Código : 800

SENDI 2004

XVI SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

LOCFALT - NOVA METODOLOGIA PARA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM REDES E LINHAS DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

E. P. Cardoso, S. C. Martha, C. Pereira e R. L. Valadão

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

edgard@cemig.com.br , san@cemig.com.br , clever@cpdee.ufmg.br, rlvaladao@cpdee.ufmg.br

Palavras-chave – Localização de faltas, Linhas de Distribuição, Otimização, Sistema de Controle Aquisição (SCADA), Sistema de Geoprocessamento (GIS) e Relé de Sobrecorrente.

Resumo – Este trabalho apresenta os resultados parciais obtidos no desenvolvimento de um programa de localização de faltas dedicado às redes e linhas de distribuição, denominado LOCFALT. O programa foi inicialmente concebido, para auxiliar aos Centros de Operação da Distribuição (COD) nos desligamentos com perda de carga. Várias chamadas telefônicas de consumidores reclamando pela perda de energia elétrica são feitas a Central de Atendimento e automaticamente repassadas ao COD. Em redes aéreas, a partir desta primeira informação equipes de manutenção são enviadas para inspecionar visualmente os alimentadores, para então serem tomadas as providências necessárias. O LOCFALT foi desenvolvido visando dar maior agilidade e eficiência no envio das equipes de manutenção na ocorrência de faltas permanentes, uma vez que fornece uma clara indicação de uma ou mais regiões que venham a englobar o possível ponto da falta. A localização é realizada através da integração, compilação e manipulação de dados contidos no sistema de geoprocessamento (GIS) que possuem informações detalhadas sobre a topologia, na tabelas de curva tempo versus corrente de relés de proteção e nos tempos de operação da proteção obtidos através do Sistema de Controle e Aquisição (SCADA). O sistema apresenta a flexibilidade de poder agregar outros métodos e dispositivos para a localização de faltas, aproveitando ao máximo o conjunto de informações disponíveis em cada subestação, contribuindo para elevar a robustez, a confiabilidade e a aplicabilidade da ferramenta proposta. Deste modo, são apresentadas as principais características referentes à concepção e as funcionalidades do sistema localizador desenvolvido e sua integração a outras ferramentas computacionais utilizadas pela companhia, finalizando com a apresentação dos testes aos quais foi submetido que mostram sua eficácia na tarefa de localização de faltas em redes e linhas de distribuição.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de transmissão e distribuição constituem-se nos maiores intermediários entre as fontes de energia elétrica e os consumidores. O crescimento e expansão destes setores acirraram a disputa das companhias de energia elétrica pelos mercados consumidores.

Este fato tem exigido um preparo maior das empresas. Os investimentos em pesquisas de novas tecnologias e na compra de modernos equipamentos têm aumentado substancialmente a cada ano. Essa tendência tem tudo para si confirmar nos próximos anos, pois somente desta forma as empresas conseguirão reduzir seus custos operacionais, tornando-se ágeis e competitivas. Além disso, possibilita às empresas a adequação aos critérios de qualidade, cada vez mais rígidos, estabelecidos pelos agentes reguladores do setor, assegurando, em contrapartida, a satisfação de seus clientes.

A CEMIG vem investindo no desenvolvimento de tecnologias para permitir o controle e gerenciamento de sua rede de distribuição. Em operação desde 1998, o sistema Gemini agrega todas as ferramentas para o gerenciamento da distribuição, utilizadas pela companhia, de forma integrada ao sistema de geoprocessamento (GIS). Este sistema, totalmente desenvolvido pela companhia, opera em todos os CODs de forma integrada ao sistema de gerenciamento de interrupções (CONCOD), ao sistema de aquisição de dados SCADA (XOMNI) e ao sistema de localização de veículos (AVL).

Por tudo isso, é grande o interesse tanto da CEMIG quanto das companhias em minimizar o tempo das interrupções no fornecimento de energia elétrica, provocadas normalmente por faltas permanentes comumente originadas por descargas atmosféricas, quedas de árvores ou estruturas, rompimento de cabos, etc. O restabelecimento seguro do fornecimento só pode ser realizado mediante a determinação do local da ocorrência do distúrbio, necessário ao reparo dos elementos do sistema danificados.

Desta forma, o restabelecimento pode ser extremamente dispendioso se o método de localização não determinar eficazmente, dentro de certa precisão, o local de ocorrência da falta permanente. Na sua forma mais primitiva, esta localização é feita através da inspeção visual, onde as equipes de manutenção percorrem extensos percursos do sistema à procura de indícios do evento.

Diversos métodos na literatura já foram propostos para tal finalidade. Para os sistemas de transmissão vários dos métodos propostos [1,2] já demonstraram sua eficácia, possibilitando o desenvolvimento de sistemas localizadores. Contudo, estes e outros métodos, quando aplicados às redes de distribuição, não obtiveram o mesmo sucesso.

O desenvolvimento dos localizadores para a distribuição sempre esbarrou numa série de características inerentes a estes sistemas. Dentre os vários complicadores é possível citar: a heterogeneidade das linhas provocada pela numerosa mudança na bitola e no tipo dos cabos; a grande capilaridade do alimentador devido à presença de ramais laterais; sua assimetria caracterizada pela presença de linhas trifásicas, bifásicas e monofásicas num mesmo alimentador; além do comportamento dinâmico das cargas. Contudo, ainda é possível citar alguns trabalhos na área [3-7].

Este trabalho apresenta os resultados iniciais obtidos no desenvolvimento de um sistema computacional destinado à tarefa de localização de faltas em redes de distribuição, denominado

LOCFALT. Todo o processo de determinação é realizado a partir das informações contidas no sistema de geoprocessamento que possuem informações detalhadas sobre a topologia, na tabelas de curva tempo versus corrente de relés de proteção e nos tempos de operação da proteção obtidos através do SCADA. São apresentadas as principais características referentes à concepção e as funcionalidades do sistema localizador desenvolvido e sua integração a outras ferramentas desenvolvidas pela companhia para a localização de faltas, como o SISLOC (Sistema Localizador de Faltas) apresentado nas referências [5-7]. Os bons resultados alcançados em sua aplicação em casos reais de curtos-circuitos, demonstram a efetividade dos sistemas desenvolvidos pela companhia, mostrando que estas podem ser valiosas ferramentas para as equipes dos Centros de Operação da Distribuição (CODs).

2. O SISTEMA LOCALIZADOR PROPOSTO

2.1. Filosofia

Atualmente, as grandes empresas concessionárias têm disponível em seus bancos de dados, informações detalhadas sobre a topologia e a constituição de suas redes e linhas, como também dos elementos mais comumente encontrados em seus sistemas como transformadores, religadores, relés eletromecânicos ou digitais. Além de toda esta descrição do sistema, estão disponíveis também valores de correntes de curto-circuito em pontos notáveis da rede de distribuição, como chaves facas, por exemplo. Estas informações são obtidas através das ferramentas de gerenciamento da companhia como GIS e o SCADA, bancos de dados de relés, etc.

A metodologia proposta é baseada na manipulação direta destes bancos de dados para o desenvolvimento de um algoritmo para a localização de faltas eficiente e preciso a um custo computacional bem menor para ser utilizado em rede de distribuição de 13,8 kV. Através do tempo de operação (dados retirados do SCADA) das proteções (relés/religadores) é calculado o valor aproximado da corrente de curto (curva tempo versus corrente – relés IAC) que através da correlação com os valores de corrente de curto nos pontos notáveis do alimentador disponível no sistema GIS, possibilita a determinação dos locais de falta.

O sistema localizador desenvolvido também apresenta a flexibilidade de inclusão de novos algoritmos para localização de faltas, expandindo sua utilização a diversos tipos de subestações da companhia. Nas subestações mais modernas, por exemplo, onde são encontrados oscilógrafos digitais é possível o desenvolvimento de algoritmos baseados na componente fundamental em regime permanente senoidal de tensão e corrente, medidas em um terminal da rede de distribuição, durante os regimes pré e pós-falta. Estes dados, associados às informações sobre a topologia do alimentador, presentes no banco de dados da companhia, permitem determinar uma ou mais regiões mais prováveis que englobam o real local de ocorrência da falta permanente.

2.2. Determinação das Curvas dos Relés e Religadores

Os relés instalados nas saídas das linhas de distribuição sejam eletromecânicos ou digitais e os religadores têm características de sobrecorrente de tempo inverso. Desta forma, o tempo de operação é

inversamente proporcional ao nível de corrente de falta, ou seja, quando maior a corrente, menor o tempo de operação.

Os relés de sobrecorrente possuem várias derivações, cada qual correspondendo a uma corrente de acionamento. As curvas características dos relés são expressas em função dos múltiplos destas correntes de derivação. O tempo de acionamento do relé é determinado mediante o ajuste no “dial de tempo” que está associado a um conjunto de curvas.

Conhecendo o *tap* e o *dial* do relé, obtemos o tempo de atuação da proteção se tivermos o valor de corrente e vice-versa, conforme apresentado na curva da Fig 1.

Somente os religadores micro-processados que também utilizam as curvas de tempo versus corrente, podem fornecer estes dados, pois possuem SOE (Seqüência de Operações e Eventos). Atualmente os religadores e relés permitem que suas curvas tempo versus corrente possam ser modeladas de acordo com a necessidade do sistema a ser protegido.

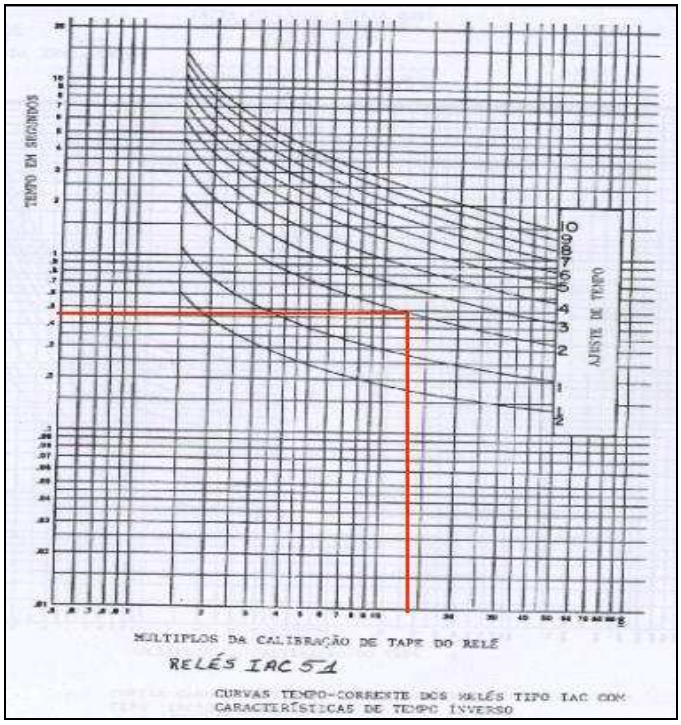

FIGURA 1 - FILOSOFIA PARA DETERMINAR O VALOR DA CORRENTE DE CURTO CIRCUITO.

2.3. Determinação do Tempo de Operação das Curvas dos Relés

Utilizando os SOE que é gerando pelo sistema SCADA onde temos os tempos de partida do *trip* do(s) relé(s) e os tempos de abertura do disjuntor.

2.4. Critério para a Determinação da Solução

As curvas tempo versus corrente e os dados da topologia de rede de todos os alimentadores estão na base de dados do LOCFALT.

A Fig 2 apresenta a primeira tela do LOCFALT onde informamos inicialmente o alimentador, o dia e o horário da ocorrência. Em seguida, na tela de importação do LOCFALT (mostrada na Fig. 3) é

gerada uma TAG (nomeclatura das entidades da base de dados - digital ou analógica) que será pesquisada nos bancos de dados do sistema SCADA.

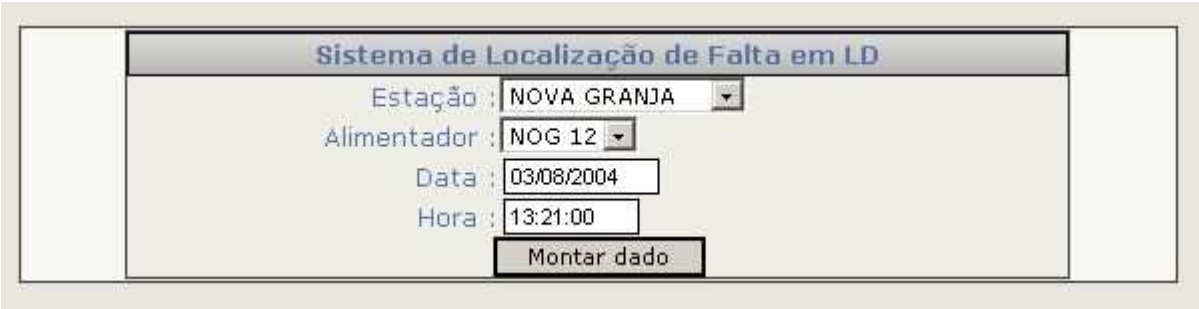

FIGURA 2 - ENTRADA DE DADOS NO LOCFALT

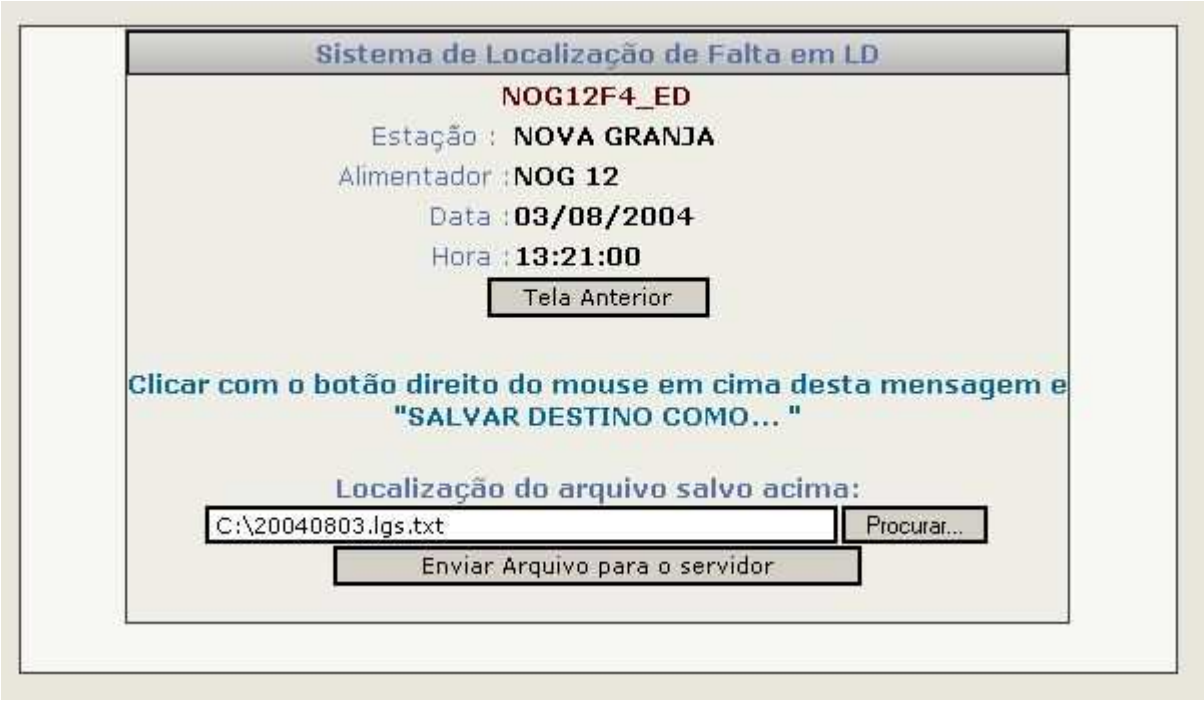

FIGURA 3 – IMPORTAÇÃO DE DADOS DO SCADA (X-OMNI)

Depois de identificada a ocorrência calcula-se o tempo de abertura do disjuntor, bem como o "tempo morto". Com o tempo de abertura, o operador pode optar em função de vários parâmetros como a atuação das unidades de proteção, a característica do curto (alta impedância – se os tempos forem discrepantes) além dos tempos de aberturas dos disjuntores, podendo-se optar pela média (Fig 4). A partir do(s) tempo(s) escolhidos(s), o sistema gera pontos prováveis de localização da falta. Nesta etapa, é realizada a correlação entre as soluções determinadas pelo algoritmo e o sistema real. (Fig 5).

As informações necessárias para as equipes dos CODs estão relacionadas aos trechos do alimentador que as equipes de manutenção devem percorrer para encontrar o local real do curto, definidos dentro de um determinado critério de precisão. (Fig 6)

FIGURA 4 - TEMPO DE ABERTURA DO DISJUNTOR

FIGURA 5 - ESCOLHA DO TEMPO PARA PESQUISA NO GIS (GEMINI)

Estampa de Tempo do SOE

NOG12F4_ED

Estação : NOVA GRANJA
Alimentador : NOG 12
Data : 03/08/2004 Hora : 13:21:00

Tempo(s) selecionados(s)	
1º RA	00:00:00.064
2º RA	00:00:00.065
3º RA	00:00:00.056

Ponto(s) de Possivel Localização

Endereço	Entre Chaves	Descarga Atmosférica
Demetrio Ribeiro	234 /1341	1
Sebastião Teodoro	12333 /4421	4
Elbert Pimenta	12221 /12131	17

FIGURA 6 - PONTOS POSSÍVEIS DE LOCALIZAÇÃO DA FALTA

3. O SISLOC

A CEMIG tem concentrado esforços do desenvolvimento de um conjunto de ferramentas que contribuam para o gerenciamento de seu sistema de distribuição, garantindo a conformidade e a continuidade do fornecimento. Uma parceria realizada entre a UFMG e a CEMIG tem concentrado esforços no desenvolvimento de um sistema computacional que possa efetivamente contribuir na tarefa de localização de faltas em redes e linhas de distribuição, de forma integrada ao sistema de gerenciamento da distribuição (Gemini) da companhia. Nesse sentido, trabalhos anteriores [5,6] apresentaram os resultados iniciais da primeira versão do sistema localizador, denominado SISLOC.

O LOCFALT e o SISLOC são sistemas desenvolvidos para a mesma finalidade, entretanto utilizando algoritmos e filosofias diferentes, visando o aumento da robustez, da confiabilidade e da aplicabilidade de suas ferramentas de localização, que podem ser utilizadas num número mais abrangente de subestações. Numa etapa posterior, estes localizadores serão integrados num mesmo sistema.

3.1. Apresentação do Sistema Localizador

A Fig. 7 mostrada a seguir, apresenta a interface do SISLOC. Neste módulo são realizadas as tarefas iniciais da localização, de identificação e classificação do evento. Estas condições iniciais de

contorno são determinadas a partir dos registros dos oscilógrafos digitais, fornecidos segundo o padrão estabelecido pela norma COMTRADE [8].

A estimação dos fasores fundamentais de 60 Hz, associados às grandezas amostradas, é realizada através de uma variação do estimador de erros mínimos quadrados [7]. Precedendo a esta etapa, o condicionamento dos dados é necessário para a atenuação da componente espectral indesejada. Trabalhos anteriores [4] demonstram a importância deste procedimento para a garantia da qualidade da estimação e, consequentemente, do processo de localização.

As demais condições de contorno do problema são referentes ao estado do sistema anterior e posterior ao curto-circuito, em regime permanente senoidal. A correta seleção das grandezas pré e pós-falta é necessária para obtenção de êxito durante a localização. Por isso, este procedimento não deve ser realizado de forma totalmente automática. Situações de ordem prática podem conduzir a erros como oscilografias com um curto regime pré-falta, a rápida abertura dos disjuntores, faltas evolutivas, etc.

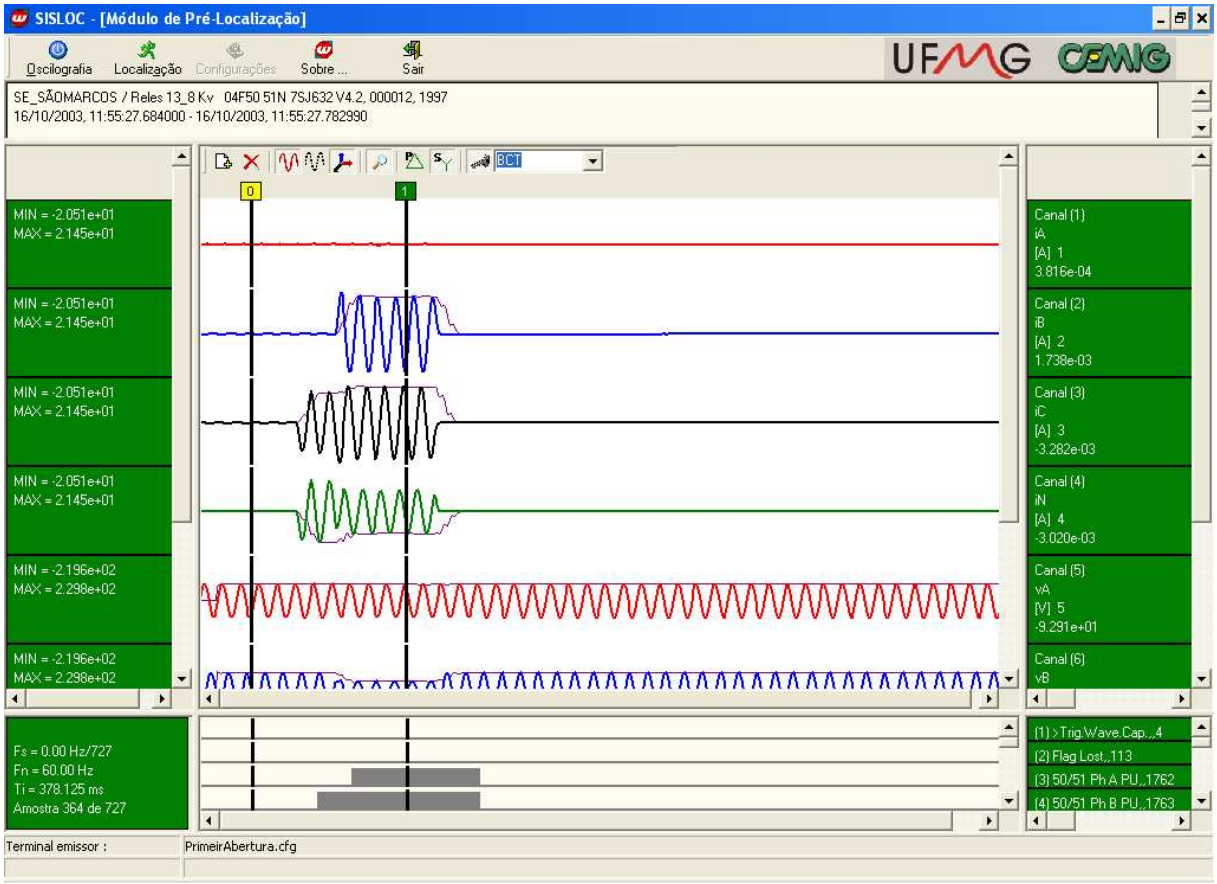

FIG. 7. INTERFACE INICIAL DO SISLOC

Na área de trabalho do SISLOC (Fig. 7), são apresentados graficamente os registros dos canais analógicos e digitais. Os cursores indicam os instantes pré e pós-falta selecionados. Assim, as informações sobre os instantes de atuação das unidades do relé, associadas ao ajuste manual destes cursores possibilitam o refinamento desta seleção.

O alimentador é representado em termos da localização geofísica dos pontos mais representativos do sistema. Estes pontos notáveis indicam locais onde ocorre a mudança na bitola do cabo, mudança

de direção, a existência de derivações e de equipamentos como: transformadores, chaves-fusíveis, chaves-facas, religadores, etc.

A Fig. 8 apresenta a interface do módulo de localização do SISLOC. Na área de trabalho principal é apresentada graficamente uma representação do alimentador, construída a partir de seus pontos notáveis. Para a determinação do local da falta o sistema gera pontos de teste em cada ponto notável do alimentador, a partir da barra de saída da subestação.

Para cada ponto de teste avaliado, a matriz de impedâncias das barras é modificada para a inclusão do modelo determinado para a falta, conforme a identificação realizada para o evento. Assim o valor da resistência de falta é modificado dentro uma faixa de variação admissível. A cada avaliação é calculado o erro entre as grandezas de falta estimadas e as calculadas.

A cada iteração é necessária a atualização da matriz representativa do sistema pré-falta para a representação da falta. Assim, foi desenvolvido um programa para a montagem e modificação direta da matriz de impedâncias das barras, conforme apresentado em [11].

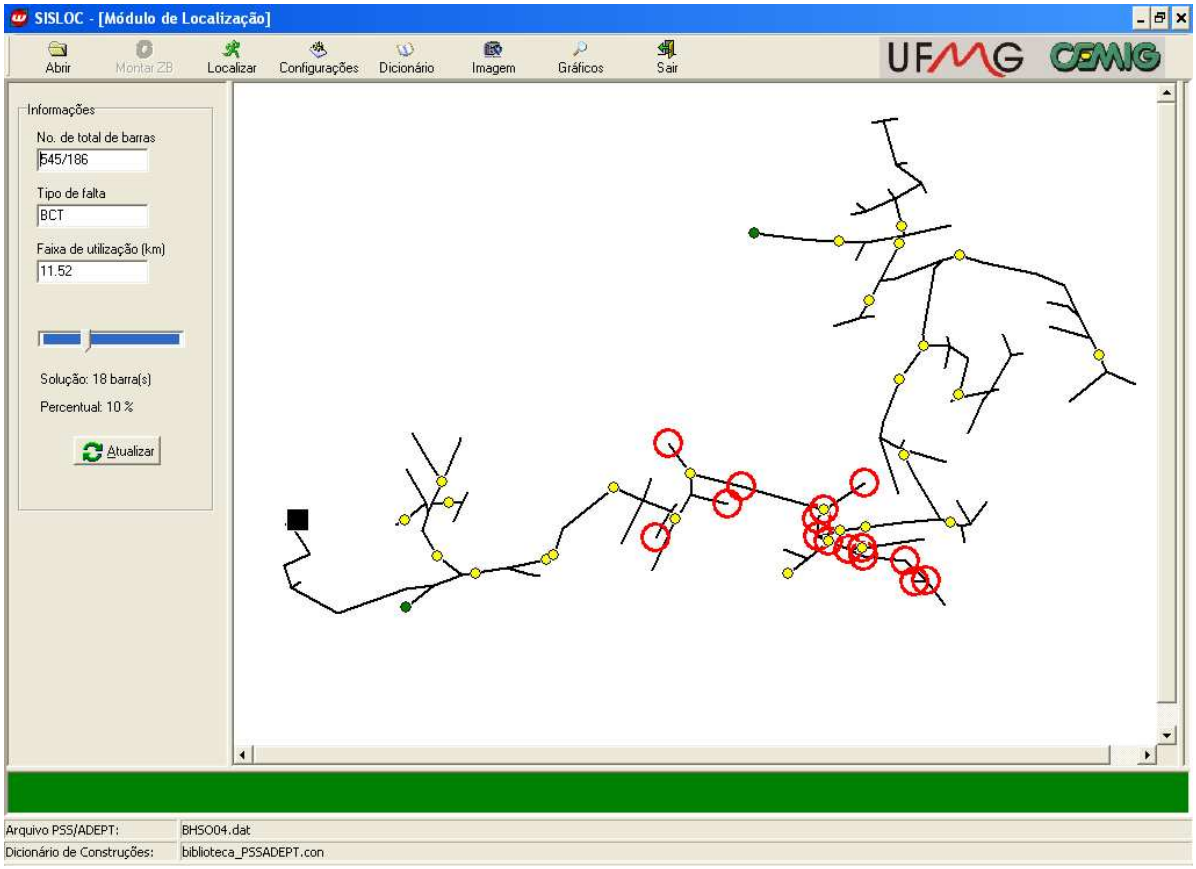

FIG. 8. INTERFACE DO MÓDULO DE LOCALIZAÇÃO DO SISLOC

Desta forma é mapeada uma superfície de erro em função dos valores de resistência de falta e da impedância de cada ponto notável até a subestação. A correlação do resultado com o sistema real é realizada através de busca direta o programa realiza a pesquisa pelo ponto de teste que apresenta o menor erro. Para o melhor valor de resistência de falta calculado, o algoritmo pesquisa um número de pontos de teste, ou barras, que apresentam os menores valores de erro. O número de barras é

determinado em função de um percentual do número total de barras do alimentador. Esse percentual, denominado de *ajuste de sensibilidade*, pode ser determinado pelo operador do sistema localizador. Os testes realizados indicam para um valor ótimo em torno de 10 %.

Os pontos de teste selecionados são exibidos em destaque, conjuntamente com a figura do alimentador (Fig. 8), e definem uma região de pesquisa do alimentador que possui uma grande probabilidade de conter o exato local da ocorrência.

4. RESULTADOS

Assim, aliado ao fenômeno curto-circuito, existem ainda outros fatores complicadores para o processo de localização de falta, tais como, uma possível falta de atualização nos bancos de dados da companhia e erros dos equipamentos de proteção que, em conjunto, podem conduzir a falhas na determinação dos prováveis pontos de falta.

Temos utilizado com freqüência, e os resultados tem sido satisfatórios. Estamos utilizando o LOCFALT para auxiliar nas inspeções das equipes de manutenção em alimentadores que não bloquearam, porém fizeram uma seqüência de religamentos satisfatórios. Ou seja, não houve o ciclo completo do disjuntor.

Trabalhos anteriores apresentam a primeira versão do SISLOC [5,6] frente a casos de curtos-circuitos simulados no ATPDraw, utilizando-se o método de injeção de corrente. Em sua nova versão, desempenho e a robustez foram avaliados a partir de novos testes realizados em casos de curtos-circuitos num alimentador de reais dimensões, simulado no ATPDraw, para diversos tipos e situações de faltas. O localizador foi aplicado a casos reais de faltas ocorridas em alimentadores de uma subestação de 13.8 kV da CEMIG, cujos exatos locais das faltas são conhecidos, determinados através de inspeções realizadas pelas equipes de manutenção da companhia.

Os testes realizados possibilitaram avaliar a robustez da metodologia frente a condições reais de operação, a assimetria do ramal e à incerteza de diversos parâmetros do sistema como cargas, resistência de falta e a impedância de curto-circuito da subestação. Embora as várias dificuldades existentes na localização de faltas em redes de distribuição, principalmente devido às suas particularidades, os resultados alcançados pelo SISLOC, tanto em casos simulados como nos casos reais, demonstram a eficiência e toda a potencialidade do sistema localizador.

O resultado de um dos testes com casos reais realizados com o SISLOC pode ser visualizado na Fig. 8. A ocorrência, causada pelo rompimento de um cabo de média tensão, provocou um curto-circuito de um dos condutores para o solo, evoluindo em seguida para outro condutor. O registro completo do evento pode visto na Fig. 9.

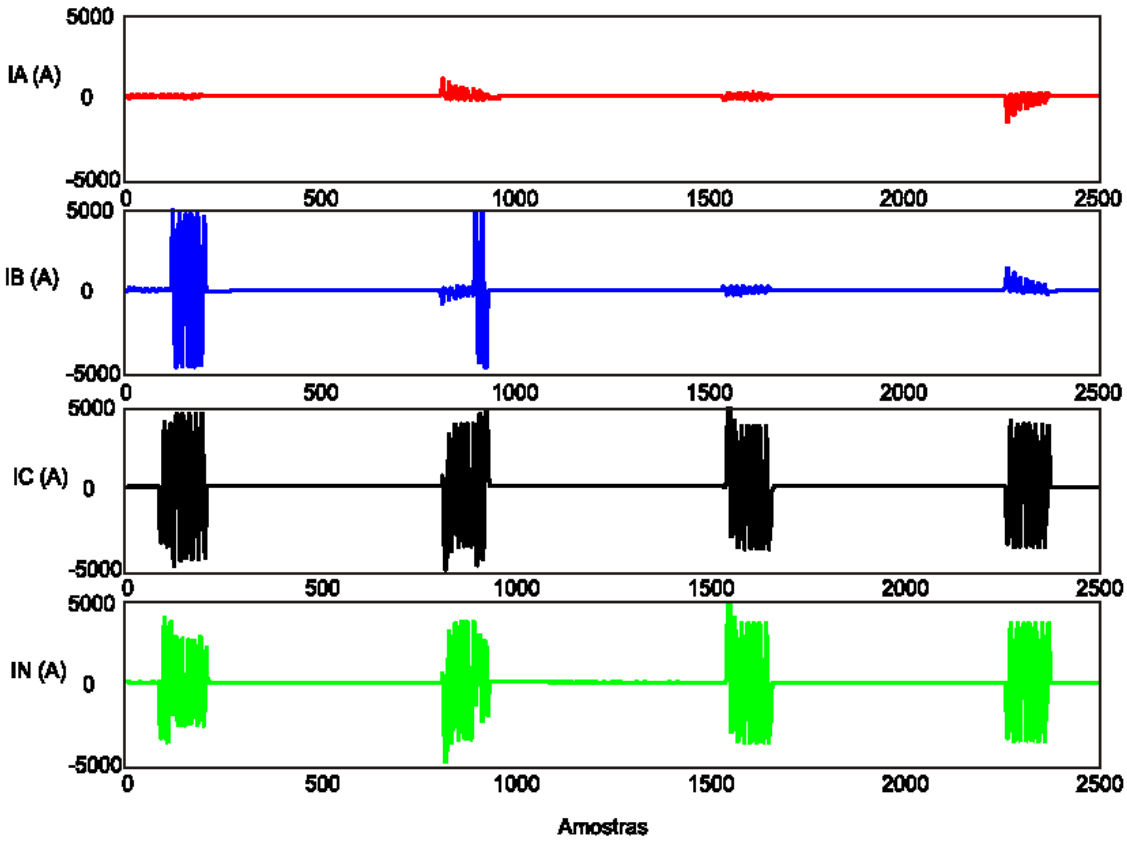

FIGURA 9 – OCORRÊNCIA REGISTRADA PELO RELÉ.

A solução obtida é apresentada diretamente na tela original do programa, para um ajuste de sensibilidade de 10 %, que elegeu 18 barras trifásicas do alimentador que possui ao todo 159 barras trifásicas. A região de busca obtida é apresentada na Fig. 10 em função da variação dos valores ajustados para a sensibilidade de 30, 15, 5 e 2 %. Os resultados mostram que a redução do nível do ajuste da sensibilidade faz com o sistema localizador de faltas aumente o grau de precisão da resposta. Se por um lado, isso representa numa pesquisa a extensões cada vez menores do alimentador, por outro, isso ocasiona uma perda da exatidão da solução. Este fato fica evidenciado ao observar simultaneamente as regiões delimitadas pelas soluções obtidas (Fig. 10). A tentativa de reduzir o espaço de busca a 2 % do número total de barras do alimentador, ou seja, 5 barras, o que representou na perda do exato local da falta (em destaque). Contudo, é importante observar que a melhor solução apresentada pelo SISLOC encontra-se a, aproximadamente, 400.0 metros do exato local do curto-circuito para um alimentador cuja faixa de utilização total é de 11.52 km.

.

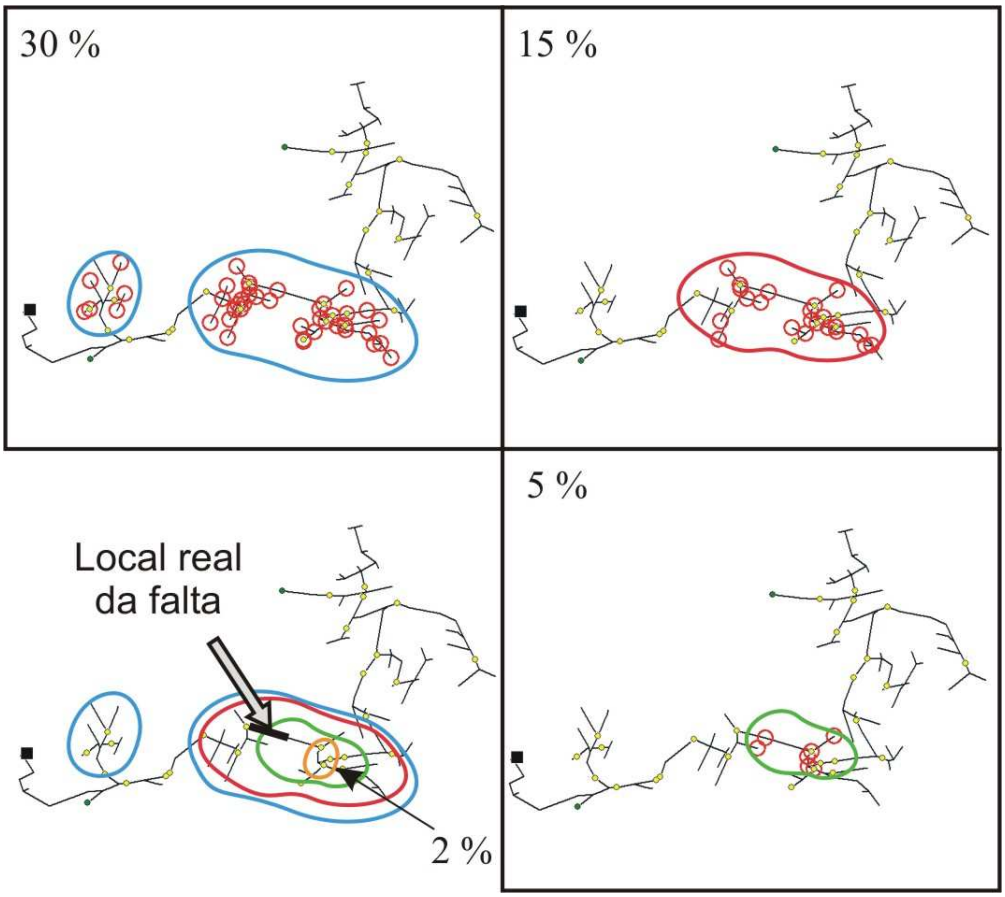

FIGURA 10 - O AJUSTE DA SENSIBILIDADE E A EVOLUÇÃO DA SOLUÇÃO

5. CONCLUSÕES

A qualidade e a confiabilidade no fornecimento de energia elétrica pelas empresas concessionárias e seus consumidores está associada ao fornecimento de energia de forma continua, ininterrupta e sem perturbação momentâneas significativas.

As recentes mudanças estruturais ocorridas no setor elétrico brasileiro têm obrigado as empresas concessionárias de energia elétrica a cada vez mais atender aos novos critérios de qualidade, confiabilidade no fornecimento de energia elétrica, estabelecida pelos novos agentes do setor.

Diante deste novo cenário, e uma preocupação das empresas concessionárias de energia elétrica que, diante de uma falta permanente, o restabelecimento do fornecimento aconteça da maneira mais rápida possível, sem que isto represente, necessariamente, numa elevação nos custos.

Os sistemas localizadores de falta contribuem muito para esta tarefa e, diante dos grandes investimentos que as empresas concessionárias de energia elétrica têm realizado para a melhoria da gestão de seus sistemas de distribuição, se justifica o interesse na busca de soluções e ferramentas robustas e confiáveis para a otimização de tais tarefas. Os bons resultados obtidos pelo LOCFALT como também pelo SISLOC na tarefa de localização de faltas em redes e linhas de distribuição, tanto para casos de curtos-circuitos simulados quanto casos reais, demonstram todo o potencial, efetividade e aplicabilidade dos sistemas desenvolvidos que, numa próxima etapa, serão integrados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] JOHNS, A. T. & JAMALI, S., Accurate fault location technique for power transmission lines, *IEE Proceedings*, Vol. 137, No. 6, pp. 395-402, Nov. 1990.

[2] TAKAGI, T.; YAMAKOSHI, Y.; YAMURA, M.; KONDOW, R. & T. MATSUSHIMA, T., Development a new type fault locator using one terminal voltage and current data, *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, PAS-101, No. 8, pp. 2892-2898, Aug. 1982.

[3] HAMI, M. E.; LAI, L. L.; DARUVALA, D. J. & JOHNS, A. T., A new traveling-wave based scheme for fault detection on overhead power distribution feeders, *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol. 7, pp. 1825-1833, Oct. 1992.

[4] GIRGIS, A. A.; FALLON, C. M. & LUBKEMAN, D. L., A fault location technique for rural feeders, *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 29, pp. 1170-1175, Nov./Dec. 1992.

[5] PEREIRA, C.; VALADÃO, R. L.; de RESENDE, P.; MATOZINHOS, T.; VELOSO, H. M. & LIMA, J. C. M., Um Novo Localizador de Faltas em Redes e Linhas de Distribuição Utilizando o Método de Injeção de Corrente. X ERLAC. Foz do Iguaçu, Paraná, Maio de 2003.

[6] PEREIRA, C.; VALADÃO, R. L.; de RESENDE, P.; MATOZINHOS, T.; VELOSO, H. M. & LIMA, J. C. M., SISLOC – Sistema Localizador de Faltas para Redes de Distribuição. XVII SNPTEE. Uberlândia, Minas Gerais, Outubro de 2003.

[7] PEREIRA, C.; VALADÃO, R. L.; CARDOSO, E. P.; VELOSO, H. M. & LIMA, J. C. M., Um Sistema Computacional Baseado em Técnicas de Otimização para Localização Automática de Faltas em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica: Concepção e Validação Prática, IEEE/PES Latin America 2004, São Paulo, SP, Novembro de 2004.

[8] IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems. Power Systems Relay Committee of the IEEE Power Engineering Society, New York, USA, IEEE Std C37.111-1999.

[9] PEREIRA, C. & CRUZ, F. C.. Análise do Comportamento Estático e Dinâmico dos Filtros Digitais de Mínimos Quadrados Aplicados à Proteção de Linhas de Transmissão. XV SNPTEE. Foz do Iguaçu, Paraná, 1999.

[10] SACHDEV, M. S. & BARIBEAU, M. A.. A New Algorithm for Digital Impedance Relays. IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, PAS-98, Vol. 6, 2232-2240.

[11] STAGG, G. W. & EL-ABIAD, A.H.. Computer Methods in Power System Analysis. International Student Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltda.