



**XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica  
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro  
Rio de Janeiro - RJ - Brasil**

<b>ROMULO DAMASCENO MOURA</b>
<b>Companhia Energética do Ceará</b>
romulo@coelce.com.br

## **LOCALIZAÇÃO DE FALTA NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO**

### **Palavras-chave**

Corrente

Falta

Solo

### **Resumo**

O presente trabalho tem por objetivo a implantação de um novo modelo para melhoria na localização de faltas de energia nos sistemas de distribuição, O princípio de funcionamento do SEG- $I_{CC}$  com auxílio do software protecad é realizar a interpolação das correntes de falta informadas pelos relés de proteção, sendo assim possível prever o local do defeito por se conhecer através do protecad todos os níveis de curto-circuito de uma linha de distribuição. Com esse mapeamento torna-se possível a localização de defeitos podendo então direcionar as turmas de manutenção do sistema elétrico para o local geograficamente correto com antecipação da localização do defeito. Desta forma, evitam-se procedimentos desnecessários tais como: tentativas de manobras, tentativas de religamentos, resultando em uma maior qualidade no fornecimento de energia e melhorando a segurança no trabalho, sendo possível ainda, a localização do defeito tanto em regime transitório como em regime de falta permanente. Com a implantação deste novo modelo pode-se reduzir o tempo gasto para encontrar o defeito, assim diminuindo o trabalho e melhorando a satisfação do cliente.

### **1. Introdução**

Em uma rede de distribuição que geralmente tem uma extensão grande e acessos críticos, quando ocorre uma falta de energia tem-se dificuldade para encontrar o defeito, pois o clima e o terreno onde a rede situa-se são amplamente variáveis, com isso possibilitando que o defeito pode ter ocorrido em uma região ou área que é muito extensa e em locais diversos.

Os estudos feitos com dados da Coelce mostram que 85% dos curtos-circuitos são monofásicos (fase-terra), provocados principalmente por descargas atmosféricas, contatos de árvores com a rede, falhas em equipamentos, animais, vento, abalroamentos, vandalismos, falhas humanas em operações do sistema. Diante deste fato comum aos sistemas de distribuição, o grande desafio consiste em solucionar o pior problema, ou seja, a localização de faltas provocadas por curto-circuito do tipo fase-terra ( $F_T$ ). Caso a opção fosse à localização de falta por curtos-circuitos bifásicos ou trifásicos isto seria de solução tecnicamente conhecida.

É frequente as ocorrências provocadas por curto-cicuito do tipo fase-terra, e fazendo com que a utilização do software SEG- $I_{CC}$  essencial para a redução de tempo no atendimento às incidências e melhorando o desempenho das equipes para a localização dos defeitos, e tendo-se cada vez mais a melhoria de satisfação dos clientes.

## **2. Desenvolvimento**

### **1. Descrição da ferramenta protecad**

O protecad é uma ferramenta computacional desenvolvida pela companhia energética do Ceará – Coelce, capaz de calcular as correntes de curtos-circuitos ao longo das linhas de distribuição a partir das seguintes informações: as impedâncias no barramento da subestação, a bitola do cabo e a extensão da linha de distribuição (GENTIL, 2007).

Com essas informações o protecad realizar as seguintes atividades:

- Desenhar a rede de distribuição em diagrama unifilar;
- Calcular a corrente de curto-circuito em qualquer parte do diagrama unifilar de uma rede de distribuição;
- Informar no diagrama unifilar as correntes de curto-circuito;
- Plotar os coordenogramas de corrente x tempo de cada proteção associada;
- Gerar relatórios com resumo do estudo.

O problema principal do protecad era reproduzir curvas que em muitos equipamentos são definidos experimentalmente pelo fabricante dos equipamentos tais como: chaves fusíveis, alguns relés eletromecânicos e religadores antigos.

Analisando alguns métodos de plotagem de curvas optou-se pelo método da interpolação, onde por meio de 20 a 30 pontos coletados pode-se representar a curva de um relé, nesse caso quanto mais pontos coletados, melhor será a precisão nos pontos calculados.

O método da interpolação logarítmica trabalha com a seguinte fórmula:



(2. 31)

Onde:

t: tempo de resposta a ser calculado;

I: Corrente a ser calculada nesse tempo de resposta;

$I_1$ : Corrente conhecida que possui valor menor do que I;

$I_2$ : Corrente conhecida que possui valor maior do que I;

$t_1$ : tempo de resposta que corresponde a  $I_1$ ;

$t_2$ : tempo de resposta que corresponde a  $I_2$ .

A utilização do software matlab foi importante para verificar a precisão entre os valores coletados e os calculados das correntes de curto-circuito. O software que serviu de plataforma para o projeto Protecad foi a Borland Delphi, utilizando como linguagem o *object pascal*.

## 1. Desenho de diagrama unifilar

O usuário com protecad é capaz de representar através de um diagrama unifilar um sistema elétrico. Inicialmente é necessário criar um projeto inserindo as informações da subestação e do alimentador que será trabalhado. Com essas informações é que se pode identificar a subestação e os cálculos de curto-circuito representados por barras.

Logo no começo abre-se uma tela inicial para a criação de um projeto no protecad, onde são solicitadas as seguintes informações: nome da subestação, alimentador, data de análise do projeto, valores de base do curto-circuito e as impedâncias reduzidas na subestação. Com o projeto criado inicia-se o desenho das linhas de distribuição, onde o usuário irá definir a extensão em quilômetros e o tipo de cabo da linha. Essas informações são importantes para o projeto, pois influenciam diretamente na queda de tensão e nos valores da corrente de curto-circuito.

O cálculo das correntes de curto-circuito é uma das aplicações principais do protecad, o cálculo é realizado utilizando as informações de potência instalada, tensão de base, resistência do solo, impedâncias de sequência positiva e zero dos cabos da subestação. O protecad nos informa as correntes de curto-circuito trifásicas, bifásica, fase-terra máximo e fase-terra mínimo. A partir dos resultados calculados para as correntes de curto-circuito o protecad permite a realização do estudo de coordenação da proteção dos alimentadores com a utilização de equipamentos tais como: chaves fusíveis, relés e, seccionadores e religadores. O técnico responsável pelo estudo de coordenação, após analisar os valores das correntes de curto-circuito pode determinar se a linha de distribuição tem necessidade de instalação de algum equipamento de proteção. A Figura 2.13 mostra a configuração da proteção no alimentador em estudo.



Figura 2. 13 – Configuração da proteção de um alimentador.

A Figura 2.14 mostra um diagrama unifilar de um alimentador com a inserção de um religador de linha e chave fusível, o qual foi inserido no diagrama após configuração da proteção, conforme foi comentado na figura anterior.



Figura 2.14 – Unifilar de um alimentador com equipamentos de proteção

Onde:

3F: Curto-circuito trifásico;

2F: Curto-circuito bifásico;

FT: Curto-circuito fase-terra;

FTm: Curto-circuito fase-terra mínimo.

### 1. Localização de faltas em sistema de potência

Muitos estudos já foram feitos para localização de falta em um sistema de distribuição, tendo início nos anos 50 a metodologia de localização de falta utilizando técnicas de inspeção com a utilização de carros e helicópteros, associados ao método de análise das ondas viajantes (AIEE COMMITTEE REPORT, 1955; STRINGFIELD; MARIHART; STEVENS; 1957).

Nos anos 80, Roytman desenvolveu a técnica de localização de falta a partir de obtenção da impedância através da medição de corrente e tensão em um terminal, analisando o circuito da frequência fundamental (CASTRO; BUNCH; TOPKA, 1980; ROYTMAN et al., 1982).

Assim, estes estudos tornam-se mais uma aplicação para a localização de falta, ficando desta forma, restrita a cada empresa de forma individual e com procedimentos adversos, a escolha do processo de detecção de defeitos. Com o intuito de resolver o problema da localização de falta a Coelce através do projeto SEG-I<sub>CC</sub> desenvolveu uma técnica de localização de falta para qualquer tipo de curto – circuito.

Essa técnica foi desenvolvida pelo funcionário da Coelce, José da Silva Gouveia, o qual apresentou essa nova metodologia computacional de localização de falta à Coelce. O princípio de funcionamento do SEG-I<sub>CC</sub> é realizar a interpolação das correntes de falta informadas pelos relés de proteção, sendo assim possível prever o local do defeito por se conhecer através do protecad todos os níveis de curto-circuito de uma linha de distribuição.

### 1. Atuação das proteções do sistema

Levantamento de dados na Coelce, praticamente todos os desligamentos não programados são provocados

por curtos-circuitos que, estatisticamente, se dividem conforme a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Causas de curto-circuito no sistema de distribuição

<b>Tipo de Curto-Circuito</b>	<b>Probabilidade</b>
3 Fases	1%
2 Fases	14%
Fase-Terra	85%

A Tabela 2.1 mostra que 85% dos curtos-circuitos são monofásicos (fase-terra), provocados principalmente por descargas atmosféricas, contatos de árvores com a rede, falhas em equipamentos, animais, vento, abalroamentos, vandalismos, falhas humanas em operações do sistema. Diante deste fato comum aos sistemas de distribuição, o grande desafio consiste em solucionar o pior problema, ou seja, a localização de faltas provocadas por curto-circuito do tipo fase-terra ( $F_t$ ). Caso a opção fosse a localização de falta por curtos-circuitos bifásicos ou trifásicos isto seria de solução tecnicamente conhecida.

### 1. Resistividade de solos

Uma única rede de distribuição, seja em sistema radial ou anel fechado, passa ao longo de sua extensão por variados tipos de solo, sendo muito comum uma parcela de sua extensão em solo arenoso, outra em solo argiloso, outra em solo rochoso ou até mesmo a mistura de todos. Além disto, parte ou total da massa do solo pode estar em estado seco ou úmido. Assim sendo, pode-se afirmar que a resistividade do solo não é a mesma para uma única rede de distribuição e nem tão pouco para diversidade de redes distribuídas em variados topografias do solo. Em consequência tem-se uma forma complexa e imprecisa de se avaliar a resistividade do solo. Além do que, precisa-se levar em consideração a sazonalidade climática e até regionais de micro climas diferenciados, nos quais as redes de distribuição estão inseridas.

### 1. Resistência de contato

Nos curtos-circuitos do tipo bifásico ou trifásico é fácil determinar a resistência de contato, uma vez que os contatos são diretos, cabo a cabo. Já nos curtos-circuitos do tipo fase-terra ( $F_t$ ), o cálculo deste parâmetro envolve alta complexidade, pois o meio físico de contato para terra apresenta grande diversidade. Assim, é possível afirmar que é bastante complexo conhecer seu valor real, visto que, depende diretamente do valor da resistividade do solo.

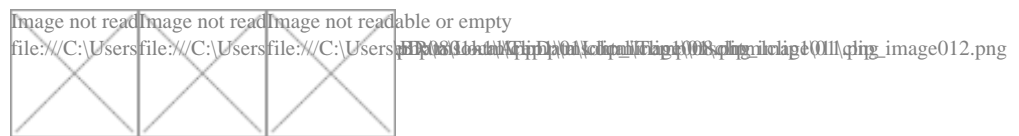
Como visto, o problema de localização exata da falta fase-terra é bastante complexo. A Coelce desenvolveu um sistema computacional para a localização de faltas fase-terra, conhecido como SEG- $I_{cc}$  já comentado. O sistema baseia-se em dois parâmetros conhecidos no momento da falta, o valor da corrente de curto-circuito fase para terra ( $F_t$ ) medido no momento da falta pelos relés de proteção, e o valor de curto-circuito ( $F_t$ ) calculado por expressões matemáticas em função da impedância e da reatância dos cabos, utilizadas para

determinar os curtos-circuitos trifásicos, bifásicos, fase-terra e fase-terra mínima.

Com esses dois parâmetros estabelece-se o fator de localização de falta, como mostrado na equação 2.32, baseando-se na experiência já acumulada (falhas onde a manutenção á atuou) da rede, constrói-se uma tabela logarítmica especialmente desenvolvida para esta solução, tornando a localização da falha fase-terra, imediata e precisa. A seguir será apresentado um exemplo de uma ocorrência em campo evidenciando o uso da ferramenta computacional descrita.

Essa falha ocorreu no dia 23/06/2009 sendo ocasionada por um abalroamento de veiculo com um poste de concreto, causando o rompimento de condutor na fase B do alimentador ART01N2. Atuando a proteção fase-terra com o valor de corrente de 592 A, na primeira intervenção para manutenção corretiva, foi localizado o ponto do defeito, uma vez calculado o curto-circuito deste ponto do defeito em função da impedância e reatância do local foi verificado um valor de corrente de 580 A, utilizando a expressão (2.32) criada para a técnica:

(2.32)



Onde:

$F_{lf}$  – fator de localização de falta

$I_{cc}$  – Corrente de curto circuito calculada no ponto de defeito

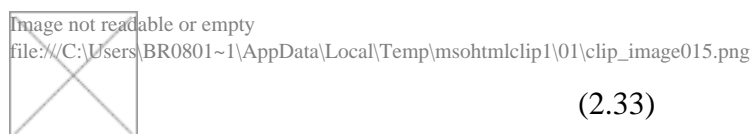
$I_r$  – Corrente do relé de proteção do sistema

Uma vez conhecido o intervalo de corrente em função do fator de localização de falta, torna-se conhecida a localização de falta utilizando apenas o valor de corrente do relé.



Figura 2.15 – Localização de falta para um defeito

Rapidamente conhecemos a corrente correlacionada do local de defeito com a seguinte expressão (2.33):



(2.33)



Onde:

?<sub>SCC</sub> – Seguir corrente de curto-circuito (produto do ponto de defeito).

Este resultado final torna possível a localização de defeitos podendo então direcionar as turmas de manutenção do sistema elétrico para o local geograficamente correto com antecipação da localização do defeito. Desta forma, evitam-se procedimentos desnecessários tais como: tentativas de manobras, tentativas de religamentos, resultando em uma maior qualidade no fornecimento de energia e melhorando a segurança no trabalho, sendo possível ainda, a localização do defeito tanto em regime transitório como em regime de falta permanente.



Figura 2. 16 – Tela de informação dos dados de campo

Automaticamente, uma segunda tela aparece informando o trecho afetado por está corrente, que aparece marcado em vermelho, mostrado na Figura 2.17.



Figura 2.17 – Tela de informação do trecho afetado

Com o modelo mostrado pela ferramenta possibilita que o operador tenha uma visão antecipada e clara dos equipamentos que devem ser manobrados antes mesmo que as equipes de emergência cheguem ao local. Neste caso específico.

## 1. Resultados obtidos

A partir do mapeamento do sistema de distribuição Lest da empresa Coelce, onde o mapeamento é realizado

através do SEG-Icc pela corrente de curto-circuito dos equipamentos de proteção, foi possível analisar e comprovar que é possível a redução do tempo para encontrar o defeito da falha na rede e diminuir o tempo de falta de energia, devido à área que o equipamento de proteção atue seja menor que a do trecho de um alimentador. Na tabela 3.1 serão mostrados alguns dos defeitos que causaram falta na rede, e com o auxílio da ferramenta foi possível encontrar e eliminar o defeito em um tempo menor, fazendo com que a (s) equipe (s) de manutenção possam atuar apenas no trecho em que a ferramenta indica como ilustra a figura 2. 17.

Tabela 3.1 – Defeitos encontrados na rede de distribuição.

<b>Subestação</b>	<b>Alimentador</b>	<b>Dia</b>	<b>Icc do relé Fase-terra</b>	<b>Icc localização Mapeada</b>	<b>Defeito Identificação</b>
ARACATI - ART	01N2	13/06/2008	151	831	Cadeia de isoladores quebrados por vandalismo
BARRA DO FIGUEREDO - BFG	01N4	03/09/2010	175	382	Cabo rompido acima da c
LIMOEIRO DO NORTE - LMN	01N1	23/10/2008	210	888,5	Isolador furado e partido.
MORADA NOVA - MNV	01M1	21/01/2009	102	567	Cadeia de isoladores furados.
RUSSAS - RSU	01N3	15/04/2009	368	909	Cabo rompido acima da c
TOMÉ - TME	01P5	25/06/2008	99,81	927,2	Arvore tocando n
JAGUARIBE - JGB	01M5	26/05/2009	72	492	03 isoladores de pino danificados



ICAPUÍ - ICP	01N2	03/03/2009	126	220	Cadeia de isoladores por vando
ITAIÇABA - ITC	01I1	04/03/2009	336	1200	Para raio danificad
JAGUARUANA - JGA	01N2	12/06/2009	425	1165	Cabo fas quebrado

### 3. Conclusões

Com auxílio desta ferramenta foi possível agilizar a mobilização de pessoal, identificar a causa do incidente, manobrar o sistema e transferir cargas para outras linhas de distribuição deixando sem energia apenas o bloco de carga afetado pelo incidente. Nesta mesma linha de procedimento, em um caso de falta transitória no mesmo nível de corrente devido à perda parcial de isolamento da linha neste trecho, faculta a programação com equipe de linha viva para o re-isolamento do trecho e consequentemente evitar falta permanente futura por perda de isolamento total.

Pode-se perceber que o principio de funcionamento do SEG-I<sub>CC</sub> é realizar a interpolação das correntes de falta informadas pelos relés de proteção, sendo assim possível prever o local do defeito por se conhecer através do protecad todos os níveis de curto-circuito de uma linha de distribuição e assim tendo uma área mais exata para localizar o defeito.

A aplicação desta técnica para localização de falta no regime permanente é um ganho operacional aplicado para faltas transitórias, pois torna possível a programação de manutenção preditiva antecipada, ou seja, evitando uma possível falta permanente futura.

Este resultado final torna possível a localização de defeitos podendo então direcionar as turmas de manutenção do sistema elétrico para o local geograficamente correto com antecipação da localização do defeito. Desta forma, evitam-se procedimentos desnecessários tais como: tentativas de manobras, tentativas de religamentos, resultando em uma maior qualidade no fornecimento de energia e melhorando a segurança no trabalho, sendo possível ainda, a localização do defeito tanto em regime transitório como em regime de falta permanente.

Com a utilização desta ferramenta pode-se reduzir o tempo para encontrar-se o defeito e meramente melhorando índices de DEC e satisfação dos clientes, já que o tempo de atendimento é um dos principais indicadores do DEC.

### 4. Referências bibliográficas

AIEE COMMITTEE REPORT. “Bibliography and summary of fault location methods”, Transactions of the American Institute of Electrical Engineers Part III, Power Apparatus and Systems. New York, Ny, v.74, n.3, p.1423-1428, 1955.

C. Castro, J. Bunch, T. Topka, “Generalized algorithms for distribution feeder deployment and sectionalizing”, IEEE Transactions on power apparatus and systems, Piscataway; NJ, v. Pass -99, n.2, p549-557, 1980.

L. E. Gentil, “Protecad – Software para análise de coordenação da proteção da rede de distribuição de energia elétrica do Ceará”, Fortaleza, 2007.

Companhia Energética do Ceará – COELCE, “Chave Fusível com duplo isolamento contra maresia”, Fortaleza: Revista Deu Certo, 2009.

---