



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Geração Automática de Diagrama Ortogonal das Redes de Distribuição

Vinícius Magalhães da Cruz Light Serviços de Eletricidade S.A.	Renato Cardoso Mesquita Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Minas Gerais	Daniel Corrêa Ramos Concert Technologies
vinicius.magalhaes@light.com.br	renato@cpdee.ufmg.br	daniel@concert.com.br

Felipe Marques Terra Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Minas Gerais	Raphael Duarte Chaves Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Minas Gerais	Leandro Terra Cunha Melo Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Minas Gerais
fmsterra@gmail.com	raphaeldc@gmail.com	lrcmelo@gmail.com

Palavras-chave

Redes de distribuição

Diagramas Ortogonais

Desenho automático de grafos

Sistemas de Informações Geográficas

Resumo

Os diagramas ortogonais permitem a visualização do estado dos circuitos de distribuição pelos operadores do sistema. A quantidade de diagramas é usualmente extensa e estes sofrem alterações constantes. Portanto, a sua geração e manutenção por desenhistas contribuem para a existência de inconsistências e defasagem nas representações, com impacto negativo sobre as ações de manutenção e restabelecimento do sistema. Por outro lado, os algoritmos atualmente utilizados para geração automática dos diagramas geram desenhos grandes, não compactos e difíceis de serem representados na tela do computador. Isto dificulta o trabalho dos operadores, que precisam navegar por várias telas até encontrar a parcela do circuito a visualizar.

O objetivo deste trabalho é desenvolver e implementar novos algoritmos de geração automática do desenho dos diagramas ortogonais, que gerem representações compactas, o que possibilita gerar diagramas consistentes e, ao mesmo tempo, compactos.

Os algoritmos desenvolvidos operam sobre o grafo do circuito, obtido a partir dos dados do sistema de informações geográficas, e trabalham em três passos: no primeiro, efetua-se a planarização do grafo; no segundo, faz-se a sua ortogonalização - as arestas do desenho do grafo passam a ser horizontais ou verticais; finalmente, efetua-se a compactação do desenho, gerando-se um diagrama de área mínima.

1. Introdução

Diagramas ortogonais são usualmente utilizados para representar sistemas de distribuição de energia permitindo a visualização dos dados da rede de distribuição. Existem diversas maneiras de obter tais diagramas, que dependem das estratégias utilizadas para montar os algoritmos de desenho. Estas estratégias imprimem ao diagrama características diferentes que devem ser modeladas de acordo com os requisitos de desenho, para o tipo de diagrama ou sistema a ser visualizado.

A figura 1 mostra o diagrama ortogonal de um circuito de rede de distribuição gerado pelo sistema SGD da Light. Pela estrutura do desenho gerado, podemos inferir que o algoritmo utilizado para a geração deste desenho é baseado na estratégia dividir para conquistar^{1,2}. De fato, o grafo do circuito, apesar de não ser uma árvore – existem dois ciclos no diagrama – está representado como um desenho horizontal-vertical (*hv*) de árvore binária.

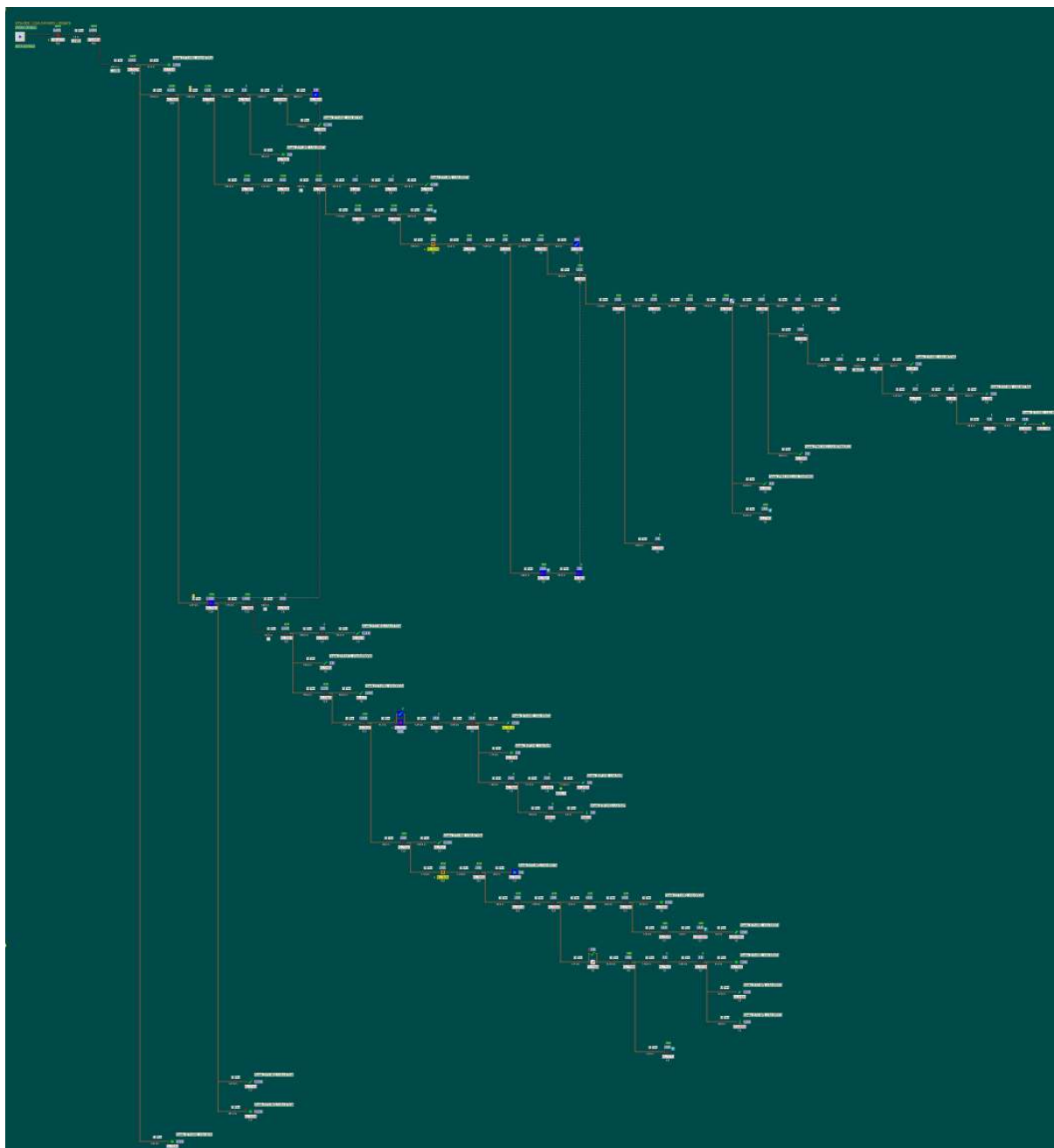


Figura 1: Diagrama ortogonal da LSA – Cavado da Light, gerado pelo sistema SGD.

Os problemas desta representação são evidentes:

- A sua baixa compactação: como o diagrama está pouco compactado, o operador necessita navegar por várias telas para ter acesso aos elementos do circuito – o diagrama não “cabe” em uma única tela com a resolução necessária.
- A existência dos ciclos no grafo faz com que o desenho por uma árvore *hv* não seja adequado pois, apesar do grafo ser planar, existem cruzamentos de arestas gerados pelo desenho dos ciclos.
- Má utilização da área de desenho: há muita informação concentrada em pouco espaço. Deve-se fazer um melhor aproveitamento da área de desenho.

A figura 2 apresenta outro desenho para o mesmo circuito, agora gerado por um desenhista, usando um programa de Projeto Assistido por Computador.

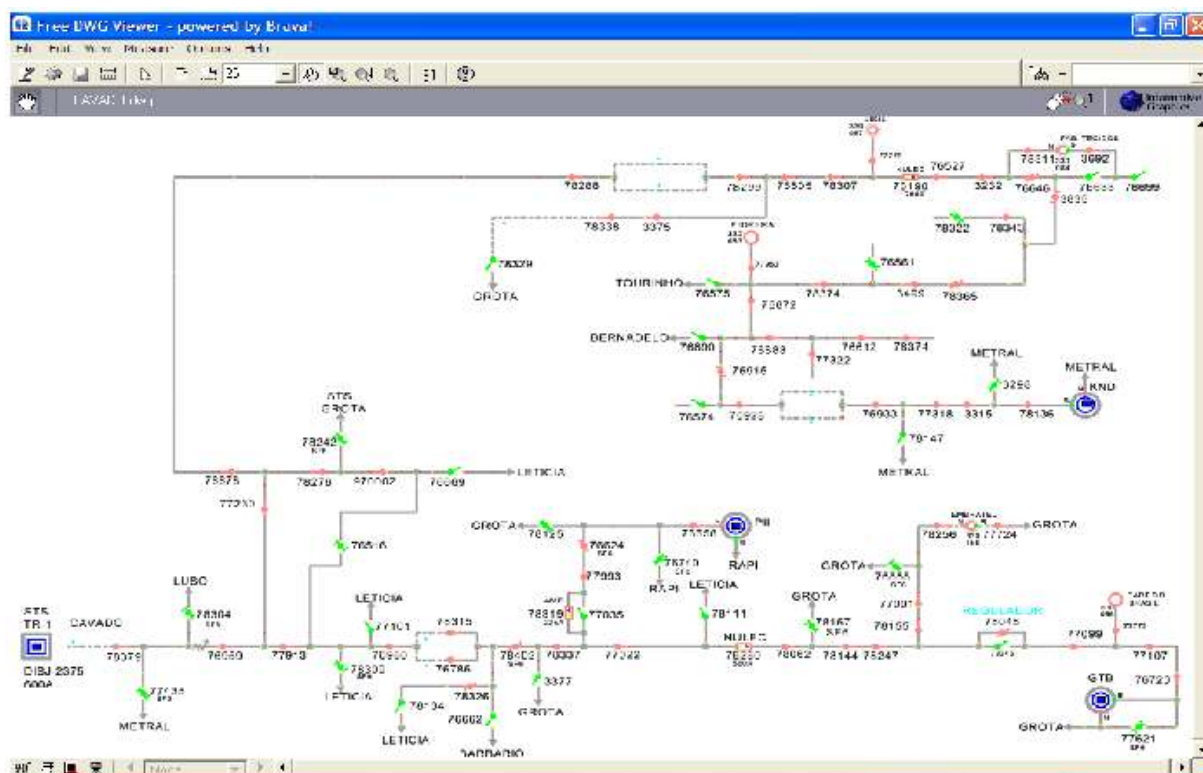


Figura 2 Diagrama ortogonal da LSA-Cavado da Light, gerado por desenhista

As seguintes características são evidentes neste diagrama:

- A representação é muito mais compacta: numa única tela tem-se resolução suficiente para visualizar todo o circuito. Como o desenhista não tem nenhuma das limitações associadas ao desenho *hv*, pode distribuir os elementos do circuito de forma mais apropriada.
- Os laços continuam existindo, mas foram eliminados os cruzamentos desnecessários. O desenhista distribuiu os elementos de modo que os laços ficassem localizados em pequenas regiões do circuito.

O desenho deste diagrama é muito mais fácil de compreender e sua utilização em um quadro sinótico leva o sistema a ter uma usabilidade muito melhor que utilizando o diagrama anterior – figura 1. É importante enfatizar algumas das características do desenho gerado pelo desenhista e que são considerados adequados ao domínio de aplicação:

- O diagrama apresenta arestas sempre em horizontal ou vertical, e não há cruzamentos – ou pelo menos são minimizados ao máximo.
- Foram utilizadas como tentativas de melhoria de visualização:
 - minimizar cruzamentos de arestas;

- minimizar área e utilizar razão de aspecto próxima à da tela do computador;
 - minimizar comprimento das arestas;
 - minimizar número de dobras;
- c) Alguns elementos são localizados em posições específicas. Por exemplo, a alimentação dos circuitos (saída das subestações) está sempre localizada à esquerda do desenho.
- d) Tais características configuram requisitos para uma boa formatação de diagrama de sistemas de distribuição elétricos.

Este trabalho objetiva o desenho automático de diagramas ortogonais de sistemas elétricos de distribuição que atendam todos os critérios estéticos e restrições fundamentais para este tipo de problema. Essencialmente este trabalho segue a abordagem de modelagem de restrições por Programação Linear Inteira que permite maior flexibilidade na inserção de restrições e critérios estéticos, resultando em cumprimento dos requisitos específicos de diagramas ortogonais de sistemas de distribuição.

Para atingir estes objetivos, é apresentada, na próxima seção, uma introdução ao desenho de grafos. A abordagem utilizada para modelagem dos algoritmos deste trabalho é descrita na seção 3 e seu detalhamento é descrito nas seções posteriores. Os resultados obtidos com a aplicação desta metodologia são apresentados na seção 7.

2. Introdução ao Desenho de Grafos

As representações geométricas dos grafos vêm sendo investigadas pela matemática há séculos, tanto para a visualização das estruturas quanto para desenvolver a intuição sobre as estruturas tratadas³. Na década de 1960, cientistas da computação começam a utilizar o desenho de grafos para auxiliar o entendimento do desenvolvimento de software. Em 1963, Donald Knuth⁴ apresenta um artigo sobre o desenho de fluxogramas que é provavelmente o primeiro a apresentar um algoritmo para desenhar um grafo.

A entrada de um algoritmo de desenho de grafos é um grafo G . Para desenhar G é importante levar em consideração suas propriedades combinatoriais como ausência de ciclos, planaridade, direcionamento ou presença de arestas múltiplas. O conjunto de algumas propriedades pode definir que um determinado grafo pertença a uma determinada classe. Esta definição é importante³ para escolha ou eliminação de certos algoritmos para desenho, ou, para a utilização de algoritmos que evidenciem características – planaridade ou conectividade, por exemplo – específicas definidas pelo usuário e que fazem parte da definição de uma classe em particular. Algumas destas características são apresentadas como convenções de desenho, critérios estéticos e restrições.

Uma convenção de desenho corresponde a uma regra básica que deve ser satisfeita pelo desenho. Um desenho ortogonal é definido por arestas retas horizontais ou verticais exclusivamente. A convenção planar define que o desenho do grafo não possa ter arestas se interceptando e a convenção grid define que os vértices devem ter coordenadas inteiras de localização.

Critérios estéticos especificam propriedades do desenho que devem ser aplicadas ao máximo possível, de maneira a se alcançar a facilidade de compreensão do desenho como um todo. De acordo com os critérios^{5,6,7} mais comumente utilizados são:

- a) Cruzamentos: minimização do número de cruzamentos de arestas.
- b) Área: minimização da área do desenho.
- c) Comprimento total de arestas: minimização da soma do comprimento total das arestas.
- d) Máximo comprimento de arestas: minimização do comprimento máximo de qualquer aresta.
- e) Comprimento uniforme de arestas: minimização da variância no comprimento das arestas.
- f) Total de dobras: minimização do número total de dobras nas arestas.
- g) Máximo de dobras por arestas: minimização do número máximo de dobras em uma aresta.
- h) Número de dobras uniforme: minimização da variância do número de dobras nas arestas.

- i) Resolução angular: maximização do menor ângulo entre duas arestas incidente no mesmo vértice.
- j) Razão de aspecto: minimização da razão de aspecto do desenho, definida pela razão entre o comprimento do maior e do menor lado do menor retângulo que cobre o desenho através de lados verticais e horizontais.
- k) Simetria: enfatizar as simetrias do grafo.

Todos os critérios estéticos podem ser modelados em um problema de otimização. Quando vários critérios devem ser levados em conta simultaneamente, os problemas de desenho automático dos grafos podem ser formalizados como um problema de otimização multiobjetivo.

Restrições são tipos de critérios que devem ser atingidos obrigatoriamente:

- a) Centralização: posicionar um dado vértice no centro do desenho.
- b) Externalização: posicionar um dado vértice no limite exterior do desenho.
- c) Agrupamento: posicionar um conjunto de vértices próximos uns dos outros.
- d) Esquerda-Direita: desenhar determinado caminho horizontalmente alinhado da esquerda para direita (verticalmente alinhado de cima para baixo).

Em conjunto, as convenções, os critérios estéticos, as restrições, o contexto da aplicação e a eficiência dos algoritmos, formam os parâmetros fundamentais associados às metodologias de desenho de grafos⁸.

A maioria das metodologias de desenho de grafos estabelece uma relação de precedência entre os critérios estéticos. As estratégias apresentadas na literatura^{7,9,10,11,12} geralmente dividem o processo de desenho de grafos em uma seqüência de passos algorítmicos, cada um adequado para satisfazer uma certa subclasse de critérios estéticos. A estratégia Topologia-Forma-Métrica proposta por^{8,13,14} foi projetada para construir desenhos ortogonais em grid, com tratamento homogêneo de uma grande variedade de critérios estéticos e restrições. Analisando os requisitos para desenhos de sistemas elétricos de distribuição – convencionados ortogonais e planares, às vezes em grid, e que necessitam de inserção de grande conjunto de critérios estéticos e restrições – conclui-se que algoritmos seguindo esta estratégia são mais eficientes.

3. Algoritmo de Desenho de Grafos

O algoritmo proposto para resolução do problema de desenho de grafos ortogonais de sistemas elétricos de distribuição é baseado nas premissas da estratégia Topologia-Forma-Métrica, que apresenta uma estrutura modular evidenciando as seguintes etapas principais, ilustradas na figura 3:

- a) Planarização: determina a topologia do desenho. Nesta etapa é eliminado ao máximo o número de cruzamentos de arestas. Cruzamentos que não podem ser eliminados são representados por um nó “falso” mantendo a propriedade da planaridade. A saída é chamada embutimento planar.
- b) Ortogonalização: determina a forma do desenho. Sua saída é uma representação ortogonal do grafo, no qual os vértices ainda não possuem coordenadas e as arestas possuem uma lista de ângulos determinando as direções das dobras existentes.
- c) Compactação: determina a métrica da representação ortogonal. Nesta etapa são inseridas as coordenadas dos vértices e das dobras das arestas seguindo os critérios estéticos de menor área, entre outros.

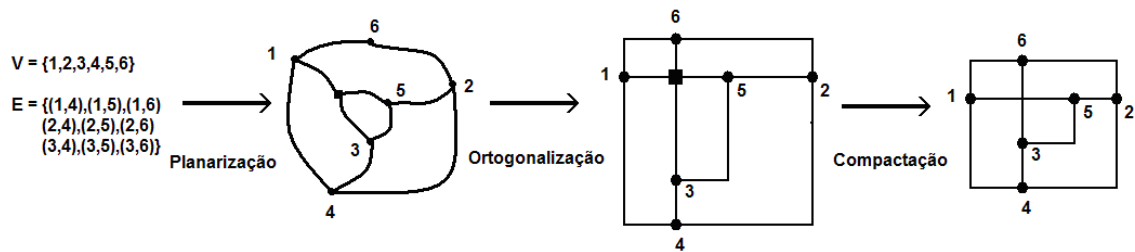


Figura 3: Sequência de passos que define a elaboração do desenho do grafo.

4. Planarização

O objetivo principal da planarização é reduzir ao máximo o número de cruzamento de arestas. Este problema é equivalente ao problema do máximo subgrafo planar, bastante estudado em trabalhos anteriores^{15,16,17,18}. Ambos são problemas *NP-hard*, o que leva grande parte dos algoritmos de planarização a utilizarem heurísticas.

Uma heurística bastante comum para computação de um máximo subgrafo planar⁸ é baseada em verificações sucessivas em um grafo G' para cada inserção individual das arestas do grafo original G . Se em algum instante de inserção, G' se tornar um grafo não planar – com cruzamentos – então G não é planar. O algoritmo de planarização de grafos do estudo⁸ baseia-se na identificação dos máximos subgrafos planares e das ligações das arestas restantes, que caracterizariam um cruzamento, de forma a evitar as interseções. Os procedimentos 1 e 2 mostram uma implementação do algoritmo de planarização.

Procedimento 1: Máximo Subgrafo Planar

Entrada: Grafo G .

Saída: Máximo subgrafo planar G' de G .

- 1: Crie um grafo G' composto apenas pelos vértices de G .
- 2: **Para** toda aresta $e \in G$ **faça**
- 3: **Se** o grafo obtido com sua inserção em G' for planar **então**
- 4: Adicione e a G' e classifique-a como planar.
- 5: **Senão**
- 6: Rejeite e e classifique-a como não-planar.
- 7: **Fim Se**
- 8: **Fim Para**

Procedimento 2: Planariza Grafo

Entrada: Grafo G .

Saída: Embutimento planar G' de G .

- 1: Construa um máximo subgrafo planar G' de G utilizando o procedimento 1.
- 2: Construa um embutimento planar do subgrafo G' e seu dual.
- 3: Adicione as arestas não-planares a G' minimizando o número de cruzamentos da seguinte forma. Para cada aresta (u, v) :
 - ♦ Encontre um caminho de custo mínimo no grafo dual do embutimento atual G' entre as faces incidentes a u e v .
 - ♦ Adicione esta aresta não-planar (com o vértice falso), atualize G' e seu dual.

5. Ortogonalização

Uma solução para o problema de ortogonalização de um grafo, baseada em fluxo em redes¹⁹, é apresentada em um livro clássico de desenho de grafos³. Neste trabalho, adotamos uma solução

alternativa: modelamos o conceito GIOTTO¹⁴ em termos de um problema de Programação Linear Inteira – PLI²⁰.

A etapa de ortogonalização do desenho de um grafo baseada no GIOTTO pode ser reescrita em termos de PLI da seguinte maneira: utilizando-se como entrada o embutimento planar de um grafo $G = (V, E)$, com V vértices e E arestas, tem-se como objetivo minimizar o número de dobras de arestas. Seja $r_{(u,v)}$ o número de dobras de 90° da aresta $e = (v, u)$ e $l_{(u,v)}$ o número de dobras de 270° , pode-se obter um desenho de número mínimo de dobras minimizando a soma das variáveis $r_{(u,v)}$ e $l_{(u,v)}$. O segundo tipo de variável utilizada nas premissas corresponde aos ângulos de vértices. Para cada aresta $e = (u, v)$ pertencente a ordem cíclica $\varepsilon(v)$ há uma variável $a_{(u,v)}$ que denota o ângulo entre e e seu predecessor cíclico no vértice v . O valor de r de uma variável $a_{(u,v)}$ corresponde a um valor de $r \cdot 90^\circ$ do ângulo correspondente. Esta variável possui valor inteiro, já que todos os ângulos são múltiplos de 90° . Desta forma, o problema pode ser modelado em PLI da seguinte forma:

$$\begin{aligned} & \min \sum_{(v,w) \in E} (l_{(v,w)} + r_{(v,w)}) \text{ sujeito a} \\ (T1) \quad & \sum_{(v,w) \in E(v)} a_{(v,w)} = 4 \quad \forall v \in V \\ (T2) \quad & \sum_{(v,w) \in f} (a_{(v,w)} + l_{(v,w)} - r_{(v,w)}) = \begin{cases} 2k - 4 & f \in F_{in}, |f| = k \\ 2k + 4 & f \in F_{out}, |f| = k \end{cases} \quad \forall f \in F \quad (1) \\ (T3) \quad & l_{(v,w)} = r_{(v,w)} \quad \forall (v, w) \in E \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_{(v,w)}, r_{(v,w)} & \in \mathbb{N} \quad \forall (v, w) \in E \\ a_{(v,w)} & \in \{1, \dots, 4\} \quad \forall (v, w) \in E \end{aligned}$$

Onde Fin é o conjunto de faces internas do grafo e $Fout$ o conjunto de faces externas, sendo F o conjunto total e f a representação de uma face na iteração do somatório de (T2). $|f|$ denota o número de arestas de cada face. E e V são os conjuntos de arestas e vértices, respectivamente.

A principal vantagem em se utilizar Programação Linear Inteira para modelagem das restrições está na flexibilidade oferecida por esta metodologia em relação àquelas baseadas em algoritmos de fluxo em redes. Para o caso de visualização de linhas de distribuição de sistemas elétricos, o critério estético de área mínima do desenho é extremamente importante, visto que as anatomias destes tipos de grafos geram segmentos – conjuntos de arestas – muito longos. Para desenhos de grafos de sistemas elétricos de distribuição, podem ocorrer frequentemente características de visualização ruim, como foi detalhado em seção anterior.

Uma saída para estes problemas é a inserção de requisitos no desenho, relacionados à diminuição da área total e de razão de aspecto. Abaixo, a modelagem apresentada por Eiglsperger²⁰ com o incremento de restrições que inserem um controle de razão de aspecto ao desenho elaborado:

$$\begin{aligned}
& \min \sum_{(v,w) \in E} (l_{(v,w)} + r_{(v,w)} + k_{(v,w)} b_{(v,w)}) \text{ sujeito a} \\
& (T1) \sum_{(v,w) \in E(v)} a_{(v,w)} = 4 \quad \forall v \in V \\
& (T2) \begin{cases} b_{(v,w)} > a_{(v,w)} - 2, & \forall v \in V, \quad g(v) = 2 \\ b_{(v,w)} > -a_{(v,w)} + 2, & \forall v \in V, \quad g(v) = 2 \\ b_{(v,w)} > -2, & \forall v \in V, \quad g(v) = 2 \end{cases} \\
& (T3) \sum_{(v,w) \in f} (a_{(v,w)} + l_{(v,w)} - r_{(v,w)}) = \begin{cases} 2k - 4 & f \in F_{in}, |f| = k \\ 2k + 4 & f \in F_{out}, |f| = k \end{cases} \quad \forall f \in F \quad (2) \\
& (T4) l_{(v,w)} = r_{(v,w)} \quad \forall (v,w) \in E \\
& (T5) k_{(v,w)} = \begin{cases} 0, & g(v) \neq 2 \\ 1, & g(v) = 2 \end{cases} \\
& (T6) a_{(v,w)} = \begin{cases} 3, & indice_{(v)} = N \times (2m) \\ 1, & indice_{(v)} = N \times (2m + 1) \\ 3, & indice_{(v)} = N \times (2m) + 1 \\ 1, & indice_{(v)} = N \times (2m + 1) + 1 \end{cases} \quad \forall m \in \mathbb{N}, \quad g(v) = 2, \quad g(w) = 2
\end{aligned}$$

$$indice_{(v)} \in \{1, \dots, N \times N\} \quad \forall v \in V$$

$$l_{(v,w)}, r_{(v,w)} \in \mathbb{N} \quad \forall (v,w) \in E$$

$$a_{(v,w)} \in \{1, \dots, 4\} \quad \forall (v,w) \in E$$

As mudanças podem ser evidenciadas pelas restrições (T2) e (T5) que forçam, para todas as arestas em seqüência que possuem vértices de grau 2, que os ângulos entre elas sejam sempre 180 graus – $a = 2$ – de forma a colocar a seqüência em linha, eliminando curvaturas. Esta restrição baseia-se na propriedade evidente que grafos de circuitos de distribuição de energia têm forma mais longa, com poucas conexões. Esta é uma preparação para que a estrutura do grafo esteja susceptível às restrições que limitarão seqüências de arestas muito longas em linha, objetivando o controle de razão de aspecto e a minimização da área de desenho. A figura 4 exemplifica a idéia de tornar tais grupos de arestas em linha.



Figura 4: Exemplo de grafo com restrições para forçar seqüência de arestas em linha.

A restrição (T6) é aplicável ao mesmo grupo de arestas que abrangem (T2) e (T5). A variável $indice_{(v)}$ corresponde, durante a varredura das arestas com vértices de grau 2, a um iterador que indica a posição da aresta no grafo, em um determinado sentido de varredura.

A variável N corresponde à raiz quadrada do número de arestas com os dois vértices de grau dois – m – ou seja, as arestas sob as quais serão aplicadas as restrições de dobra (T6). Tal definição surgiu da necessidade de se tentar obter razão de aspecto aproximadamente igual a 1 para o grafo, para que haja o máximo aproveitamento possível da área de desenho. Pode-se inferir, assim, que o número total de dobras do desenho (n_{bends}) será tal que

$$n_{bends} = \frac{m}{N + 1}$$

Tal relação vem do fato de que cada dobra é construída através da modificação dos valores de a das arestas N e $N+1$ de um dado conjunto de arestas com vértices de grau 2, onde cada conjunto possuirá $N+1$ arestas. Como o número total de conjuntos é igual a m , o número total de dobras é a razão entre o

número total de conjuntos de arestas com vértices de grau 2 e o número de arestas em cada um destes conjuntos. A figura 5 mostra o grafo anteriormente mostrado na figura 2 com a restrição de minimização de área.

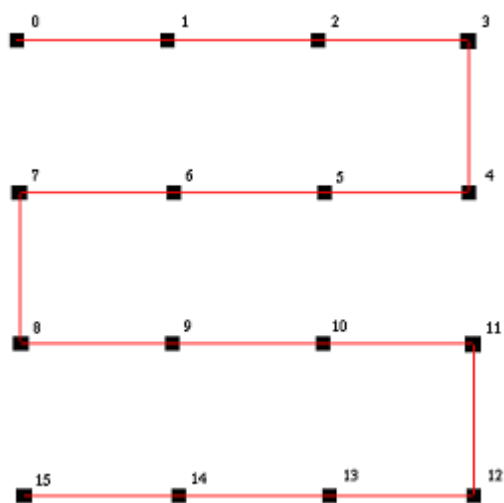


Figura 5: Exemplo de grafo com tentativa de obtenção de razão de aspecto igual a 1.

6. Compactação

A estratégia utilizada para a etapa de compactação é também baseada em uma abordagem de fluxo em redes. Nesta etapa, o resultado da ortogonalização é processado para que as arestas – e segmentos das arestas com dobras – possam ter menor comprimento possível. Nesta etapa também são definidas as coordenadas dos vértices e das dobras das arestas do diagrama ortogonal. O algoritmo utilizado é descrito em detalhes em trabalho anterior⁸.

7. Resultados

Nas figuras 6 e 8 são apresentados diagramas ortogonais de circuitos de alimentadores do sistema da Light. Note-se a extensão dos desenhos, ou seja, uma razão de aspecto ruim dos diagramas originais dos diagramas, que leva o operador a "arrastar" o desenho diversas vezes para obter informações. Para os mesmos alimentadores nas figuras 7 e 9, são apresentados os diagramas ortogonais mais compactos, gerados automaticamente pelos algoritmos propostos neste trabalho

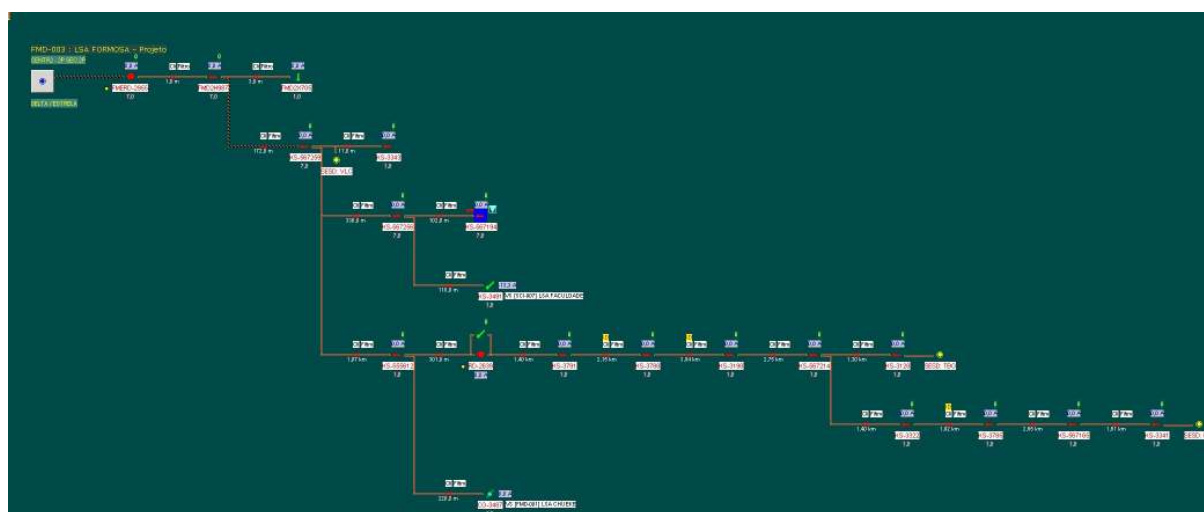


Figura 6: Circuito do alimentador 003 da subestação FMD-Formosa / Light

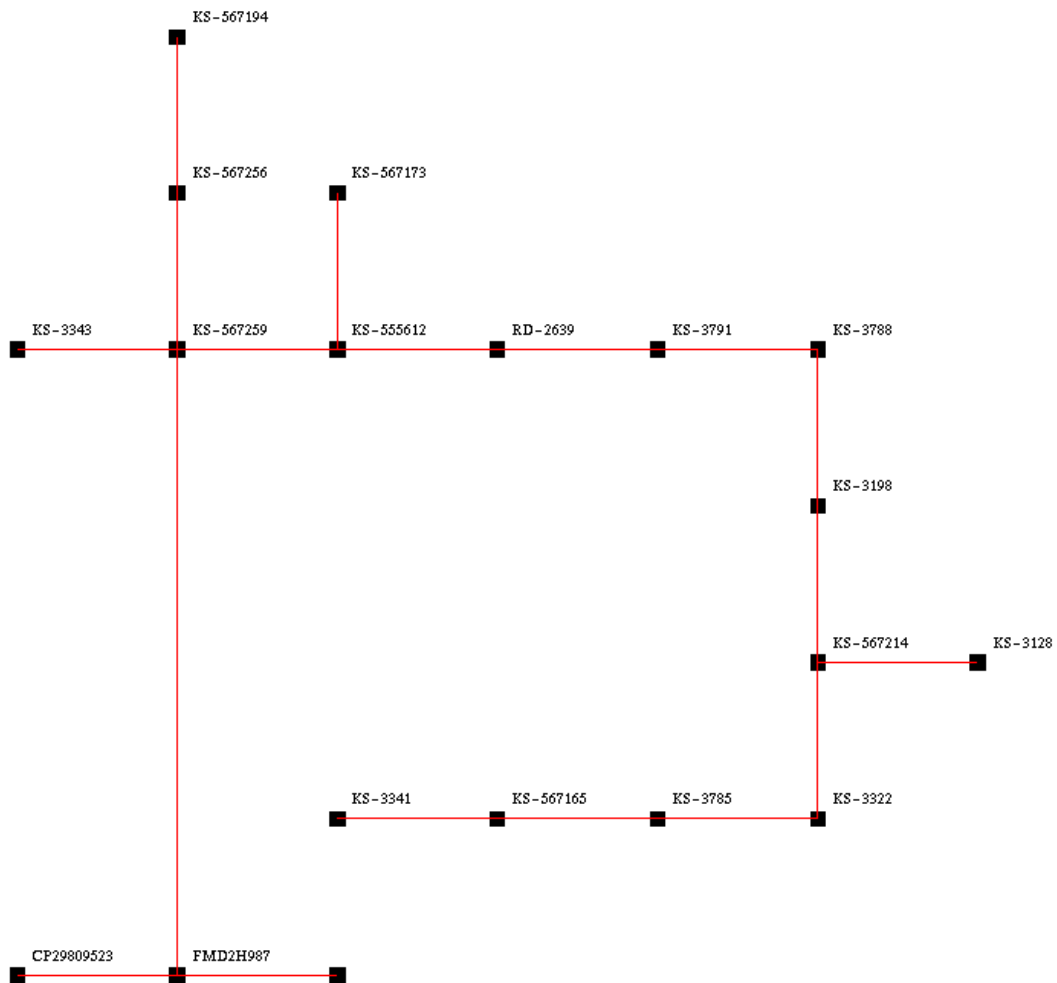


Figura 7: Desenho ortogonal compacto obtido para o alimentador FMD-003.

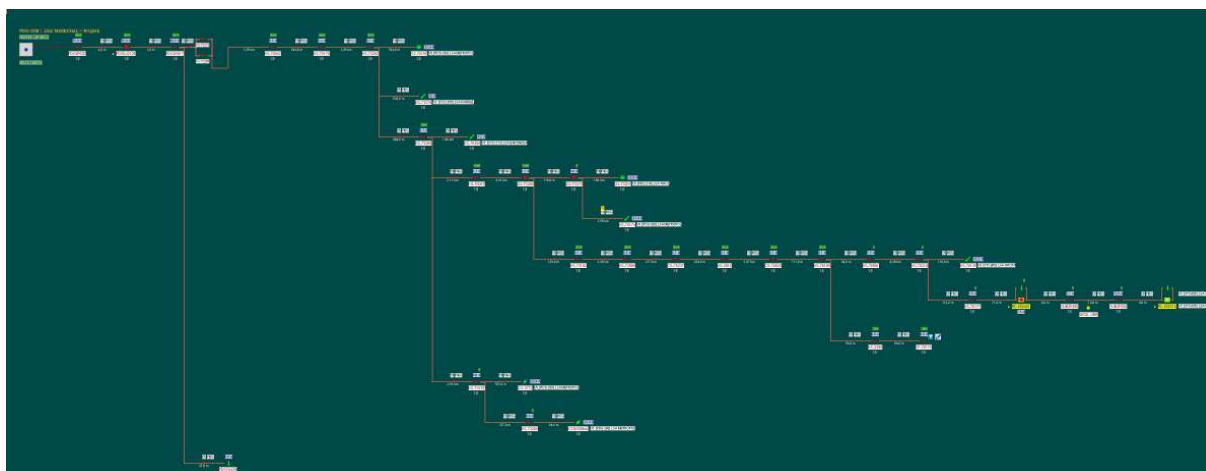


Figura 8: Circuito do alimentador 208 da subestação PDG-Marechal / Light

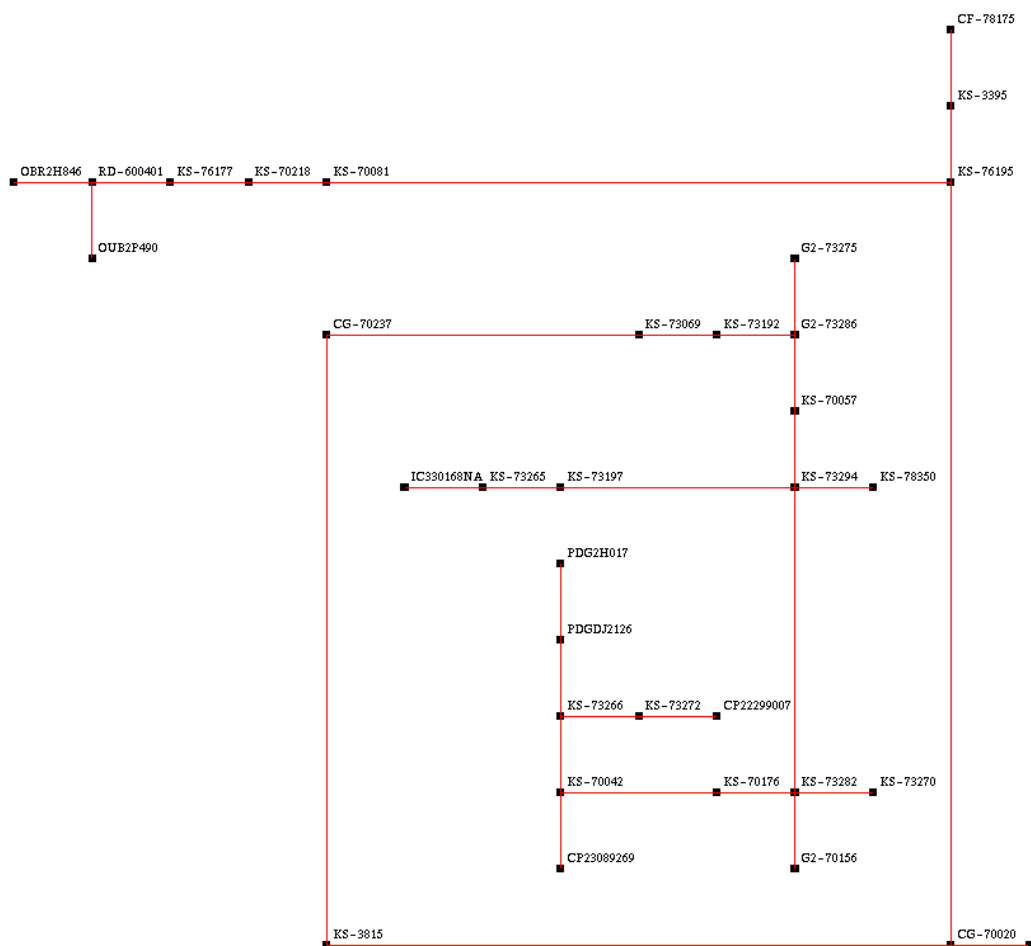


Figura 9: Desenho ortogonal compacto obtido para o alimentador PDG-208.

8. Conclusões

A utilização de Programação Linear Inteira para modelagem da etapa de ortogonalização oferece uma forte vantagem no sentido de flexibilidade nas inserções de restrições ou critérios estéticos. A abordagem em PLI permite que diversas restrições sejam inseridas no modelo e pode permitir a elaboração de critérios que são conflitantes entre si de forma mais simples. As restrições para razão de aspecto, incluídas na modelagem PLI mostraram bons resultados para o problema de baixa compactação e minimização da área, problemas freqüentes em diagramas de sistemas de distribuição elétricos. Os resultados mostrados neste trabalho mostram que o algoritmo gera diagramas menos extensos: a figura 7 mostra a solução para o circuito alimentador FMD-003 que possui uma forma mais extensa, em um diagrama mais compacto, forçando dobras em vértices dobras – neste caso, ângulos diferentes de 180 graus entre determinadas arestas, e não dobras de arestas em si – de acordo com as restrições de razão de aspecto. A figura 9 também apresenta uma solução bem mais compacta propiciada pelas dobras inseridas pelo sistema de restrições de razão de aspecto.

Como diretivas de trabalhos futuros, existe a possibilidade da modelagem de outros critérios estéticos e/ou restrições tais como a modelagem das dimensões do vértice, que podem ser aproveitadas para escrita de rótulos aos componentes do desenho do grafo. Outras restrições relevantes neste contexto são o posicionamento de certos vértices em regiões determinadas do desenho^{21,22} e o controle das direções de saída de algumas arestas. Ambas as restrições possuem grande relevância para desenhos de sistemas elétricos de distribuição.

8. Referências bibliográficas

- 1 J. Q. WALKER. A node-positioning algorithm for general trees, *Softw. Pract. Exp.*, 1990, 20(7), pp. 685-705.
- 2 E. REINGOLD and J. TILFORD, Tidier Drawing of Trees, *IEEE Transactions Softw. Eng.*, SE-7, no 2, 223-228, 1981.
- 3 G. DI BATTISTA, P. EADES, R. TAMASSIA, and I. TOLLIS. *Graph Drawing – Algorithms for the visualization of graphs*. Prentice-Hall, New Jersey, USA, first edition, 1999.
- 4 D. E. KNUTH- Computer Drawn Flowcharts, *Commun. ACM*, 6, 1963.
- 5 C. BATINE, L. FURLANI, and E. NARDELLI. What's a good diagram? a pragmatic approach. In *Proc. 4th Internat. Conf. on the Entity Relationship Approach*, 1985.
- 6 H. C. PURCHASE, R. F. COHEN, and M. JAMES. Validating graph drawing aesthetics. *Graph Drawing (Proc. GD '95)*, Lecture Notes Comput. Sci. 1027:435_446, Springer-Verlag, 1996.
- 7 K. SUGIYAMA, S. TAGAWA, and M. TODA. Methods for visual understanding of hierarchical systems. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, SMC-11, 2:109_125, 1981.
- 8 C. BATINI, E. NARDELLI, and R. TAMASSIA. A layout algorithm for data-flow diagrams. *IEEE Trans. Softw. Eng.*, 4:538_546, 1986.
- 9 G. D. BATTISTA and R. TAMASSIA, Algorithms for Plane Representation of Acyclic Digraphs, *Theoret. Comput. Sci.*, 61, 175-198, 1988.
- 10 G. DI BATTISTA, R. TAMASSIA and I. G. TOLLIS, Constrained Visibility Representations of Graphs, *Inform. Process. Lett.*, 41, 1-7, 1992.
- 11 M. J. CARPANO, Automatic Display of Hierarchized Graphs for Computer-Aided Decision Analysis, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, SMC-10, no 11, 705-715, 1980.
- 12 J. WARFIELD Crossing Theory and Hierarchy Mapping, *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, SMC-7, no 7, 502-523, 1977.
- 13 R. TAMASSIA. On embedding a graph in the grid with the minimum number of bends. *SIAM Journal Comput.*, 3:421_444, 1987.
- 14 R. TAMASSIA, G. DI BATTISTA, and C. BATINI. Automatic graph drawing and readability of diagrams. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, 1:61_79, 1988.
- 15 R. JAYAKUMAR, K. THULASIRAMAN, and M. N. S. SWAMY. An optimal algorithm for maximal planarization of nonplanar graphs. *IEEE Internat. Sympos. on Circuits and Systems*, pages 1237_1240, 1986.
- 16 M. JÜNGER and P. MUTZEL. Maximum planar subgraphs and nice embeddings: Practical layout tools. *Proc. GD '97*, 1353 of *Lecture Notes in Computer Science*:193_204, 1997.
- 17 G. KANT. An $O(n^2)$ maximal planarization algorithm based on pq-trees. Technical report ruucs-92-03, Dept. Comput. Sci. Utrecht Univ., Netherlands, 1992.
- 18 E. NARDELLI and M. TALAMO. A fast algorithm for planarization of sparse diagrams. Technical report r.105, IASI-CNR, Rome, 1984.
- 19 R. K. AHUJA, T. L. MAGNANTI, and J. B. ORLIN. *Network Flows: Theory, Algorithms and Applications*. Prentice-Hall, New Jersey, USA, first edition, 1993.
- 20 EIGLSPERGER, M., FÖßMEIER, U., KAUFMANN, M. Orthogonal graph drawing with constraints. *Proceedings of the eleventh annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms*, 3-11, 2000.
- 21 M. EIGLSPERGER and M. KAUFMANN Fast compaction for orthogonal drawings with vertices of prescribed size. In *Proceedings of the 9th International Symposium on Graph Drawing (GD'2001)*, Springer, vol. 2265, 124–138.
- 22 M. EIGLSPERGER and M. KAUFMANN Fast compaction for orthogonal drawings with vertices of prescribed size, *Lecture Notes in Computer Science*, 2265: 124-138, 2002