

SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA REDE SECUNDÁRIA DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS

ALEXANDRE AUGUSTO ANGELO DE SOUZA, FÁLVIO NEVES JR., HEITOR SILVÉRIO LOPES

CPGEI, CEFET - PR

Av. Sete de Setembro, 3165, 80230 - 901, Curitiba, PR, BRASIL

E-mails: alexandre.souza@copel.com.br {neves,hslopes}@cpgei.cefetpr.br

Resumo— Neste trabalho é avaliado o desempenho de uma abordagem evolucionária baseada na otimização de Pareto para um problema de otimização multiobjetivo. O propósito do método é gerar uma solução não dominada para determinar uma configuração adequada para um circuito de rede de distribuição. O método considera valores de tensão de fornecimento avaliados através de uma simulação de fluxo de potência, bem como critérios de custo para a solução proposta. É avaliada para a determinação da melhor configuração de circuito, através de um teste de mudança de faseamento de cargas, tendo em vista uma melhoria no nível de tensão do circuito em análise.

Abstract— This work intends to evaluate the performance of an evolutionary approach of Pareto's Optimization for a multiobjective optimization problem. The purpose of the method is to generate a solution not dominated to determine an appropriate configuration for a circuit of the secondary network. The method considers values of supply voltage evaluated through the simulation of a power flow, as well as cost criteria for the proposed solution. It is evaluated for the determination of the best configuration of the circuit, the change of cables and phases of consumers, aiming to an improvement of voltage level of the circuit in analysis.

Keywords— Secondary network, optimization, genetic algorithm.

1 Introdução

O objetivo deste trabalho é apresentar uma abordagem evolucionária para a determinação de uma configuração adequada para circuitos de rede de distribuição. Através da informação de um perfil de tensão encontrada, o sistema deverá determinar a viabilidade desta, de acordo com parâmetros elétricos de custo. Esta determinação será realizada analisando as possíveis manipulações da rede que podem ser efetuadas. A análise da configuração da rede que compo rta a simulação requerida baseia-se na topologia atual do circuito em análise, procurando efetuações de troca caso seja detectado. As soluções frequentes neste tipo de sistema referem-se basicamente a uma mudança de faseamento das cargas de consumidores e a alteração da bitola de cabos nos pontos que ultrapassamos os valores dos critérios estabelecidos.

Um sistema elétrico de potência é constituído por usinas, subestações, linhas de transmissão e redes de distribuição. Normalmente, para a efetiva análise e estudos dos sistemas elétricos de potência são subdivididos em três grandes blocos, que são: geração, transmissão e distribuição (Stevenson, 1987). O aplicativo proposto terá aplicação voltada à distribuição.

As empresas de energia elétrica gastam milhões de horas em atividades de planejamento dos seus sistemas elétricos, seja para a operação ou para a expansão dos mesmos. Este planejamento é feito como auxílio de ferramentas computacionais, através de programas de simulação já

consagrados, como o Big power mode ou Flowint (Mistch, 1993). Como a produção nacional pode relacionar a rede (Weed, 1973). Todos estes programas possuem uma característica em comum, que é a característica de batch no processamento. Na sua grande maioria estes programas são executados em equipamentos de grande porte (mainframe), e fornece apenas resultados alfanuméricos. Os estudos realizados para o planejamento da rede elétrica consistem em muitos recursos humanos, bem como um certo tempo para a sua análise. A realização de um aplicativo com características descritas acima visa atender um campo de mercado em expansão, pois com a privatização de concessionárias, procura aplicar um controle maior para a redução de custos operacionais.

Deve-se ressaltar que este sistema está diretamente ligado ao modo de processamento, de forma que as situações analisadas se utilizam não só de informações elétricas relevantes de elementos pertencentes à rede elétrica, mas também de coordenadas de posicionamento global destes. Estas informações, que são georeferenciadas podem beneficiar estes sistemas para a fornecimento de informações úteis para os usuários da localização das anomalias encontradas.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Algoritmos Evolutivos

Os Algoritmos Evolutivos (AE) são a forma de implementação dos modelos computacionais de processo evolutivo na área de Computação Evolucionária (CE). Estes algoritmos possuem o propósito de direcionar uma busca estocástica, fazendo evoluir um conjunto de estruturas e selecionando o melhor

rati voas mais aptas. Ao executar um AE, as soluções de um problema são representadas por uma população de indivíduos que sofrem uma série de transformações para atualizar a busca e depois por um processo de seleção que favorece os melhores indivíduos. As transformações ocorrem devido à adaptação de cada indivíduo ao ambiente exposto. Quando ocorre um ciclo de transformação associado à seleção constitui-se uma geração. Têm-se gerações quantas forem necessárias para obter o melhor indivíduo, o qual estará mais próximo das soluções desejada.

Para um AE poderemular devidamente o processo evolutivo deve conter uma população de indivíduos. Um procedimento de seleção é baseado na aptidão dos mesmos e outrora transformação, isto é, de geração de novas soluções a partir de soluções já existentes.

Dentro desta estrutura, existem diversas variantes dos AEs em muitos sistemas híbridos incorporam várias características deste paradigma. Entretanto, todas as estruturas destas variantes possuem métodos evolutivos muito semelhantes. Os cinco principais paradigmas dos AEs, estão brevemente comentados abaixo:

- Algoritmos Genéticos (AG): Técnica de busca baseada na teoria de evolução de Darwin. Desenvolvida originalmente por Holland (1975), modela a seleção natural e o processo de evolução das espécies. Eles podem ser considerados um processo de pesquisa, a determinar os melhores indivíduos no espaço de busca de todos os possíveis indivíduos. Resumidamente, compreende a evolução de uma população de inteiros binários, os quais são submetidos a transformações unitárias e binárias genéricas a um processo de seleção.

- Programação Evolutiva: Consiste na evolução de população com máquinas de estados finitos submetendo-as a transformações unitárias.

- Estratégias de Evolução: Trata-se de evoluir uma população de números reais que codificam as possíveis soluções de um problema numérico, onde a seleção está implícita.

- Sistemas de Classificadores: São sistemas capazes de perceber e classificar o acontecimento em seu ambiente e reagir adequadamente.

- Programação Genética: Técnica que utiliza a metodologia de computação evolucionária para solucionar o problema, mais para obter os melhores procedimentos possíveis para sua resolução.

2.2 Otimização de Pareto

Vilfredo Pareto (1896) estabeleceu que existe uma ordenação parcial no espaço de busca de um problema multiobjetivo. O critério de Pareto simplesmente estabelece que uma solução é melhor que outra se

ela é tão boa em todos os atributos e melhor em pelo menos um destes atributos. Mais formalmente, para um problema de otimização multiobjetivos o espaço de busca pode ser visto como um espaço n-dimensional, portanto, cada solução é um n-vetor dos atributos.

Em um problema de maximização das duas soluções:

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ e } y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$$

O critério de Pareto diz que x domina y se:

$$x_i \geq y_i \quad \forall i \text{ e } \exists j \text{ tal que } x_j > y_j$$

Abordagem baseada em Pareto foi proposta por Goldberg (1989), tornou-se o principal foco de pesquisa para AG multiobjetivo.

2.3 Planejamento da rede secundária

Para a determinação de valores aceitáveis de tensão em um circuito de distribuição, as alternativas possíveis de serem realizadas são as seguintes: (1) troca de cabos nos trechos que estão comuns a queda de tensão muito acima do aceitável, (2) troca de faseamento dos consumidores, fazendo com que o circuito fique mais equilibrado, e consequentemente, com uma tensão de neutro menor.

Para encontrar a melhor opção a partir de um ponto de vista econômico quanto a técnica, deve-se procurar simular várias situações para determinar a mais viável. Quando a realização deste estudo, já é prevista a determinação da taxa de crescimento de cargas. Este procedimento é realizado para que as alterações efetuadas possam ter uma suportabilidade de crescimento de carga maior, evitando alterações frequentes nos circuitos. A troca de faseamento dos consumidores no circuito é a situação mais barata e mais viável, porém, esta resolução é em que o circuito está em um grande desequilíbrio. A solução geralmente adotada é a troca de cabos que acaba provocando uma melhoria significativa das restrições de queda de tensão e carregamento de cabos. A combinação destas duas situações possibilita encontrar variações de alterações que possam significar uma boa melhoria a um custo mais baixo para a concessionária.

3 Modelo Matemático

Para determinar a configuração de rede a ser escolhida foi avaliada a Eq. (1) referente a queda de

tensão e a Eq. (2) referente a custo de troca de cabos e faseamento de unidades consumidoras.

$$f1 = \frac{127 - menor_tensao}{127} \quad (1)$$

$$f2 = \frac{caboe * X + uc * 1.5}{num_caboe * 15 + num_uc * 1.5} \quad (2)$$

O valor *menor_tensao* na função *f1* refere-se ao menor valor de tensão do circuito após a simulação deste através do fluxo de potência. Este valor reflete a qualidade técnica da solução encontrada.

Os valores *caboe* e *uc* na função *f2* referem-se ao total de cabos e faseamento de unidades consumidoras, respectivamente. O valor *X* refere-se ao custo do tipo de cabo adotado. Desta forma, tem-se um valor diferenciado de cabos dependendo do bitola proposta pela situação. Os valores *num_caboe* e *num_uc* referem-se ao total de cabos e unidades consumidoras existentes no circuito. O problema foi encarado como sendo de minimização, e as faixas de *f1* e *f2* são definidas entre [0, 1].

Uma restrição passada para o algoritmo, refere-se ao fato de o usuário poder determinar um valor de tensão mínimo aceitável. Quando a ocorrência de um valor de tensão inferior a este especificado é atribuído a função *f1* o valor 1, maximizando esta, e penalizando esta solução encontrada.

4 Codificação

O cromossomo é composto por um número de genes igual ao número de cabos e unidades consumidoras. Foi utilizada uma codificação binária para representar os cabos e o faseamento das unidades consumidoras. A representação dos cabos no sistema é feita através da relação mostrada na Tabela (1).

Tabela 1. Cabos comerciais adotados.

Identificação do cabo	Cabo Comercial
1	Alumínio 06 AWG
2	Alumínio 04 AWG
3	Alumínio 02 AWG
4	Alumínio 1/0 AWG
5	Alumínio 2/0 AWG
6	Alumínio 3/0 AWG
7	Alumínio 4/0 AWG

A representação do faseamento dos consumidores é feita através da relação mostrada na Tabela (2).

Tabela 2 Representação de fases

Identificação das fases	Faseamento Correspondente
1	A - monofásico
2	B - monofásico
3	C - monofásico
4	AB - bifásico
5	BC - bifásico
6	AC - bifásico
7	ABC - trifásico

O cromossomo de um estudo de aplicação pode ser visualizado na Fig. (1). Na situação mostrada o problema possui quatro cabos e cinco unidades consumidoras.

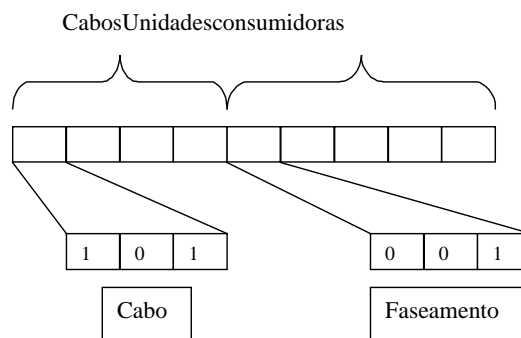


Figura 1 - Representação cromossômica

O cromossomo é inicializado com os valores aleatórios de carga e tipo de cabo, para garantir a geração de soluções válidas, é necessário o uso de um decodificador do cromossomo que produza as soluções válidas. Este critério de correção de soluções geradas é importante devido ao fato que um consumidor monofásico, nunca poderá ser bifásico ou trifásico. Cada categoria de faseamento seja a monofásica, bifásica ou trifásica não poderá ser alterada. A atitude a ser tomada nesta situação é apenas permitir a troca de fase utilizada no atendimento, porém mantendo a categoria de atendimento do cliente.

4.1 Avaliação das soluções

O cromossomo é composto por informações dos cabos e o faseamento das unidades consumidoras, o operador genético aplicado ao problema foi apenas a mutação. O processo de avaliação do algoritmo está representado na Fig. (2), mostrando o pseudocódigo da aplicação.

```

1GerasoluçãoinicialC
2Repeteatécondiçãoodeparada
3Aplicacrossover/mutaçãoemCparaproduzirM
4AvaliaMatraversdofluxodepotência
5SeMdominaC
6TornaMcomosoluçãocorrenteedescartaC
7Casoscontrário
8 DescartaM
9Voltaparalinha2

```

Figura 2 -Pseudo -códigoaaplicação

Aavaliaçãodassoluçõesconsistemverificar osvaloresdasEq.(1)e(2),citadasanteriormente.A estepardesoluçãoencontradaéaplicadao critério dePareto,paraadeterminaçãodasoluçãodominante paraoproblema.

4.2Penalidadesaplicadas

Paraaresoluçãodeumdeterminadocircuito,ousuário podeespecificarumvalormínimodetensãoserfornecido.Quandodanãooobtençãodetensãomínimaéaplicadoumapenalidadenasoluçãoproposta,fazendocomqueasEq.(1)e(2)assumamovalormáximo,ouseja,unitário.Comooproblema emanalisesemanaturezadeproblemaem minimização,seasoluçãopropostaoseravaliada atravésdePareto, nãoformasoluçãodominante, estaserádescartada.Aanálisedaaplicaçãodas penalidadesémostradanaFig.(3).

```

1Avaliasoluçãopropostaatravésdofluxode
potência
2Verificaovalordetensãomínimadocircuito
3Setensãomínimaabaixodetensãosexigida
4  $f1=1$  e  $f2=1$ 
5Setensãomínimaacimadatensãosexigida
6Calcula  $f1$  e  $f2$ 
7 Determinam  $f1$  e  $f2$ 

```

Figura 3 -Pseudo -códigoaaplicação

4.3Ponderaçãodasvariáveis

Oalgoritmo procuradeterminarumasoluçãotécnico-econômicaadequadaparaumcircuitodarededistribuição,relacionadoatrocadecabosefaseamento de consumidores. ParaaavaliaçãodaEq.(2)relativaacustodetrocadecabos,éconsideradumpreçovariáveldeacordocomabitolasugeridapelo

aplicativo.Paraprivilegiaratrocadefaseamentode consumidoreséconsideradaarelaçãode1:10comrelaçãoaomenorcustodocabocomercialadotado. Destaforma,oalgoritmotendeafavoreceratrocadefaseamento de consumidores deformaresolver aquedadetensão.

5 Resultadosobtidos

ParaavaliaçãodoalgoritmofoimontadaasituaçãomostradanaFig.(4),quereferese auma situação real instalada na rede de distribuição. O problema do circuito refere-se a queda de tensão elevada no poste de índice (17), tratada basicamente um circuito com uma grande concentração de unidades consumidoras do tipo residencial, sendo este composto de um total de 62 consumidores.

A configuração do circuito com relação aos cabos condutores e cargas pode ser observado através das Tabelas (3) e (4) respectivamente.

Tabela 3 -Configuraçãodecabosdocircuito

Trecho entre postes	Cabo Comercial
1-2	4/0AWG
2-3	4/0AWG
3-4	4/0AWG
5-6	2/0AWG
5-7	2/0AWG
7-8	2/0AWG
8-9	2/0AWG
1-10	4/0AWG
10-11	4/0AWG
11-12	4/0AWG
12-13	4/0AWG
14-15	02AWG
15-16	02AWG
16-17	02AWG

Tabela 4 -Cargasevalordetensãoporpostedocircuito

Poste	Carga por Fase (kVA)			Tensão
	A	B	C	
1	0,90	0,95	1,66	127
2	0,95	1,49	0,00	125
3	0,00	0,00	0,00	124
4	0,54	1,10	0,56	123
5	0,00	0,00	0,00	123
6	2,16	0,57	0,58	122
7	2,09	2,07	0,58	122
8	4,38	3,72	3,38	121
9	1,44	0,91	1,92	121
10	0,00	0,00	0,00	123
11	0,00	0,00	0,00	120
12	8,97	12,22	12,02	119
13	0,79	0,79	1,32	118
14	0,38	0,38	0,38	120
15	0,61	0,97	2,54	119
16	3,81	1,48	2,79	117

*17	0,03	1,22	4,38	115
-----	------	------	------	-----

Após a aplicação do algoritmo foi sugerida uma nova situação de carga, porém abitolados cabos permanecem a mesma. A configuração final do circuito com relação a cabos de carga pode ser servada através das Tabelas (5) e (6) respectivamente.

Tabela 5 - Nova configuração de cabos do circuito

Trecho entre postes	Cabo Comercial
1-2	4/0AWG
2-3	4/0AWG
3-4	4/0AWG
5-6	2/0AWG
5-7	2/0AWG
7-8	2/0AWG
8-9	2/0AWG
1-10	4/0AWG
10-11	4/0AWG
11-12	4/0AWG
12-13	4/0AWG
14-15	02AWG
15-16	02AWG
16-17	02AWG

Tabela 6 - Nova configuração de cargas do circuito

Poste	Carga por Fase (kVA)			Tensão
	A	B	C	
1	0,90	0,95	1,66	127
2	0,95	1,49	0,00	125
3	0,00	0,00	0,00	124
4	0,54	1,10	0,56	123
5	0,00	0,00	0,00	123
6	2,16	0,57	0,58	122
7	2,09	2,07	0,58	122
8	4,38	3,72	3,38	121
9	1,44	0,91	1,92	121
10	0,00	0,00	0,00	124
11	0,00	0,00	0,00	121
12	8,97	12,22	12,02	119
13	0,79	0,79	1,32	118
14	0,38	0,38	0,38	121
15	0,61	0,97	2,54	121
*16	4,03	1,48	2,57	119
*17	1,23	1,51	2,89	118

5.1 Parâmetros do algoritmo genético

Para a simulação do circuito foi considerada uma probabilidade de mutação de 0.01, taxa de crossover de 0.7, população de 400 indivíduos analisada em 1000 gerações. A simulação foi realizada em um Sparc Station E3500 com tempo total de processamento de 1 hora e 30 minutos.

6 Conclusão

O algoritmo genético utilizado para resolver o problema, forneceu uma boa solução para a determinação da configuração de carga e cabos de um circuito. Considerando estes dois critérios de soluções,

troca de cabos e mudança de faseamento, praticamente trata-se de uma grande quantidade de circuitos nos quais são realizadas análises pela concessionária. A análise de um sistema elétrico faz-se por meio de simulações. Uma vez fornecidos os elementos conhecidos de uma sequência de ações e estas resolvidas, tem-se o resultado para uma condição considerada de operação. A simulação de rede elétrica representa a principal atividade para o planejamento da expansão e operação a serem realizadas. Com a utilização de algoritmos genéticos, procura-se diminuir a complexidade dos métodos relacionados para resolver problemas de natureza, podendo suprir boas soluções técnicas com um tempo de análise e desenvolvimento menor para sua implementação.

Com a utilização desta metodologia proposta e dos produtos obtidos através desta, pode-se prover uma solução referente a necessidade de simplificar a apresentação dos dados e a análise dos resultados. Tendo em vista que os métodos de análise de sistemas de potência estão sendo utilizados por uma grande variedade de pessoas que possuem pouco tempo para a preparação e análise dos dados. Uma melhor estruturação dos produtos de saída gerados pelo sistema pode constituir um ponto forte do sistema proposto. Deve-se ressaltar que este sistema terá como uma de suas metas a determinação adequada da configuração de cabos e faseamento de consumidores, de uma forma clara e precisa para o usuário de uma parte técnica.

Outra meta a ser atingida refere-se à inteligência artificial incorporada ao sistema, procurando-se proporcionar um diferencial neste tipo de sistema. A análise criteriosa das possíveis alternativas de operação e de possibilidades de determinação da melhor utilização dos equipamentos envolvidos. A existência de um "ponto ótimo" de operação de equipamentos simplifica quem muitas situações podem ser minimizados os custos relacionados à manutenção e construção de rede. Este aplicativo também pode ser utilizado para o treinamento de novos projetistas de redes, que poderão simular vários estudos e realizar uma análise dos relatórios.

Referências Bibliográficas

- Goldberg, David E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison Wesley, 1989
- Holland, J.H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Michigan Press, 1975
- Mistch, James V. *Stretching the limits of Power System Analysis*, *IEEE Computer Applications*, Jan, 1993

Pareto, Vilfredo, *Cours d'Economie Politique*.
Lausanne: Rouge, 1896.

Stevenson, W.D. *Elements of Power System
Analysis*, McGrawHill Fourth Edition, 1987

Weedy, B.M. *Sistemas Elétricos de Potência*,
Editorada Universidade de São Paulo. Editora
Polígono, Tradução de Ernesto João Robba,
1973

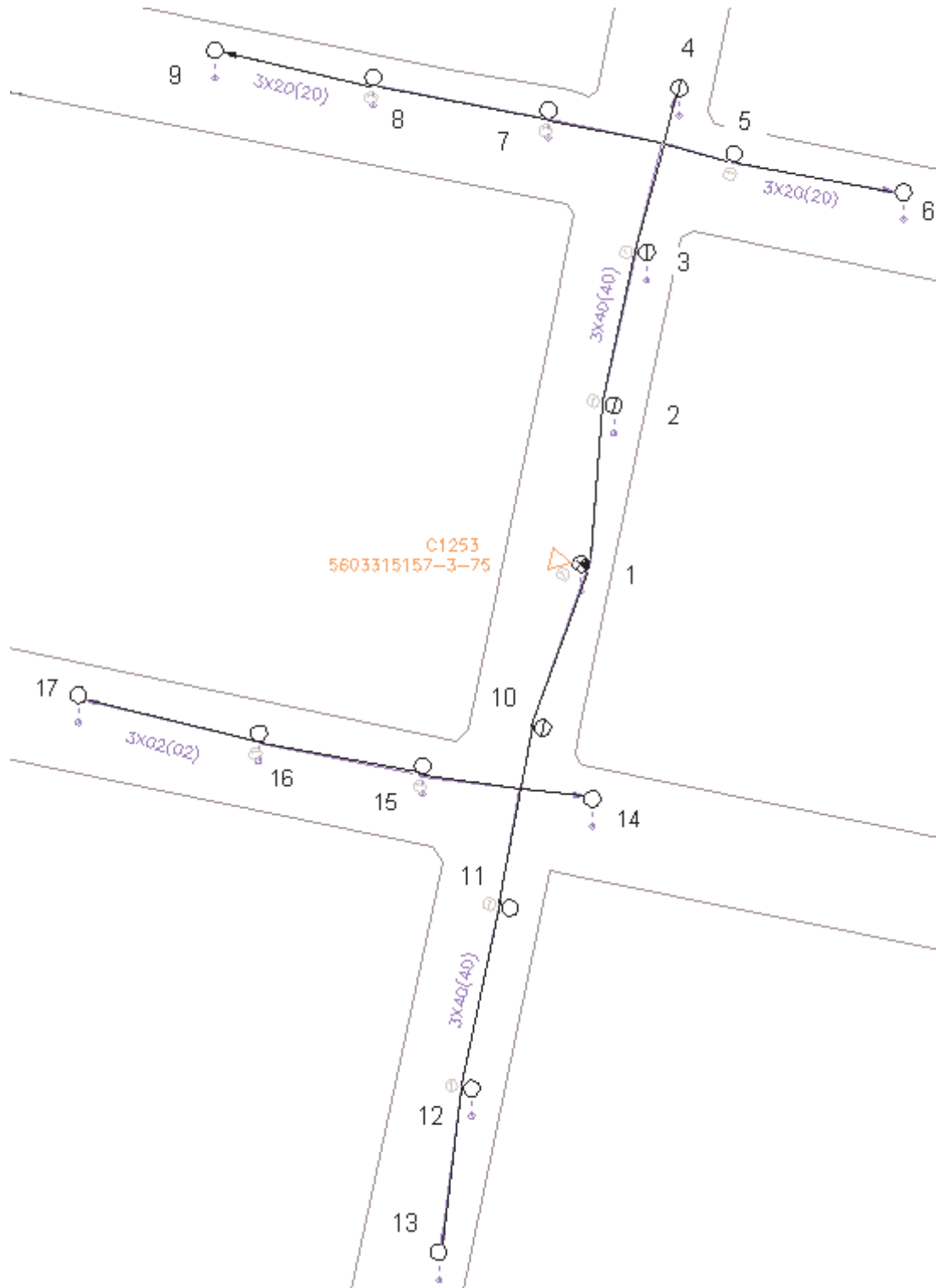


Figura 4 - Topologia do circuito analisado