechos e tensões nas barras são obtidas por meio no fluxo de potência.

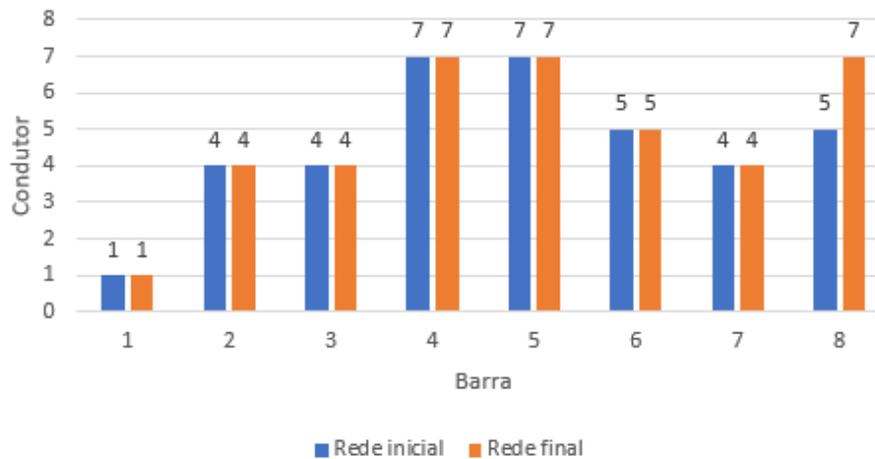
3 RESULTADOS

Para a demonstração dos resultados, três casos são apresentados a seguir para a comprovação da aplicação do algoritmo evolutivo diferencial binário, sendo o primeiro um sistema previamente feito com a adição de um novo consumidor na oitava barra, o segundo caso trata-se do mesmo sistema sendo construído do zero, com nenhuma instalação prévia e previsão de funcionamento por 10 anos, com um aumento previsto de 15% de toda a carga, por fim, o terceiro caso faz referência a expansão prevendo um aumento de 30% de toda a carga ao longo de 20 anos.



É possível observar na Figura 1 em azul, representado pela rede inicial, os condutores iniciais de cada barra e em laranja, representado pela rede final, os condutores corrigidos, como relatado anteriormente se trata de um sistema de oito barras em que foi incluso uma carga adicional na oitava, sendo assim o condutor antes presente na mesma não foi suficiente para a corrente presente na barra, com isso o programa encontrou o melhor condutor possível, que no caso é o condutor 7, levando em consideração custo e o limite dos equipamentos.

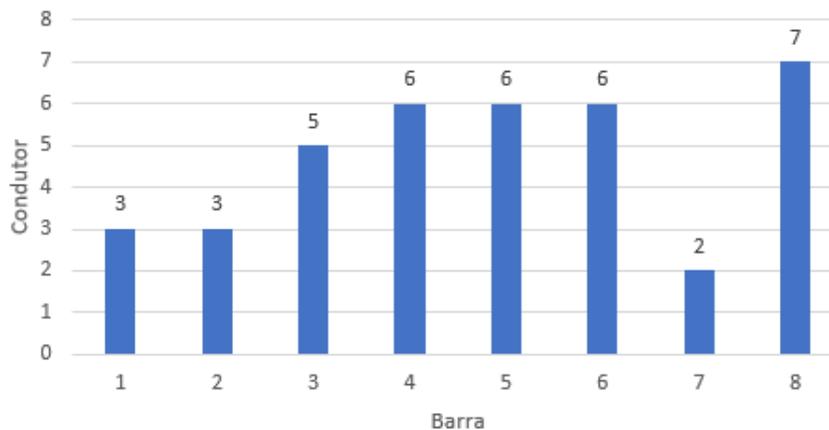
Figura 1– Resultados para o Caso 1



Fonte: Autoria propria (2021)

Para o segundo caso é trabalhado uma geração inicial aleatória e a partir disso o programa seleciona o melhor custo-benefício de condutor para cada barra levando em consideração o custo de instalação, capacidade atendida, queda de tensão máxima e um crescimento de 15% nos próximos 10 anos, tendo isso em mãos é possível observar na Figura 2 a tendência criada pelo algoritmo, tendo cada condutor de cada barra selecionado.

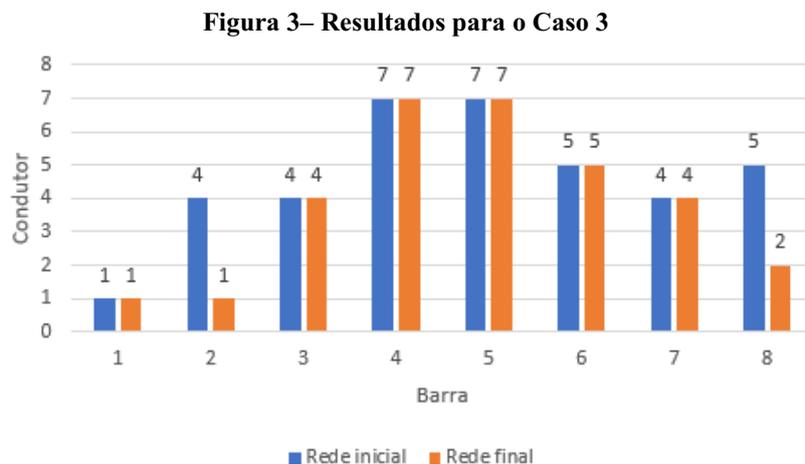
Figura 2– Resultados para o Caso 2



Fonte: Autoria propria (2021)



Com a Figura 3 enfim, temos os resultados para o terceiro caso, que indica um sistema de distribuição com tendência de crescimento de 30% para os próximos 20 anos, e assim os condutores são ajustados para esses valores. Em azul, representado pela rede inicial, os condutores iniciais de cada barra e em laranja, representado pela rede final, os condutores corrigidos.



Fonte: Autoria própria (2021)

Tendo os resultados dos três casos é possível compará-los, o segundo caso é o mais distinto entre os 3, onde é o único que leva em consideração uma construção completa e do zero do sistema. Já a comparação entre os casos um e três é direta, enquanto o primeiro traz resultados para o “agora” o terceiro faz uma previsão de crescimento o que causa uma mudança entre o resultado de ambos, para o primeiro o custo total de recondutoramento calculado é R\$ 44779,00, já para o terceiro caso o custo é R\$ 79024,20, é possível notar uma diferença considerável para os dois casos, porém cabe uma análise de caso para a aplicação, o primeiro caso traz resultados com menor custo porém sem uma visão ampla do crescimento da rede que como dito no trabalho é algo natural, o terceiro caso traz uma rede que sustentaria um acréscimo de 30% no consumo de todas as barras, e esse resultado é mais condizente para um planejamento de expansão pois tenta manter a rede trabalhando nas restrições operativas por aproximadamente 20 anos.

4 CONCLUSÃO

Destaca-se que estudo de expansão do sistema elétrico de distribuição em média tensão ocorrem diariamente, visto a entrada de novas cargas e mesmo devido ao aumento das cargas existentes. Além de estudos diários, planejamentos futuros da expansão do sistema como um todo são necessários visto que os sistemas atuais podem atingir o seu limite. Os estudos de expansão são complexos e demandam tempo e experiência do engenheiro. Neste contexto destaca-se a utilização de ferramentas e otimização para auxiliar a tomada de decisão dos engenheiros de planejamento.

Visto que que o planejamento da expansão é caracterizado com um problema de otimização combinatória, não linear, com restrições operativas e que podem contemplar diversas variáveis conflitantes ou não, a aplicação de metaheurísticas torna-se bastante promissora.

Este trabalho demonstra a aplicabilidade da evolução diferencial binária ao problema de otimização do planejamento da expansão dos sistemas de distribuição de energia elétrica. Os resultados alcançados, mesmo



que considerando apenas algumas variáveis, apontam que o algoritmo evolutivo diferencial binário foi capaz de obter soluções factíveis do ponto de vista operacional considerando o fator custo das soluções, muito importante para as concessionárias tendo em vista a regulamentação do setor.

REFERÊNCIAS

- VARGAS, Eduardo Lehnhart, **Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição Através da Simulação de Alternativas em Análise Multicritério**. 2015. 136p. Dissertação (Mestrado Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.
- MIASAKI, Celso Tadao. **Planejamento da Expansão do Sistema de Transmissão de Energia Elétrica Utilizando Controladores FACTS**. 2006. 158p. Tese (Doutorado Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista, Campus Ilha Solteira, São Paulo, 2006.
- FERREIRA, Vinicius. **Planejamento da Expansão de Sistemas de Distribuição Considerando Incertezas e Geração Distribuída**. 2009. 216p. Tese (Doutorado Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- SHIRMOHAMMADI, D. H. W. Hong, A. Semlyen and G. X. Luo, **A compensation-based power flow method for weakly meshed distribution and transmission networks**, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 3, no. 2, pp. 753-762, Maio 1988. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/192932>>. Acesso em: 27 Jan. 2021
- KAGAN, Nelson. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2005. 328p.
- CHANGSHOU Deng, Bingyan Zhao, Yanling Yang and Anyuan Deng, **Novel binary Differential Evolution without scale factor F**, Third International Workshop on Advanced Computational Intelligence, 2010, pp. 250-253. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5585113>>. Acesso em: 10 Fev 2021.