

# SISLOG - Sistemas de Localização de Faltas Georeferenciada

F. J. R. Santana, COELBA, L. A. L de Almeida UFBA e M Fontana, UFBA

**Resumo** - O desempenho das redes de distribuição de energia elétrica é fortemente afetado pelas ocorrências de faltas. Um método que vem ganhando evidência na localização de faltas utiliza sensores alocados em pontos estratégicos ao longo dos alimentadores da rede elétrica. Associando-se as informações provenientes destes sensores com a impedância da falta, calculada pelos relés digitais, é possível obter a localização da falta. O projeto de localização de falta georeferenciada consiste no desenvolvimento de uma solução de software para a Localização Geográfica de uma falta em redes de distribuição. O objetivo do projeto foi desenvolver um software de integração que pudesse estimar de forma precisa o local de uma falta na rede de distribuição primária, minimizando assim o tempo de reparo. Os resultados demonstraram que para alimentadores com um elevado grau de complexidade a utilização da ferramenta desenvolvida possibilita uma rápida localização da falta.

**Palavras-chave** - Localização de faltas, Sislog, Georede, SCADA

## I INTRODUÇÃO

O desempenho das redes de distribuição de energia elétrica é fortemente afetado por diversos tipos de faltas (curto-circuito). Estas faltas impõem, à sociedade, impactos técnicos, econômicos e sociais. Problemas como o de gerenciamento de turmas de manutenção e garantia de indicadores de qualidade de fornecimento de energia são exemplos de impactos técnicos. Em relação aos impactos econômicos, podem-se exemplificar problemas como perdas de faturamento, custos de manutenção e multas de transgressão de indicadores de qualidade. Já em relação aos impactos sociais, vale salientar o custo social da interrupção de fornecimento e o nível de satisfação do consumidor que se reflete na imagem da empresa ante a sociedade. Assim, torna-se claro que o desenvolvimento de mecanismos que reduzam os impactos causados pelas faltas é uma necessidade das concessionárias e, conseqüentemente da sociedade.

As concessionárias de distribuição de energia são equipadas com centros de operação e controle. Estes centros recebem informações provenientes de toda a rede elétrica associada a uma determinada região geográfica, maximizando os recursos de gerenciamento, obtendo-se, assim, um melhor controle das faltas. Entre as informações recebidas, a localização da falta, com as referências geográficas deste local, é de fundamental importância no restabelecimento do sistema elétrico.

Um método usual para a localização de falta nas redes de distribuição lança mão de informação fornecida pelos relés digitais. Esta informação se refere à impedância de falta medida entre a saída do alimentador na subestação e o local exato da falta. Porém, a informação da impedância de falta, não é suficiente para a localização exata da falta. Uma rede de distribuição, em muitos casos, possui um circuito complexo, com várias derivações e diferentes impedâncias características ao longo do circuito. Circuitos com várias derivações proporcionam a existência de falsos pontos de falta (locais com a mesma impedância). A existência destes

(locais com a mesma impedância). A existência destes falsos pontos de falta provoca dificuldades na localização do real ponto de falta e conseqüente demora no restabelecimento da rede de distribuição.

Para que seja possível minimizar a ocorrência de falsos pontos de falta, foi desenvolvido um método que utiliza, além da impedância, as informações fornecidas por sensores de falta estrategicamente posicionados em bifurcações da rede. Com a utilização deste recurso obtém-se um mapeamento do caminho da falta. Todavia, a complexidade de alguns alimentadores pode requerer o posicionamento de um grande número destes sensores. Os custos associados à implantação de uma elevada quantidade de sensores tornariam o processo de localização de falta economicamente inviável.

Buscando minimizar o tempo de reparo, a COELBA lançou um P&D para o desenvolvimento de um software de integração que fosse capaz de unificar as informações obtidas pelo SCADA, pelo sistema Georeferenciado e pelo Tele-atendimento e indicar geograficamente os possíveis pontos de ocorrência da falta. Para minimizar o número de pontos possíveis, o sistema ainda utilizará as informações de sensores, que serão colocados em pontos estratégicos da rede.

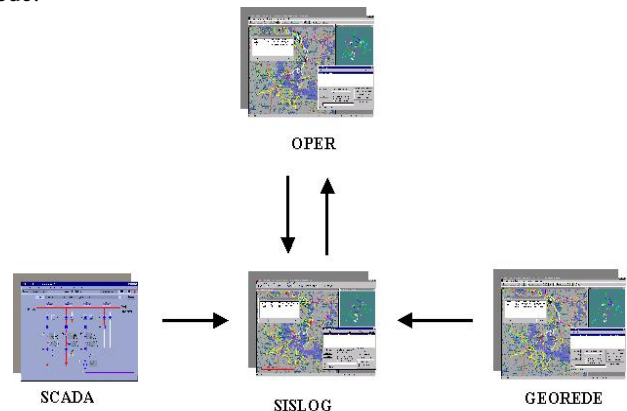


Figura. 1 – Sistema de integração do SISLOG

O Sistema Inteligente para a Localização de Falta Georeferenciada (SISLOG) foi construído em módulos inter-operantes. São eles:

**Módulo GIS** – Interface gráfica GIS responsável pela exibição do desenho da rede de distribuição ao operador. É através desta interface que o operador visualiza a falta através de destaques gráficos exibidos no unifilar (desenho) da rede de distribuição.

**Módulo Banco de Dados** – Módulo responsável pela comunicação entre o Sislog e as bases de dados do Georede e do Scada.

**Módulo Algoritmo** – Módulo responsável pelos algoritmos genéticos e os de detecção da falta. O algoritmo genético será responsável por fornecer a melhor distribuição dos Detectores da Falta e o algoritmo de detecção será responsável por indicar os possíveis locais da falta.

## II REVISÃO TEÓRICA

Nesta seção, inicialmente, são analisados, de forma sucinta, alguns trabalhos voltados especificamente para a localização de faltas em redes de distribuição de energia elétrica. Em seguida, apresenta-se a análise para a minimização do número de sensores, realizada no projeto de pesquisa, Sistema Inteligente para a Localização de Falta Georreferenciada (SISLOG). O projeto de pesquisa SISLOG foi desenvolvido na UFBA em conjunto com a COELBA, no Programa de Pesquisa e Desenvolvimento coordenado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), durante os anos de 2004 a 2006. A seção é finalizada com uma breve consideração sobre os processos de otimização que, potencialmente, serão utilizados no posicionamento de sensores de falta. Assim, esta otimização irá possibilitar uma melhor utilização do método de localização de faltas do projeto SISLOG.

Na literatura, encontram-se muitos trabalhos dedicados ao problema da localização de faltas em redes de distribuição de energia elétrica. O trabalho escrito por Senger Eduardo et al. (2005) [1] desenvolve um método para cálculo da distância de falta, baseado nas informações de oscilografia provenientes dos relés digitais. Um algoritmo de fluxo de potência é usado para avaliar o corte das cargas, realizado pelos fusíveis. Um levantamento estatístico das faltas e suas localizações também são avaliados para se efetuar uma escolha do ponto de falta mais provável. O tipo da falta monofásica, bifásica ou trifásica é usado para que seja possível estimar a resistência de falta, sendo esta considerada nos cálculos da impedância. Como não é proposto nenhum mecanismo que possa definir o encaminhamento da falta, em alimentadores com muitas derivações (encaminhamentos possíveis) que possuem as mesmas características de cargas, encontram-se possíveis erros de estimação.

É proposto por Seung-Jac Lee et al. (2004) [2] um cálculo da impedância de falta em dois passos. Primeiro, o cálculo é efetuado considerando toda a carga do sistema. No passo seguinte, é considerada a informação da carga interrompida após o primeiro religamento efetuado pelo disjuntor na subestação. O referido artigo leva em consideração a existência de religadores posicionados nas derivações. Uma análise da oscilografia é usada para mapear o caminho da falta quando da atuação dos fusíveis, uma vez que a utilização da indicação fornecida pelos religadores proporcionaria informações sobre o caminho da falta, melhorando assim a estimação do local da falta.

No trabalho desenvolvido por Joe-Air Jiang et al., (2003) [3] é proposto um esquema para identificar, classificar, direcionar e localizar faltas em linhas de distribuição que possuam relés nas duas extremidades, com comunicação entre eles e sincronização utilizando um sistema de posicionamento por satélite, Global Positioning System (GPS). O método baseia-se nos valores de corrente e da tensão de falta, adquiridos através de dois relés posicionados nos terminais. Assim, a necessidade de comunicação entre as duas extremidades do alimentador e a sincronização por GPS impõe dificuldades na implantação deste método.

O trabalho desenvolvido por J.F. Miñambres et al., (1992) [4] trata da localização de faltas em uma linha de distribuição com três terminais. É instalado, em cada um dos terminais, um equipamento para medir a corrente e a tensão

da falta. Estes dados são enviados a um algoritmo que processa e encontra o ponto exato da falta. A necessidade de comunicação entre as três extremidades do alimentador, porém, impõe dificuldades na implantação deste método.

Os trabalhos acima citados se ocupam, exclusivamente, da localização de faltas na rede elétrica. No projeto de pesquisa SISLOG, além da localização da falta, é efetuada uma análise para posicionamento ótimo de sensores de falta. Este problema de otimização tem natureza combinatória e multimodal [5] e não pode ser tratado utilizando métodos determinísticos baseados em cálculo variacional. No trabalho desenvolvido nesta pesquisa, implementou-se um método baseado em meta-heurísticas para posicionamento dos sensores [6]. Os sensores alocados por este método foram utilizados no método de localização de falta proposto no SISLOG.

No projeto SISLOG foi implementado o método básico para localização de falta. Uma importante característica do SISLOG é sua integração com o programa de Cadastro Georreferenciado (GEOREDE). O GEOREDE é usado para o cadastro georreferenciado dos equipamentos instalados na rede de distribuição da COELBA. A integração do GEOREDE com o SISLOG possibilita a visualização georreferenciada do alimentador e, conseqüentemente, do local da falta. Outro destaque foi a integração do SISLOG com os dados adquiridos pelo sistema de aquisição e controle da automação (SCADA). O SCADA é responsável pelo fornecimento das informações dos sensores de falta e das impedâncias calculadas pelos relés digitais. Estas integrações atribuíram a característica de sistema de tempo real ao SISLOG.

Os resultados provenientes do estudo de posicionamento dos sensores desenvolvido no SISLOG forneceram uma base de conhecimento útil. Assim, nos parágrafos seguintes, é descrito o estudo para o posicionamento dos sensores, efetuado no projeto SISLOG.

A redução do número de sensores deverá ser tal que não prejudique significativamente a eficácia em determinar o local da falta. Assim, como proposta para a redução dos sensores, considerou-se que não seriam colocados sensores em derivações que tivessem comprimento menor que um quilômetro. Esta consideração resulta no registro de apenas um falso ponto de falta a ser buscado em campo pelas equipes de manutenção. Obviamente, este falso ponto de falta estaria distante de, no máximo, dois quilômetros do verdadeiro local da falta.

De forma a proporcionar uma visualização comparativa entre a proposta de alocar sensores em todas as derivações e a de alocar sensores apenas nas derivações que tenham comprimento maior que um quilômetro, as Figuras 2 e 3 são apresentadas a seguir. Na Figura 2, é visualizado o alimentador 01J3 da Subestação Federação da COELBA, com sensores alocados em todas as derivações, nesta condição seriam necessários 35 sensores. A Figura 3 mostra o mesmo alimentador, onde é aplicada a condição proposta, e com isto o número de sensores foi reduzido para doze.

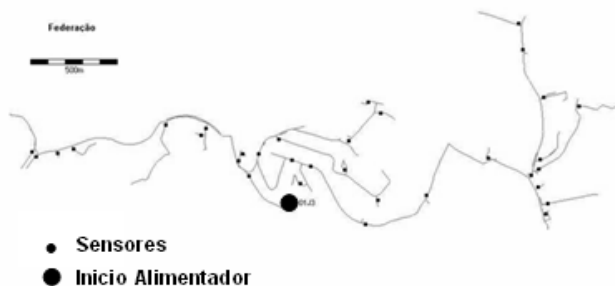


Figura 2 – Alimentador 01J3 da Subestação Federação com sensores em todas as derivações

É evidente que a redução no número de sensores resulta em um aumento na área de busca das equipes de manutenção. No entanto, o que se busca, neste trabalho de pesquisa, é minimizar tal aumento. Inicialmente, parte-se da suposição de que existe uma quantidade fixa de sensores a serem alocados na rede elétrica. A depender da escolha de onde alocar estes sensores, tem-se uma maior ou menor área de busca para as equipes de manutenção.

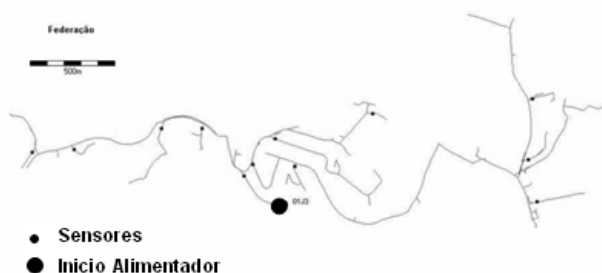


Figura 3 – Alimentador 01J3 da Subestação Federação com sensores alocados para garantir uma separação entre faltas de dois quilômetros.

De forma a facilitar o entendimento da distribuição dos sensores nas derivações de um alimentador, considere-se. Um alimentador teórico representado na Figura 4, neste é mostrado três níveis de derivações. São simuladas faltas a cada 50 Ohms de impedância. Assim, pode-se construir o gráfico da Figura 5, neste são visualizadas duas curvas, desenhadas em um plano cartesiano. Neste plano, o eixo y representa o número de locais em uma dada rede elétrica onde podem ser encontradas faltas, dado que o relé, localizado na subestação, forneceu uma impedância, representada no eixo x. Assim, a curva 1 mostra a situação em que não existem sensores disponíveis a serem alocados na rede. Já a curva 2 mostra a situação em que existem sensores alocados em todas as derivações. Observa-se, para este caso, que o número de locais possíveis de falta é sempre uma unidade. Ou seja, como existem sensores em todas as derivações, o local verdadeiro da falta é sempre determinado *a priori*.

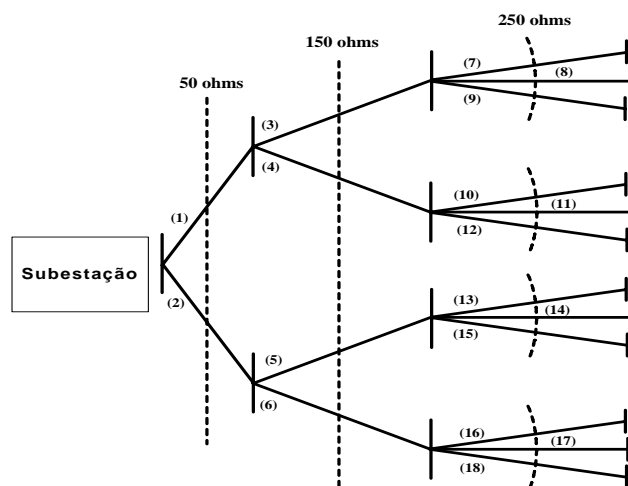


Figura 4 – Alimentador didático

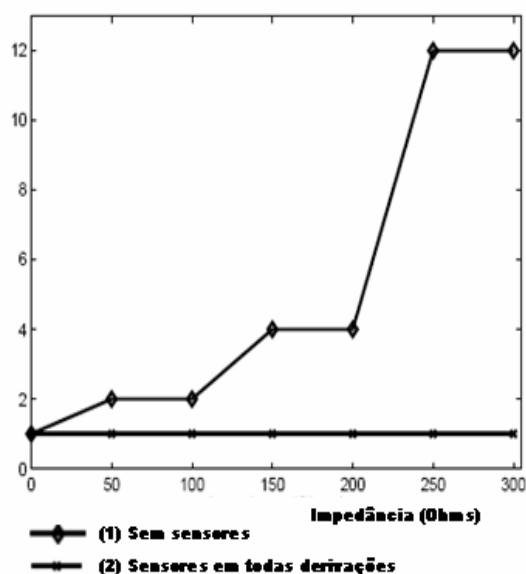


Figura 5 – Gráfico de N. Faltas x Impedância

É importante notar que cada posicionamento de sensores corresponde a uma nova curva. O presente estudo objetiva minimizar a área entre as curvas 1 e 2. Obviamente, quando se minimiza esta área, obtém-se a melhor situação para as equipes de manutenção. No entanto, minimizá-la não é uma tarefa trivial. Métodos de otimização (minimização) tradicionais que utilizam o cálculo de gradientes descendentes, ou baseados no método de Newton, são onerosos computacionalmente [7], requerendo inversões de matrizes de dimensão equivalente ao número de amostras a cada iteração [8]. Além disso, podem convergir para ótimos locais. Neste trabalho, optou-se pela otimização com Algoritmos Genéticos. Algoritmos genéticos são técnicas de otimização que não necessitam do cálculo de derivadas durante a busca do ponto ótimo. São ferramentas matemáticas indicadas para encontrar ótimos globais em espaços de busca onde existam muitos ótimos locais. Ao contrário das técnicas baseadas no cálculo de gradientes, dispõem de recursos para “escaparem” de regiões de mínimos locais [9]. Além disso, especificamente, para o problema abordado, torna-se difícil a definição de uma expressão analítica para a equação da Função

Objetivo. Portanto a escolha pelo algoritmo genética é justificada.

### III. DESENVOLVIMENTO

O projeto envolveu as seguintes etapas: desenvolvimento de uma rotina para otimização do posicionamento dos sensores, desenvolvimento de algoritmo localizador de faltas, desenvolvimento de uma ferramenta para importação dos dados do Georede e uma Ferramenta auxiliar para a contabilização dos locais de falta

#### Algoritmo para otimização do posicionamento dos sensores

Para melhor desempenho na detecção da falta, os sensores deveriam ser colocados em cada bifurcação da rede. Devido ao alto número de bifurcações, seria necessário um número elevado de sensores, resultando em um custo bastante elevado, o que descarta a sua viabilidade. Foi necessário, então, buscar possibilidades de reduzir este número.

Foi desenvolvida uma rotina de otimização baseada em algoritmos genéticos que indica os pontos ótimos para instalações dos sensores. Assim não haverá sensores em cada bifurcação, mas em pontos estratégicos da rede de distribuição, diminuindo significativamente o número de sensores, sem comprometer a eficiência na localização da falta.

#### Algoritmo localizador de faltas

Outro algoritmo importante para o Sislog é o algoritmo localizador de faltas. Este algoritmo deve reunir as informações fornecidas pelo relé e pelos sensores e ser capaz de indicar o local exato da ocorrência da falta. Foi necessária a criação de um banco de dados próprio, que contenha as seguintes informações:

- Localização Georeferenciada de cada trecho;
- Comprimento de cada trecho;
- Impedância característica de cada trecho;
- Postes específicos de derivação;
- Localização geográfica dos sensores;

Para o caso de redes com elevado número de derivações ou circuitos com bitolas de cabos distintas, o cálculo da impedância não fornece informações suficientes para a localização da falta. Assim, para superar esta limitação, devem-se conhecer os pontos de derivação da rede e as impedâncias características de cada trecho. Além disso, é necessária a utilização de sensores que irão auxiliar no mapeamento do caminho da falta. Nos próximos parágrafos, descreve-se o método básico utilizado para a localização da falta.

O diagrama apresentado na Figura 6 ilustra um alimentador de distribuição. Nesta ilustração, são mostrados sete níveis de derivação. Cada derivação é dividida em trechos. Um trecho possui uma impedância característica  $z_{m,n}$ (Ohm/km) e um comprimento  $d_{m,n}$  (km). Efetuando o produto ( $z_{m,n} * d_{m,n}$ ), é obtida a impedância do trecho. Os índices  $m$  e  $n$  são descritos abaixo:

$m$  - Nível em que se encontra a impedância

$n$  - Trecho especificado, associado ao nível em que se encontra.

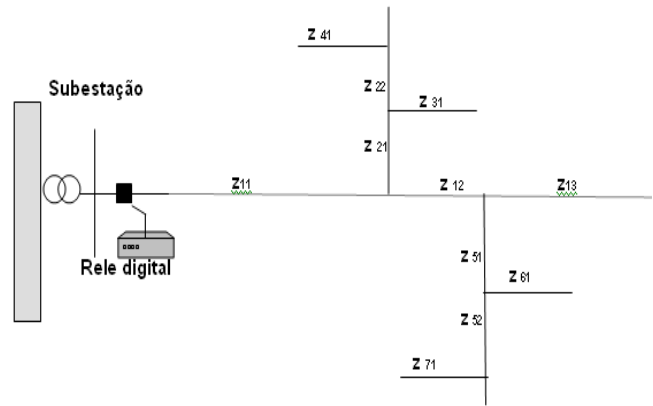


Figura 6 – Alimentador Ilustrativo.

A finalidade da criação desse banco de dados é que a indicação da localização da falta seja dada num curto espaço de tempo em relação ao momento da falta, pois, dessa maneira, o algoritmo irá buscar as informações dentro de um universo bem menor, que conterá apenas as informações necessárias para o seu funcionamento.

Para ilustrar o método básico, é suposta uma falta no trecho  $Z_{41}$ (Ohm/km), mostrada na Figura 7. No momento em que a falta ocorre, o relé fornece um valor de impedância  $Z_L$ (Ohm). Todavia, há vários possíveis caminhos através das derivações do alimentador que fornecem impedâncias de falta iguais. Para obter o valor estimado da impedância de cada caminho, é obtida uma expressão que resulta do somatório das impedâncias de cada trecho do caminho até o ponto final. Como cada trecho é definido com sua impedância por Km e pelas coordenadas georreferenciadas deste, é possível utilizar a referida expressão para obter os diversos locais com impedância igual à fornecida pelo relé. De maneira genérica, utiliza-se a equação 1:



Figura 7 – Localização exata do ponto da faltas no trecho  $Z_{41}$ .

O algoritmo de localização de falta é baseado no cálculo de variação de impedância. Desta forma, se ocorrer uma falta, o algoritmo localizador apresenta o seguinte procedimento:

- Recebe as informações vindas do relé, contendo a impedância total da falta ( $Z_t$ ) e um falso valor de distância, que deve ser descartado;

- Recebe as informações dos sensores contendo o caminho da falta;
- É realizado um cálculo sucessivo das impedâncias de cada trecho, fazendo o somatório uma a uma, seguindo o caminho descrito pelos sensores;

$$Z_T = \sum z d \text{ (Ohm)}. \quad (1)$$

- Quando esse somatório ultrapassar o valor da impedância total, é feito o recálculo da distância exata da falta.

$$d'_{m,n} = \frac{Z_L - \sum z d_{(Anteriores)}}{z_{m,n}}, \quad (3)$$

em que:

$\sum z d_{(Anteriores)}$  – Somatório do produto das impedâncias características pelos comprimentos dos trechos anteriores ao trecho da falta.

#### Ferramentas para importação dos dados do Georede

O georede é um sistema de GeoEngenharia onde foram unidas as tecnologias SIG (Sistema de Informação Geográfica) à tecnologia CAD (Projeto Auxiliado por Computador). O sistema agregou o conceito de base de dados georreferenciada e contínua, a facilidade, flexibilidade e riqueza de detalhamento de desenho existente no Microstation. O Georede possui arquitetura cliente servidor, com banco de dados Oracle, possuindo um servidor para dados e outro para os aplicativos.

Resumidamente, o método básico utilizado para a localização de faltas pode ser descrito pelos seguintes passos:

1. Recebe-se a informação vinda do relé, ou seja, a impedância total da falta  $Z_L$  (Ohm);
2. Calcula-se o somatório das impedâncias de todos os caminhos que possuem impedância igual à fornecida pelo relé;
3. Identificam-se no alimentador todos os possíveis locais de falta;
4. Recebem-se as informações sobre os estados dos sensores (ativado/desativado);
5. Com as informações dos sensores, é determinado o caminho percorrido pela falta, desde a saída do alimentador na subestação até o local exato.

A utilização de sensores em todas as derivações é técnica e economicamente onerosa. Além dos elevados custos com aquisição, instalação e manutenção, é necessário, também, prover meios de comunicação entre estes e um centro de controle remoto.

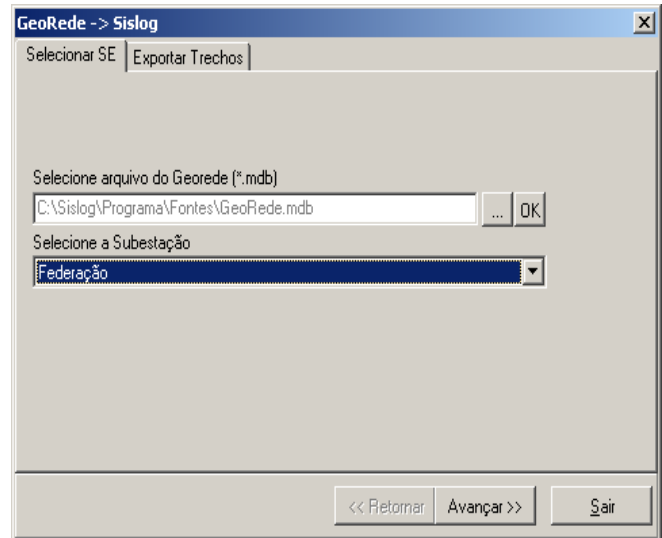


Figura 8 - Ferramenta de Importação dos dados do Georede

Foi desenvolvida uma ferramenta para a importação e tratamento dos dados gerados pelo Georede. Esta ferramenta organiza as informações do Georede visando o aumento do desempenho do algoritmo de localização da falta. Ela reduz a quantidade de Trechos (*é considerado um trecho um cabo entre 2 postes*) de um alimentador, unindo os trechos subjacentes e com a mesma bitola em apenas um. Esta ferramenta leva em consideração as derivações da rede, ou seja, caso haja uma derivação em um nó, esta derivação é considerada como um novo trecho. A chamada a esta ferramenta de importação dos dados do Georede é visualizada na Figura 8.

Foi desenvolvida a programação de visualização do desenho (Unifilar) da rede de distribuição onde esta é totalmente operacional. É possível acessar qualquer informação da falta, ou de qualquer outro atributo do trecho, diretamente do desenho da rede, sem a necessidade de buscar tais informações em uma outra aplicação de função semelhante.

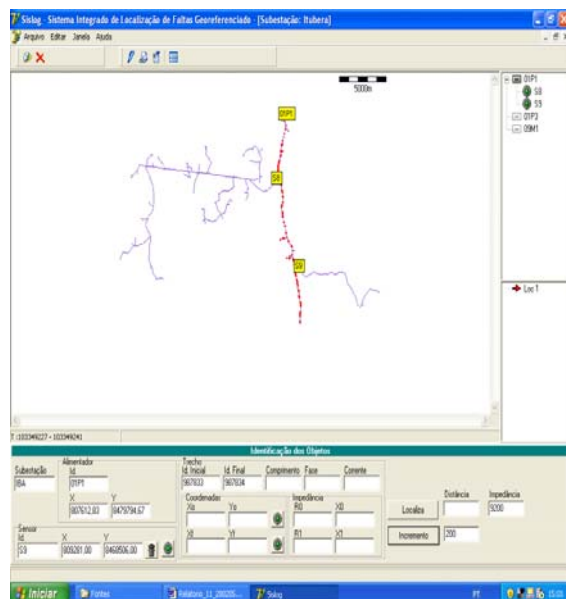


Figura 9. Tela de Visualização do Desenho.

Para possibilitar a implementação do método utilizado, foi necessária a adoção de duas considerações. A primeira é a utilização de um passo de impedância. Com este

passo de impedância, o algoritmo responsável por quantificar o número de possíveis faltas percorre todo o alimentador em passos iguais. Neste trabalho, o valor usado para este passo foi de 50 Ohms. Assim, com este valor de passo, todo o alimentador é percorrido com intervalos de aproximadamente 200 metros conforme mostrado na Figura 9. Vale ressaltar, novamente, que os valores de impedância são medidos a partir do início do alimentador na subestação. A segunda consideração adotada é a divisão do alimentador em células geográficas retangulares iguais, de aproximadamente 1.500 metros de lado, conforme mostrado na Figura 10. Com a divisão do alimentador em células, admite-se que todas as faltas, ocorridas dentro da mesma célula são agrupadas em uma única falta. Considerar o alimentador como sendo um conjunto de células iguais ao tamanho sugerido acima é possível, pois esta distância máxima de 1.500 metros, entre dois possíveis pontos de falta, não prejudica o trabalho das equipes de manutenção para encontrar o real local da falta.

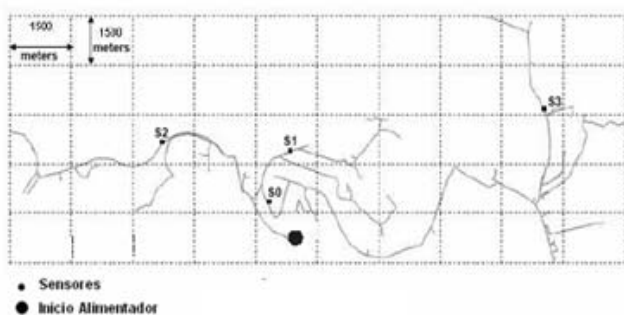


Figura 10 – Alimentador dividido em células

#### *Ferramenta auxiliar para a contabilização dos locais de falta*

Para se analisar a localização das faltas em um alimentador, é necessária a utilização de um banco de dados, que, em muitos casos, possui uma grande quantidade de dados desnecessária ao objeto de localização da falta. Assim, um novo banco de dados deverá conter as informações pertinentes ao método proposto nesta pesquisa. Os principais dados são: impedância de cada trecho, comprimento, localização das derivações, posicionamento dos sensores, estado dos sensores e outros. Será preciso que a ferramenta de auxiliar acesse este banco de dados para resgatar todas as informações referentes ao alimentador analisado. Tendo em vista as dificuldades apresentadas em se lidar com um elevado número de informações, tornou-se necessário datar esta ferramenta auxiliar de técnicas que lhe proporcionasse o desempenho requerido ao problema.

Conforme dito anteriormente, a ferramenta auxiliar contabiliza todos os locais de falta para um determinado valor de impedância. Para o desenvolvimento do algoritmo desta ferramenta auxiliar, foram usadas as técnicas dos Grafos, especificamente a teoria de Busca em Largura (Breadth First Search – BFS). A seguir faz-se uma breve explicação desta teoria.

A técnica do Algoritmo em grafos BFS, aqui apresentada é utilizada no desenvolvimento da ferramenta auxiliar, evitando-se possíveis erros na contabilização do número de faltas. Outro importante ganho do uso desta técnica é a agilidade adicionada ao processamento das informações de busca de todos os locais de falta no alimentador.

O processo BFS baseia-se na varredura dos vértices do grafo, nível a nível. Entende-se por nível, o conjunto de vértices que possui a mesma escala hierárquica, conforme se representa na Figura 11. Todo o vértice pertencente a um nível  $k$  é percorrido antes de qualquer vértice pertencente a um nível  $k+1$

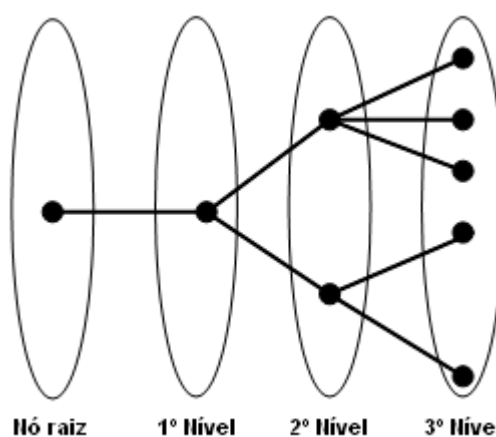


Figura 11 – Representação da organização em níveis hierárquicos

No método BFS o processo é iniciado por um vértice aleatório. No problema tratado nesta pesquisa, o vértice de início é localizado na saída do alimentador, cada nível corresponde a um conjunto de derivações. Como exemplo, considere-se a Figura 10, onde se visualiza um grafo teórico com nove vértices. Seleciona-se o “s” como vértice inicial. Todos os vértices adjacentes a “s” são percorridos sequencialmente.



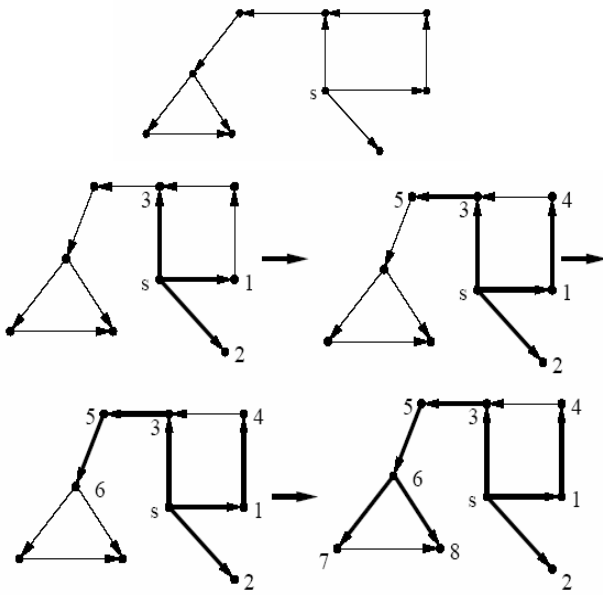


Figura 12 – Representação do percurso efetuado pelo algoritmo

Neste algoritmo, utiliza-se a estrutura de programação chamada fila. Nesta fila, são armazenados, inicialmente, todos os vértices adjacentes ao vértice inicial. Toda vez que um vértice é percorrido, o algoritmo executa sua remoção da fila, e seus vértices adjacentes ainda não percorridos são incluídos no final da fila. Na Figura 12, ilustra-se a movimentação dos vértices na fila enquanto o algoritmo BFS é executado. Ao fim da execução do algoritmo, obtém-se a contabilização eficiente de todos os vértices. Desta forma, garante-se não ter havido falta e nem redundância no percurso dos vértices. A árvore geradora de custo mínimo é representada pela Figura 13. A árvore é chamada de geradora de custo mínimo por minimizar o custo computacional necessário para o percurso dos vértices.

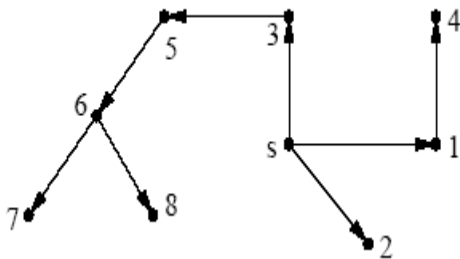


Figura 13 – Menor caminho entre os vértices (árvore de custo mínimo)

O uso da teoria dos Grafos proporcionou um ganho significativo de desempenho no tempo de processamento. Associado a esta teoria, dois outros procedimentos foram utilizados também no sentido de reduzir o custo computacional, conforme descritos a seguir:

- A hierarquia dos vértices é pré-processada e armazenada previamente a execução do algoritmo de percurso dos vértices.
- Todas as possibilidades de posicionamentos dos sensores são executadas em uma única varredura na árvore. Cada uma das possibilidades processa sua análise ‘em paralelo’ com a outra.

Com isso, a lógica usada na ferramenta auxiliar é bastante simples. Em primeiro lugar cada derivação (nó) do alimentador (árvore) que pertence ao mesmo nível, é analisada, depois as derivações no nível subsequente. Para tal, é necessária uma estrutura de dados para gerenciar esta ordem. Como já dito, a estrutura de dados utilizada é o recurso de programação chamado fila.

#### IV. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do projeto Sislog é de extrema importância para as equipes que fazem reparos nas redes de distribuição. Este sistema será capaz de mostrar ao operador o local georreferenciado de uma falta e este poderá deslocar as equipes de manutenção diretamente ao ponto da ocorrência, diminuindo de forma significativa o tempo de médio dos reparos e, conseqüentemente, irá contribuir para uma melhoria nos índices de DEC e TMA.

Com o desenvolvimento deste sistema, será possível se elevar o grau de confiabilidade do sistema de automação. Outra grande conquista, será a redução na quantidade de homens/hora trabalhadas nos procedimentos de localização de faltas.

Sendo assim, o Sistema de Automação da COELBA dotou-se de uma dinâmica similar às necessidades impostas pelo setor elétrico e pela evolução da tecnologia, com flexibilidade e velocidade necessárias à automação de um Sistema de Distribuição.

#### V. TRABALHOS FUTUROS

Pelas pesquisas realizadas, constatou-se o caráter inovador deste. No setor elétrico do Brasil, não se dispõe de ferramentas numéricas para a localização de faltas. A aplicação deste método abre portas para a utilização de métodos numéricos de otimização baseados em análise integrada das informações provenientes do sistema SCADA, com as informações disponibilizadas no cadastro Georreferenciado das redes do sistema elétrico. Como trabalhos futuros propõem-se, inicialmente, a inserção do método em um pacote de ferramentas de sistemas Georreferenciado como o SISLOG, utilizado pela COELBA. Além disso, propõe-se a aplicação deste método para a localização de outros tipos de defeitos que afetam o sistema elétrico.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Senger, E.C. Manassero, G., Jr. Goldemberg, C. Pelinei, E.L. *Automated fault location system for primary distribution networks*. in: Power Delivery, IEEE Transactions on. V.: 20, p.: 1332- 1340, 2005.
- [2] Seung-Jac Lee, Myeon-Song Choi, Sang-Hee Kang, Bo-Gun Jin, Duck-Su Lee, Bok Shin Ahn, Nam-Seon Yoon, Ho-Yong Kim, Sang-Bong Wee. *An intelligent and efficient fault location and diagnosis schene for radial distribution systems*. in: Power Delivery, IEEE Transactions on. v.: 19, p.: 524- 532, 2004.
- [3] Jiang J-A.; Chen C-S.; Liu C-W. *A new protection scheme for fault detection, direction Discrimination, Classification, and Location in Transmission Lines*. Power Delivery, IEEE v. 18, n. 1, p. 34-42, Jan 2003.
- [4] Miñambres J.F.; Zamora I.; Mazón A.J.; Zorrozuza M.A.; Alvarez-Isasi R. *A new technique, based on voltages*

- for fault location on three-terminal transmission lines. *Power Delivery*, IEEE Transactions, v. 7, p. 98-107, 1992.
- [5] Kennedy J.; Spears W. . Matching algorithms to problems: an experimental test of the particle swarm and some genetic algorithms on the multimodal problem generator. In *Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation*, p. 74-77, 1998.
- [6] Raidl G.; Wagner D. T. Bucsics. metaheuristic approaches for designing survivable fiber-optic networks. Master's thesis, Vienna University of Technology, Institute of Computer Graphics and Algorithms. Disponivel em [www.ads.tuwien.ac.at/research/EA/](http://www.ads.tuwien.ac.at/research/EA/), acessado em mar 2007.
- [7] Macdonough, R. N.; Huggins, W. H. Best least-squares representation of signals by exponentials. *IEEE Transactions on Autom. Control*, p. 408-412, August 1968.
- [8] Marple, S. L. *Digital Spectral Analysis with applications*. New Jersey: Addison-Wiley, 1987.
- [9] Goldberg, D. E. *Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning*. Boston, MA, USA, Addison Wesley Longman, 1989.
- [10] Cleyton R. Paul, Keith W. Whites e Fyed A. Nasar "Introduction to Electromagnetic Fields ".
- [11] Seung-Jae Lee, Myeon-Song Choi, Sang-Hee Kang, Bo-Gun Jin, Duck-Su Lae, Bok-Shin Ahn, Nam-Seon Yoon, Ho-Yong Kim e Sang-Bong Wee "An Intelligent and Efficient Fault Location and Diagnosis Scheme for Radial Distribution System.", 2004.
- [12] Mitsaharu Komoda, Takao Kawashima, Masayoshi Arakane, Misugu Aihara, Yasutaka Fujiwara, Junichi Shinagawa "Development of a Current Detection Type Cable Fault Locator", 1991.
- [13] Massayuk Abe e Nobuo Otsuzuki "Development of new fault location System for Multi-terminal Single Transmission Lines", 1995.
- [14] Harry Lee e Abdul M. Mousa "GPS Travelling wave fault locator systems: Investigation into the anomalous measurements related to lightning strikes", 1996.
- [15] "A Three Phase Fault Detection Algorithm for Radial Distribution Networks", publicado em 2002, por D. Thukaram, H.P. Khincha, L. Jenkins, K. Visakha
- [16] J.F. Miñambres, I. Zamora, A.J. Mazón, M.A. Zorrozua, R. Alvarez-Isasi "A new technique, based on voltages for fault location on three-terminal transmission lines", 1996.
- [17] Joe-Air Jiang, Ching-Shan Chen, and Chih-Wen Liu "A New Protection Scheme for Fault Detection, direction Discrimination, Classification, and Location in Transmission Lines, 2003.
- [18] Mladen Keunovic e Branislava Perunic "Synchronized sampling Improves Fault Location", 1995.
- [19] M.M. Tawfik e M.M. Morcos "A Novel Approach for fault Location on Transmission Lines", 1998.
- [20] Zhihong Chen e Jean-Claud Maun "Artificial Neural Network Approach to Single-Ended Fault Locator for Transmition Line", 2000.