



ALGORITMO GERADOR DE RADIAIS FACTÍVEIS APLICADO AO PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE MÉDIA TENSÃO.

Matheus Felipe de Jesus Silva Davi ¹

Helton Fernando Scherer ²

INTRODUÇÃO

A energia elétrica é algo de extrema importância em praticamente qualquer atividade desenvolvida nos dias de hoje. Ser convertida em luz, alimentar equipamentos elétricos e motores são apenas uns dos exemplos da utilidade e do conforto que ela pode proporcionar.

É notável o aumento do consumo de energia elétrica a cada ano. Para ilustrar, o avanço no consumo no mês de setembro de 2020 subiu 2,9% em relação ao mesmo mês de 2019, segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

Além do crescimento no consumo, outro ponto importante de destacar no cenário brasileiro é sua ausência em diversos localidades. A falta de energia elétrica não é um problema recente no Brasil, muitas regiões sofrem com um fornecimento precário ou mesmo sua total ausência. Mesmo com uma elevada capacidade instalada, ultrapassando a faixa dos 7 megawatts (MW) em 2019 (ANEEL, 2020), ainda há um grande desafio no processo de escoar toda a energia produzida.

Em resumo, torna-se imprescindível a expansão dos sistemas de distribuição de energia na tentativa de adequá-los à crescente demanda e número de consumidores, além de conseguir alcançar todos os habitantes.

O planejamento da expansão da distribuição de energia elétrica, segundo Gholizadeh-Roshanagh e Zare (2018), é uma das principais preocupações das empresas de distribuição. Quando formulado matematicamente, pode ser definido como um problema de otimização complexo com diferentes variáveis e parâmetros de entrada, sendo a demanda ao longo dos anos de planejamento.

¹ Graduando do Curso de **Engenharia Elétrica** da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, mf.davi@hotmail.com;

² Doutor em Engenharia de Automação e Sistemas pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, hfscherer@gmail.com;



Nesta temática, este trabalho busca maneiras de resolver o problema de expansão de redes de distribuição, partindo dos dados da topologia atual e cargas conectadas ao sistema. O objetivo é construir um algoritmo capaz de planejar a expansão de sistemas de distribuição de energia elétrica buscando as topologias que irão fornecer menor custo de construção e menores perdas elétricas em operação.

Sabendo que o problema de otimização é não linear e apresenta variáveis binárias, buscar uma solução ótima pode ser extremamente difícil, podendo levar a tempos computacionais inafectíveis. Com isso, busca-se nesta pesquisa a aplicação de algoritmos e heurísticas que permitam criar um balanço entre o tempo gasto e a qualidade da solução final.

Para a tomada de decisões, será utilizado um algoritmo guloso, onde suas decisões são tomadas por pesos. Complementar ao algoritmo, serão adicionadas heurísticas que irão ampliar o espaço de busca de soluções, de tal maneira que possam sempre ser encontradas soluções mais eficientes para problema de expansão. Para a validação das implementações serão utilizados sistemas já testados na literatura, comparando os resultados obtidos por outros pesquisadores do tema.

METODOLOGIA

De maneira resumida, é necessário que o algoritmo tenha duas etapas de funcionamento. Primeiro deve ser capaz de carregar dados de sistemas e depois transformar os dados em um problema de expansão e calcular as topologias adequadas.

Dados os objetivos citados, o primeiro passo a ser realizado seria a modelagem do sistema, tal processo é feito por meio de barras, simbologia adotada na representação de circuitos de distribuição de energia, e ramos. Uma barra pode representar um transformador de uma rua em bairro residencial, por exemplo. Já as conexões entre duas barras denominam-se ramos.

Outra maneira de visualizar este problema é no formato de um grafo, com uma árvore composta por vértices e nós. De acordo Dutta et al (2014), uma árvore pode ser definida como um nó G conectado a n vértices por meio de $(n-1)$ arestas, não havendo nenhum loop entre os vértices. Em um único nó G podem haver inúmeras árvores diferentes. Uma árvore de extensão mínima é uma árvore gerada com o somatório de pesos inferior ou igual ao somatório de pesos de outras possíveis árvores.



Com os dados carregados, são atribuídos pesos aos ramos, de tal maneira que representem custos e perdas. O algoritmo deve realizar a escolha dos ramos, para que sejam alcançados todos os nós, porém de uma maneira que cada nó só seja alimentado somente por um ramo. Isto define uma topologia radial, que é preferencial na operação de sistemas de distribuição.

O algoritmo PRIM seria uma rápida maneira de encontrar uma árvore de extensão mínima de uma rede. Começando com um nó arbitrário na rede, em cada passo é adicionado uma aresta de menor peso conectando a aresta mais próxima, continuando até que todos os vértices sejam abrangidos pela árvore. Aplicado ao sistema elétrico, irá prover radiais factíveis.

Com a topologia definida, haverá a resolução do fluxo de carga (fluxo de potências ativa e reativa, tensões das barras e outras grandezas) para garantir que a solução é possível de ser aplicada ao sistema. Como resultado final, é fornecida uma topologia e valores de tensões e correntes possíveis nas barras e ramos. Com isso, é possível realizar uma análise dos pontos mais críticos, indicando possíveis locais para investimentos em expansão.

O PRIM, por ser um algoritmo guloso, toma decisões baseadas somente no conhecimento local, não enxergando o problema global. Com isso, se não for adicionado algum outro elemento no algoritmo, este irá fornecer sempre o mesmo resultado, e provavelmente não seria ótimo.

Assim, um passo posterior na pesquisa será adicionar heurísticas para que sejam modificados parâmetros da rede, de tal maneira que sejam geradas outras topologias possíveis. Com isso, serão geradas muitas soluções distintas. Com essas novas topologias, são verificados novamente os pontos de maior impacto para uma possível expansão do sistema.

Ao se gerar um conjunto grande de resultados, é possível avaliar de maneira estatística quais os pontos que terão maior impacto em caso de expansão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

É importante ressaltar que a pesquisa está em andamento, com isso serão analisados resultados preliminares. Utiliza-se a linguagem de programação C, devido a sua facilidade de uso, simplicidade, portabilidade e confiabilidade. O software sendo empregado é o Dev-C ++, possuindo a principal vantagem de ser um ambiente de desenvolvimento totalmente gratuito e livre.



Possuindo toda a fundamentação teórica do algoritmo de PRIM, abriu-se mão da programação estática, em que não são permitidas alterações de tipos de variáveis depois de declaradas, e migrou-se ao ambiente dinâmico, amplamente empregado em problemas de otimização, já que se pode alocar o espaço para a variável durante a execução do programa, ou seja, só quando realmente for necessário.

Um recurso bem recorrente durante o andamento do trabalho é o ponteiro, fundamental em qualquer linguagem de programação, sendo ele uma variável capaz de armazenar endereços de memória, permitindo uma melhor manipulação dos dados, melhor otimização do algoritmo e um bom gerenciamento da memória, principalmente quando há grande quantidade de dados a serem trabalhados.

Outra solução empregada foram as listas encadeadas, uma sequência linear de dados onde cada célula irá conter os dados a serem trabalhados (como número, tensão e potência, no caso das barras por exemplo) e o endereço para a próxima célula, por meio da utilização de um ponteiro.

Em específico neste trabalho, foram utilizadas estruturas de listas duplamente encadeadas, que só diferem no aspecto em que cada célula possui o endereço de memória para a próxima e a anterior, possibilitando percurso em duas direções.

Os sistemas em análise são de 33 e 136 barras, sendo testados individualmente. O sistema de 33 barras foi apresentado por Bran e Wu em 1989, de acordo com Oliveira et al (2009). Já o sistema de 136 barras fora apresentado por Mantovani et al em 2000 possuindo 135 barras de carga, 1 subestação e 156 circuitos.

No ambiente do software são carregados os dados globais, dados pela barra de referência, tensão base na subestação, potência base, tolerância de erro permitida, tensão mínima e máxima e a base de impedância. As barras carregadas recebem valores de características como número, tensão real e imaginária, potência ativa e reativa, corrente real e imaginária. Os ramos, que são as conexões entre os nós, são declaradas com valores de barra de saída e de entrada, comprimento do condutor, capacidade de corrente, custo do ramo, potência aparente, resistência, reatância, impedância real e imaginária, corrente real e imaginária.

Até o presente momento, o algoritmo já possui capacidade de carregar sistemas de distribuição genéricos, gerando as informações relevantes em quatro listas encadeadas, sendo duas listas apenas para as barras, a barra de referência ou no caso a subestação fica isolada das



demais, uma para os ramos e outra para os dados globais. Depois de carregadas, as listas que continham barras e ramos são duplicadas e interligadas.

A interligação das barras e dos ramos foi possível por meio da utilização dos ponteiros, cada barra estará conectada aos ramos que a elas possuírem e vice-versa através desta ferramenta, o programa já é capaz de interpretar essas conexões de forma autônoma. Tal processo permitirá, mais a frente, uma mais simples execução do algoritmo PRIM, que por fim resultará em possíveis radiais (não deixando de fornecer os circuitos desconectados, custos totais, reatância e potência aparente), seguido mais adiante, da aplicação do fluxo de carga e comparação com resultados já existentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho trata da elaboração de ferramentas para o problema de expansão de redes de distribuição. Atualmente, o algoritmo já possui capacidade de organização e levantamento de todos os dados (barras, ramos e dados globais). Foi importante desenvolver esta parte para se tornar independente do sistema, pois mais adiante serão tratados sistemas de mais de mil barras.

É sabido que o algoritmo de PRIM depende fortemente da interligação dos dados, visto que, sua implementação acaba no manejo entre os ponteiros das listas duplamente encadeadas de ramos e barras. Com isso, o código em desenvolvimento irá percorrer todas as barras e ramos analisando parâmetros, como custo, e irá fornecer as radiais factíveis. Como próximos passos da pesquisa, ainda serão implementadas as funções de fluxo de carga e seleção de resultados, o que permitirá comparação com um conjunto de resultados gerados, assim como com outros resultados da literatura.

Palavras-chave: PRIM; Expansão, Distribuição, Radiais.

REFERÊNCIAS

Escoamento da energia ainda é o principal desafio. **Jornal do comércio**, 2017. Disponível em:
<https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/2017/05/especiais/dia_da_industria_2017/56



0251-escoamento-da-energia-ainda-e-o-principal-desafio.html>. Acesso em: 16 de nov. de 2020.

Brasil alcança 170 mil megawatts de capacidade instalada em 2019. **Aneel**, 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-alcanca-170-mil-megawatts-de-capacidade-instalada-em-2019/656877?inheritRedirect=false>. Acesso em: 16 de nov. de 2020.

KAFRUNI, Simone. Consumo de eletricidade aumenta 2,9% em setembro e avançará em outubro. **Diário de Pernambuco**, 2020. Disponível em: <<https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/economia/2020/10/consumo-de-eletricidade-aumenta-2-9-em-setembro-e-avancara-em-outubro.html>>. Acesso em: 16 de nov. de 2020.

LUNA, Denise. EPE prevê crescimento da demanda da energia de 3,6% ao ano até 2029. **UOL**, 2019. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/estadao-conteudo/2019/08/29/epe-preve-crescimento-da-demanda-de-energia-de-36-ao-ano-ate-2029.htm>>. Acesso em: 21 de nov. de 2020.

GHOLIZADEH-ROSHANAGH, Reza; ZARE, Kazem. Electric power distribution system expansion planning considering cost elasticity of demand. **IET**, 2019.

DUTTA, Suvajit; PATRA, Debasish; Shankar, Hari; VERMA, Prabhakar Alok. Development of gis tools for the solution of minimum spanning tree problem using PRIM's algorithm. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Índia, 2014.

OLIVEIRA, L. W.; JUNIOR, S. C.; COSTA, J. S.; OLIVEIRA, E. J.; PEREIRA, J. L. R.; JUNIOR, I. C. S. Reconfiguração ótima de sistemas de distribuição para minimização de perdas de energia. *Sba Controle & Automação*, v. 20, Natal, abr./jun. de 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592009000200010&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 22 de nov. de 2020.