



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Utilização de corrente de falta para a localização de defeitos na rede de distribuição

Akira Higa	Jose Carlos Ferrarezi	Marcelo Vilarino
ELEKTRO Eletricidade e Serviços S.A.	ELEKTRO Eletricidade e Serviços S.A.	ELEKTRO Eletricidade e Serviços S.A.
akira.higa@elektro.com.br	jose.ferrarezi@elektro.com.br	marcelo.vilarino@elektro.com.br

PALAVRAS-CHAVE

Corrente,
Digitalização,
Falta,
Supervisão.

Resumo

O presente trabalho tem por finalidade demonstrar uma metodologia para localização de faltas na rede de distribuição a partir dos dados de curto circuito coletados pelos equipamentos de proteção e comparados com os curtos circuitos calculados no Sistema de Gestão de Distribuição (SGD).

De posse dos valores obtidos pelos equipamentos inicia-se a busca ao longo da região de abrangência da falta no SGD, procurando identificar valores idênticos e ou próximos dos coletados, sendo considerados alguns fatores determinísticos e eliminatórios, tais como: bifurcação da linha tronco e ramais com elos fusíveis de valores superiores à corrente da falta.

Essa metodologia tem-se mostrado bastante útil para localização de defeitos, principalmente nos desligamentos que envolvem curtos circuitos entre fases.

1. Introdução

A área de concessão da Elektro é formada por sub-áreas, com ocupação centro, leste, centro oeste do estado de São Paulo e sul do Mato Grosso do Sul, atendendo 223 municípios do Estado de São Paulo e 5 do Mato Grosso do Sul. Sua sede esta localizada na cidade de Campinas SP e centraliza todas as atividades operacionais relativas a supervisão e operação do sistema elétrico de transmissão e distribuição de energia elétrica através do COD – Centro de Operação da Distribuição.

O COD é responsável pela operação de 119 subestações, 1.350 km de linhas de transmissão, 80.123 km de rede primária distribuídas entre 651 alimentadores. Em condições normais de operação é composto por 18 de postos de operação, sendo 15 de redes de distribuição e 03 de subestações e linhas de transmissão.

Devido às dificuldades de localização dos defeitos que provocam desligamentos nos alimentadores, constatou-se a necessidade de obter uma ferramenta prática, que aliado aos métodos convencionais utilizados no restabelecimento (principalmente os indicadores de falta), fosse capaz de auxiliar na localização do ponto defeituoso reduzindo assim o tempo de inspeção e conseqüentemente abreviando a duração do tempo total do desligamento.

O presente trabalho tem por finalidade demonstrar passo a passo como o COD está utilizando as funcionalidades disponibilizadas pelas ferramentas que compõe os recursos tecnológicos implementadas para a operação do Sistema Elétrico da Elektro.

2. Tecnologias

A digitalização de subestações e a tele-supervisão de religadores, associado aos aplicativos SCADA e SGD, destacam-se entre os principais projetos desenvolvidos pela Elektro em busca da excelência no atendimento ao cliente, pois representa a melhoria contínua na qualidade da energia e maior confiabilidade na operação das subestações e equipamentos religadores, além da otimização dos investimentos e redução dos custos de manutenção e operação.

Os procedimentos propostos no presente trabalho tiveram sua aplicação viabilizada através da complementação de funcionalidades do sistema SCADA com o SGD, isto é, o indicativo da corrente de falta disponibilizado pelo SCADA sendo interpretada no sistema SGD.

2.1. Digitalização de subestações:

Com o objetivo de oferecer soluções integradas superando as exigências do mercado consumidor, através da distribuição de energia elétrica e prestação de serviços com qualidade, confiabilidade e segurança, a Elektro iniciou em 2002 a digitalização das subestações por intermédio de suas áreas de tecnologia, operação e manutenção, bem como, um plano de modernização dos sistemas de supervisão, controle e proteção de suas subestações, em vista da crescente taxa de falhas dos equipamentos devido ao tempo de vida útil (relés eletromecânicos, retrofit de disjuntores e remotas). Dos 651 alimentadores de 13,8 e 34,5 KV existentes, 141 estão em subestações digitalizadas, possibilitando a coleta de valores de correntes de curto circuito. A figura 1 apresenta a arquitetura do sistema de digitalização implementada na Elektro:

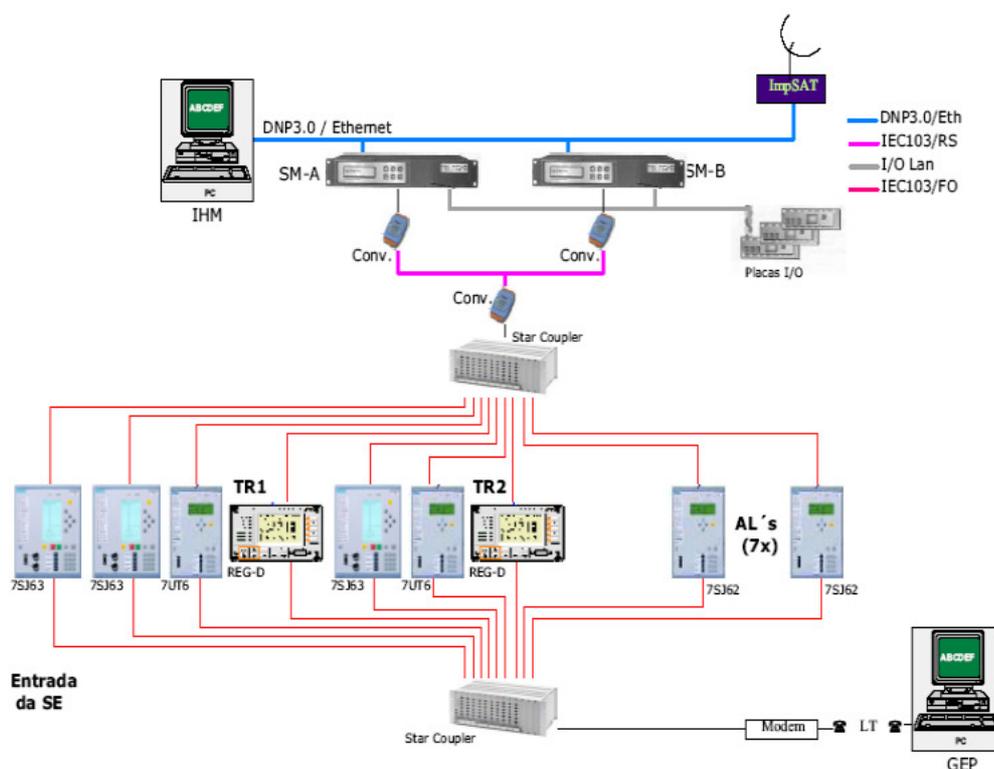


Figura 1 – Arquitetura utilizada na digitalização de subestações da Elektro.

2.2. Supervisão de Religadores:

Em maio de 2006 teve início um processo inovador de automação de religadores de rede de distribuição. A tecnologia utilizada na implementação da automação é a Global System for Mobile Communications (GSM)/ General Packet Radio Service (GPRS) onde a transmissão de dados adiciona recursos de telemetria tais como a coleta e troca de informações, acionamentos e telecontrole de equipamentos. Operando de forma independente dos mais variados protocolos existentes e podendo ser integrada a aplicativos de gerenciamento, torna o sistema bastante flexível e de ótima interoperabilidade, proporcionando total autonomia no gerenciamento e controle pelo usuário, e aliado ao baixo custo operacional, bem como, a um sistema de transmissão segura (criptografia) tem-se mostrado uma solução tecnológica bastante interessante.

De um total de 585 religadores instalados, a automação contempla 131 unidades, que representam 23% do parque.

A sua arquitetura é simples conforme podemos verificar na figura 2:

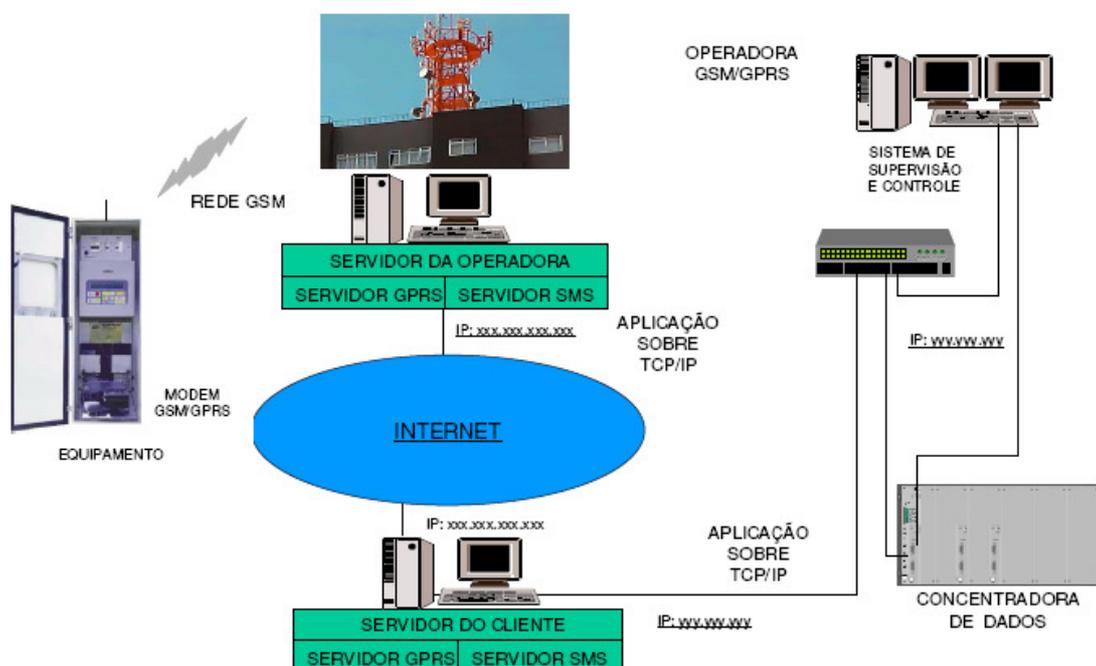


Figura 2 – Arquitetura de telesupervisão de religadores de rede de distribuição.

2.3. Sinalizadores de corrente de falta

Sinalizadores de corrente de falta são dispositivos eletrônicos instalados diretamente no condutor de energia ou fixado no poste em altura regulada. São utilizados na rede de distribuição e dispostos em pontos estratégicos ao longo dos alimentadores, e também após os religadores e seccionalizadores. Esse equipamento tem como objetivo auxiliar as equipes de campo na localização da falha, caracterizando um provável defeito ou falha a sua jusante toda vez que um sinal luminoso for emitido. Desta forma ocorre uma significativa redução na inspeção do componente desligado e conseqüentemente menor tempo de interrupção aos clientes.

2.4. SGD – Sistema de Gestão de Distribuição

Sistema computacional que possui as funcionalidades necessárias para suportar o processo de gestão de distribuição de energia elétrica, atendendo principalmente as áreas de Engenharia, Operação e Atendimento a Clientes.

Baseado em tecnologia GIS (Global Information Services), armazena e mantém toda a base cartográfica utilizada na empresa (topografia, objetos da rede elétrica de distribuição, subestações, etc). Permite visualização do estado da rede elétrica em tempo real, cálculo das principais grandezas elétricas envolvidas e possui uma variada gama de funcionalidades que subsidia os processos de engenharia e operação do sistema elétrico. Seus principais módulos são: Cadastro, Operação,

Despacho de Serviços de Campo (SGS), Atendimento (callcenter), Cálculos Elétricos, Manutenção, Projetos e Indicadores de Qualidade.

3. Curto Circuito

O cálculo de curto circuito em diversos pontos da rede é fundamental para o correto dimensionamento e ajustes dos equipamentos de proteção, permitindo dessa forma efetuar simulações de situações de defeitos e providenciar as medidas necessárias para minimizar as perturbações no sistema elétrico reduzindo as suas conseqüências. Além de garantir a interrupção do circuito defeituoso, os equipamentos e todos os componentes da rede deverão ser dimensionados para suportarem a circulação da corrente de curto circuito enquanto ela persistir.

O dimensionamento dos equipamentos do sistema de proteção deve levar em consideração não somente a configuração normal, mas também deve contemplar a análise para o sistema em contingência, aplicando as modificações de impedâncias envolvidas entre a fonte e o ponto de instalação.

No instante da ocorrência de um curto circuito na rede ocorrem solicitações térmicas e mecânicas. As térmicas são devido ao efeito Joule e apresentam-se como efeitos temporizados, as quais, portanto devem ser eliminadas através da atuação da proteção no tempo adequado. As solicitações mecânicas são relacionadas ao efeito eletrodinâmico desenvolvido nos condutores percorridos pelas elevadas correntes de curto circuito, essa solicitação possui característica instantânea e é proporcional à intensidade da corrente que percorre os condutores.

O método de cálculo de curtos circuitos simétricos em sistemas trifásicos pressupõe que os componentes e cargas do sistema, além do próprio defeito, sejam equilibrados ou simétricos, portanto para as condições de pré e pós falta, forças eletromotrizes, tensões e correntes são constituídas de sistemas trifásicos simétricos. Nesse cálculo geralmente é utilizada a análise por fase e esquemas unifilares do sistema em análise.

Quando uma máquina está gerando uma tensão senoidal, é um fato conhecido que, o valor da corrente de curto circuito no período transitório, será parcialmente dependente do instante do ciclo no qual a falta ocorre (analogamente ao caso da corrente de magnetização transitória para um transformador).

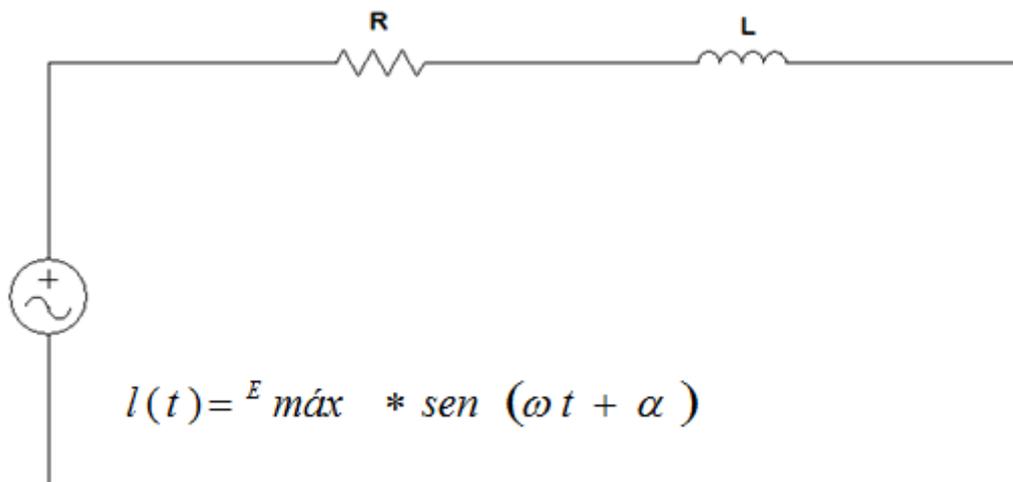


Figura 3 - Representação monofásica de um gerador síncrono com indutância constante.

Considerando que um curto circuito trifásico ocorra nos terminais do gerador, no instante $t=0$, a corrente resultante em função do tempo, será:

$$i(t) = \frac{Emáx}{z} [\text{sen} (\omega t + \alpha - \theta) - \text{sen} (\alpha - \theta) e^{-Rt/L}]$$

Onde: $Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$

$\omega = 2 \pi f$

$\alpha = \text{ângulo da tensão no instante do curto circuito}$

$$\theta = \arctan(\omega L/R)$$

O primeiro termo da equação acima varia senoidalmente com o tempo. O segundo termo é não periódico e decai exponencialmente com a constante de tempo L/R (esta componente é chamada componente DC da corrente).

Para cálculos de curto circuito, na prática, é costume inicialmente desprezar a componente transitória (isto é, considerar $\alpha - \theta = 0$) e apenas considerá-la após os cálculos para determinadas aplicações (p.e. dimensionamentos de disjuntores).

O curto circuito fase-fase corresponde a:

$$I_{cc} \text{ bifásico} = I_{cc} \text{ trifásico multiplicado pela constante } \sqrt{3/2}$$

O curto circuito fase terra:

$$I_{cc} \Phi t = 3 / (z1 + z2 + z0 + 3zn)$$

$$\frac{V_{pré} - falta * 3}{Z1 + Z2 + Z0 + 3ZN}$$

- Onde: $Z1 = Z$ Thevenin de seqüência positiva no ponto
- $Z2 = Z$ Thevenin de seqüência negativa no ponto
- $Z0 = Z$ Thevenin de seqüência zero no ponto
- $Zn =$ impedância de contato no ponto em falta

4. Metodologia de Análise da Corrente de Falta em Tempo Real

Metodologia de restabelecimento de alimentadores.

O operador do posto de subestações identifica e reconhece, através do aplicativo SCADA, os alarmes referente a perturbação ocorrida no alimentador de distribuição:

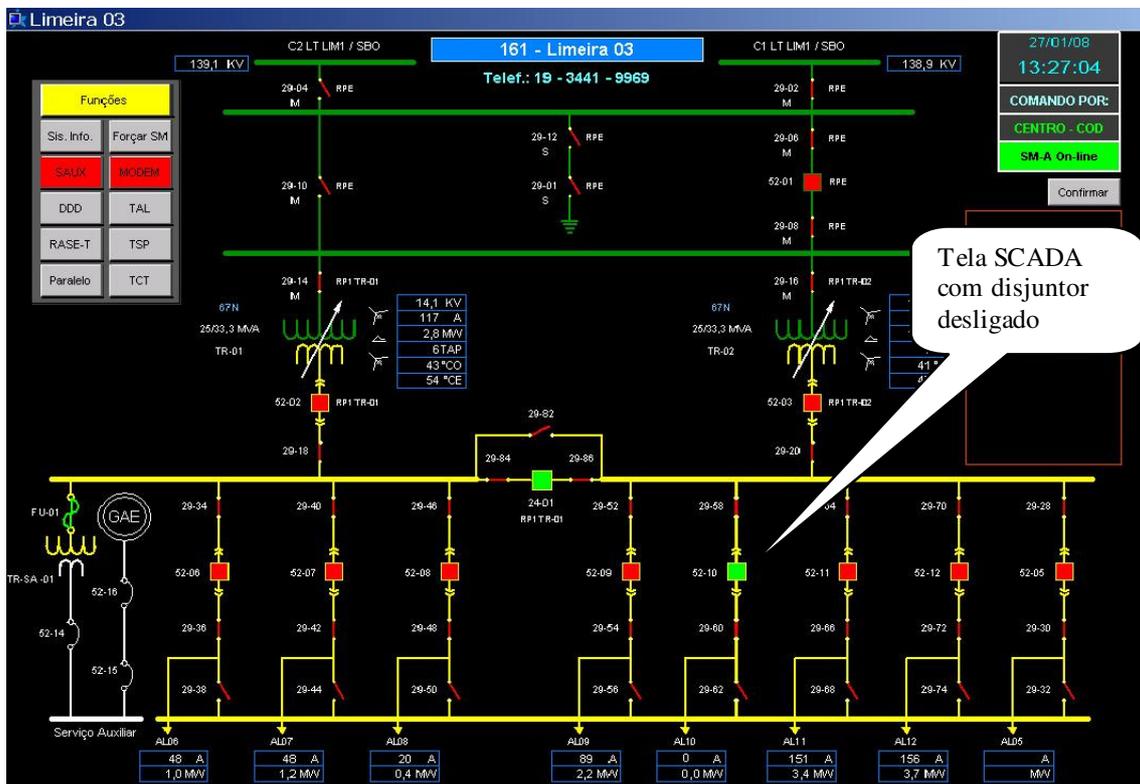


Figura 4 – Tela com diagrama unifilar do sistema SCADA da Elektro.

Ac...	ActorID	Con...	Message	EventTime
1	System	0	TR-02 - Desbloqueou 50F / 50N 2º ajuste (RP1 TR-02)	
0		1	AL10 - Relé religamento ciclo sem sucesso ou bloqueado	
0		1	AL10 - Atuou sobrecorrente temporizado de fase	
1	System	1	TR-02 - Bloqueou 50F / 50N 2º ajuste (RP1 TR-02)	
0		1	52-03 - Bloqueou da proteção 50N BT TR-02	26/01/2008 15:28:59,733
0		1	AL10 - Enviado comando de FECHAR pelo relé (religamento)	26/01/2008 15:28:59,733
0		0	AL10 - Enviado comando de FECHAR pelo relé (religamento)	26/01/2008 15:28:46,000
0		1	TR-02 - Bloqueio do comutador por sobrecorrente	26/01/2008 15:28:46,000
0		0	TR-02 - Desbloqueio do comutador por sobrecorrente	26/01/2008 15:28:46,000
0		1	AL10 - Abriu disjuntor	26/01/2008 15:28:44,000
0		0	AL10 - Fechou disjuntor	26/01/2008 15:28:43,000
0		1	AL10 - Abriu disjuntor	26/01/2008 15:28:42,000
0		0	AL10 - Desatuou sobrecorrente temporizado de fase	26/01/2008 15:28:39,783
0		0	52-03 - Desbloqueou da proteção 50N BT TR-02	26/01/2008 15:28:39,727
1	System	0	TR-02 - Desbloqueou 50F / 50N 2º ajuste (RP1 TR-02)	26/01/2008 15:28:39,727
0		1	AL10 - Atuou sobrecorrente temporizado de fase	26/01/2008 15:28:39,630

Registro: 148 de 1119

Seqüência de eventos do SCADA

Figura 5 – Tela de Alarmes do sistema SCADA da Elektro.

A seguir, esse operador gera uma ocorrência acidental no sistema SGD onde insere também as informações das proteções atuadas, religamento e nas subestações digitalizadas que possuem a funcionalidade de corrente de falta, coleta os valores de corrente de curto das fases atingidas :

Alarme	Valor	Limite
<input checked="" type="checkbox"/> AL10 - Corrente fase A	130,83	0
<input checked="" type="checkbox"/> AL10 - Corrente fase B	129,43	0
<input checked="" type="checkbox"/> AL10 - Corrente fase V	126,26	0
<input type="checkbox"/> AL10 - Corrente de neutro	0,00	0
<input type="checkbox"/> AL10 - Tensão fase A	8,18	0
<input type="checkbox"/> AL10 - Tensão fase B	8,20	0
<input type="checkbox"/> AL10 - Tensão fase V	8,18	0
<input type="checkbox"/> AL10 - Tensão fases AB	14,18	0
<input type="checkbox"/> AL10 - Tensão fases BV	14,18	0
<input type="checkbox"/> AL10 - Tensão fases VA	14,21	0
<input type="checkbox"/> AL10 - Potência ativa	3,17	0
<input type="checkbox"/> AL10 - Potência reativa	0,34	0
<input type="checkbox"/> AL10 - Fator de potência	0,99	0
<input checked="" type="checkbox"/> AL10 - Frequência	60,04	0
<input type="checkbox"/> AL10 - Última corrente de falta fase A	2137,77	0
<input type="checkbox"/> AL10 - Última corrente de falta fase B	2188,91	0
<input type="checkbox"/> AL10 - Última corrente de falta fase V	208,71	0
<input type="checkbox"/> AL10 - Distância da falta (não utilizar)	51,00	0

Alarmes com registros de valores ICC

Figura 6 – Tela com detalhes das correntes do sistema SCADA da Elektro

O operador do posto de redes de posse das informações dos valores de corrente de falta insere-as no aplicativo SGD de acordo com valores mínimos e máximos e o tipo de falta, trifásico, bifásico, ou fase e terra:

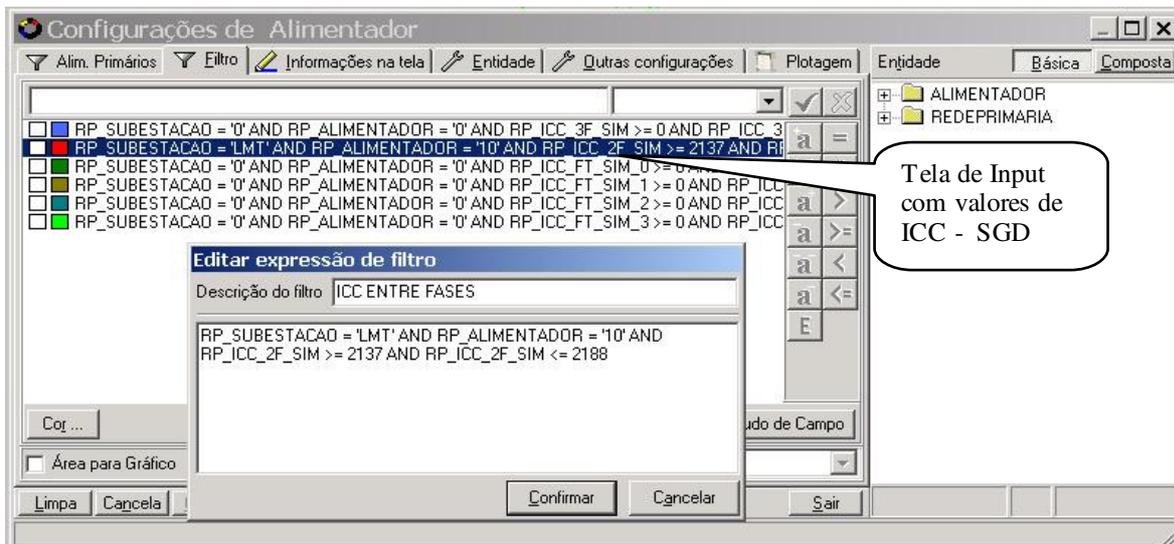


Figura 7 – Tela do sistema SGD da Elektro.

Com as informações inseridas é gerada uma visualização da abrangência do equipamento em falta, com uma diferenciação de cor no trecho em que a corrente da falta corresponder aos valores inseridos:

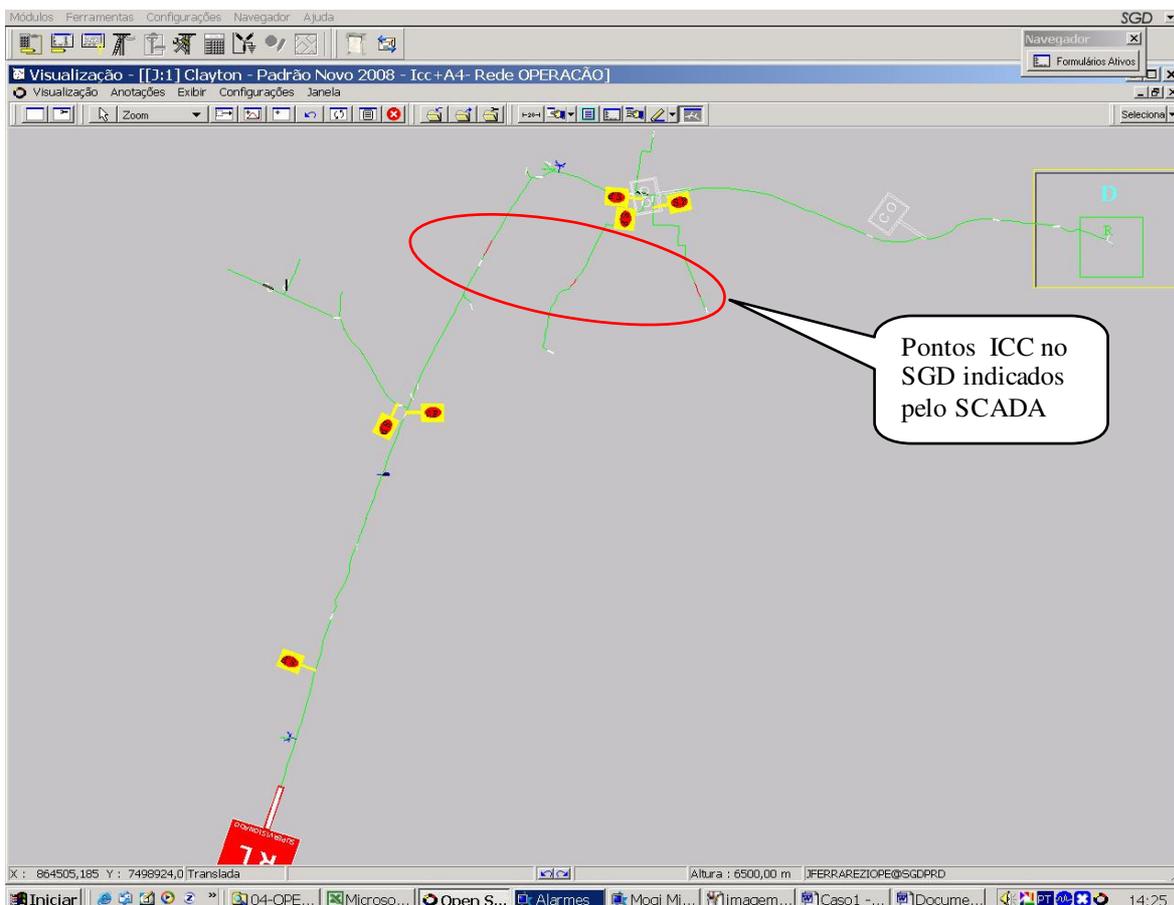


Figura 8 – Tela do sistema SGD da Elektro.

De posse da tela gráfica do provável ponto da falha, inicia-se a inspeção em torno do ponto indicado, levando em consideração a disposição dos indicadores de corrente de falta e a da(s) equipe(s) em campo. Com esta metodologia é possível diminuir o tempo de localização da falta em torno de 15%.

Metodologia de restabelecimento de religadores.

O operador do posto de redes identifica e reconhece, através do aplicativo SCADA, os alarmes referente a perturbação ocorrida no religador:

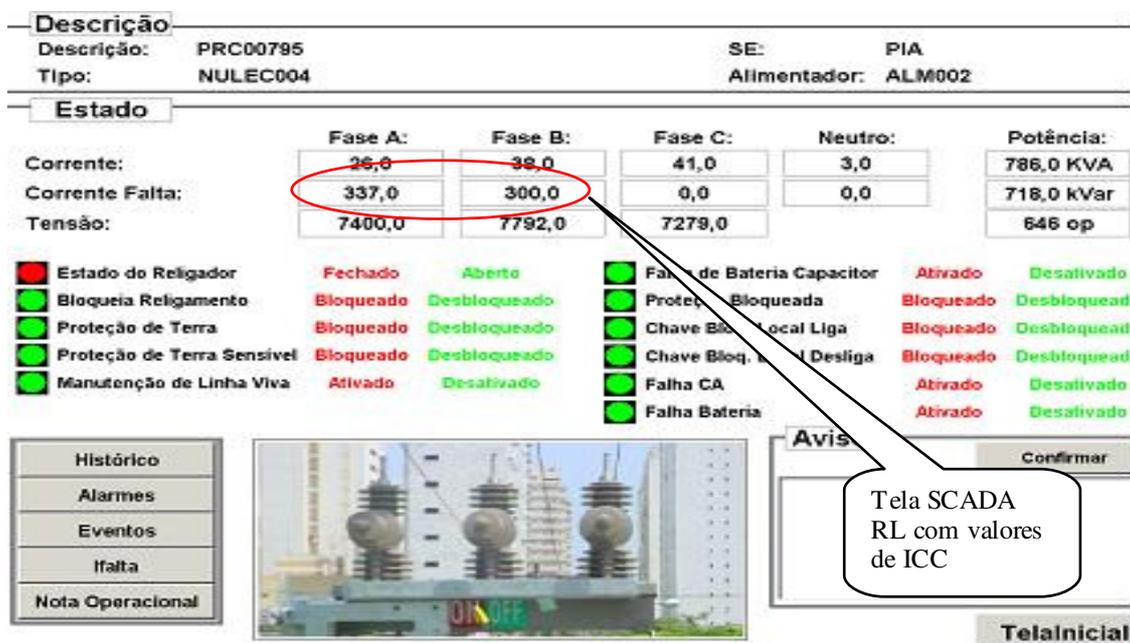


Figura 9 – Tela de um religador telesupervisionado pelo sistema SCADA da Elektro.

A seguir, esse operador do posto de redes gera uma ocorrência acidental no sistema SGD, insere também as informações das proteções atuadas, religamento e coleta os valores de corrente de curto das fases atingidas:

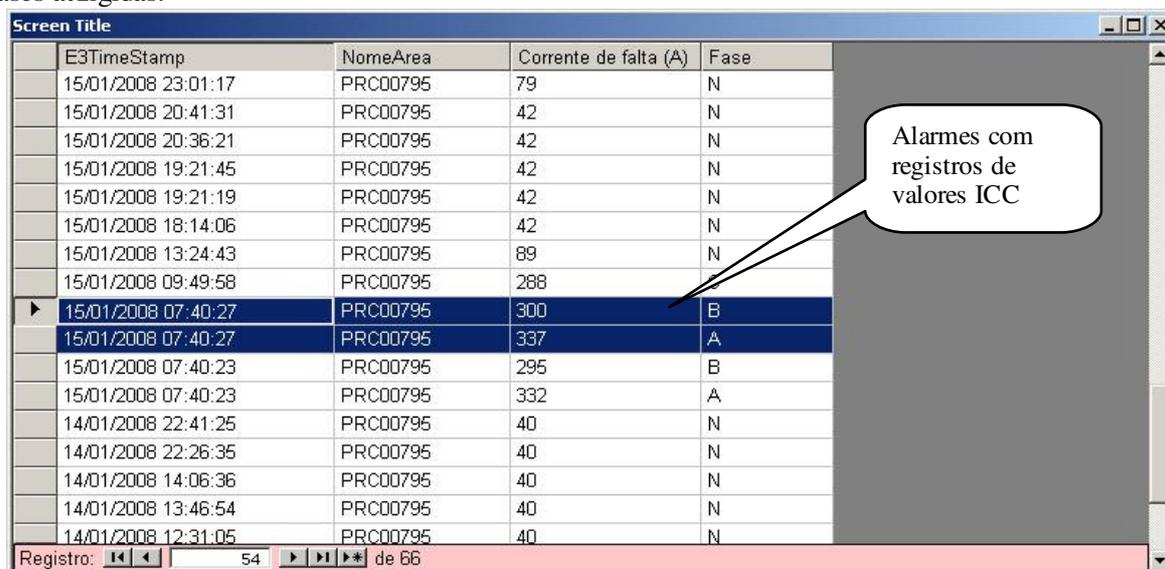


Figura 10 – Tela de um religador telesupervisionado pelo sistema SCADA da Elektro.

De posse das informações dos valores de corrente de falta, o operador do posto de rede insere-as no aplicativo SGD de acordo com valores mínimos e máximos e o tipo de falta, trifásico, bifásico, ou fase e terra :

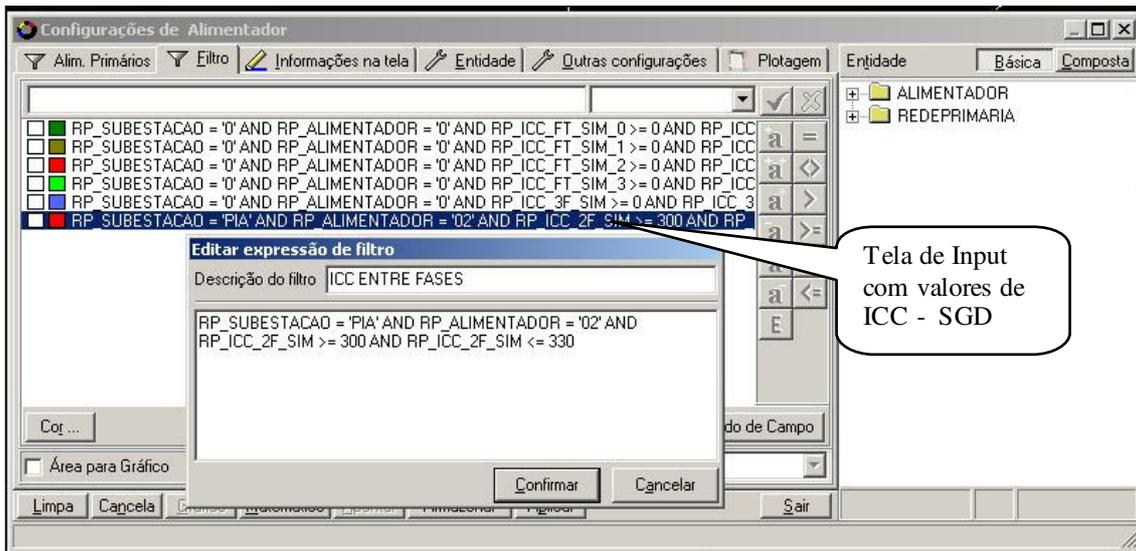


Figura 11– Tela do sistema SGD da Elektro.

Com as informações inseridas é gerada uma visualização da abrangência do equipamento em falta, com uma diferenciação de cor no trecho em que a corrente da falta corresponder aos valores inseridos:

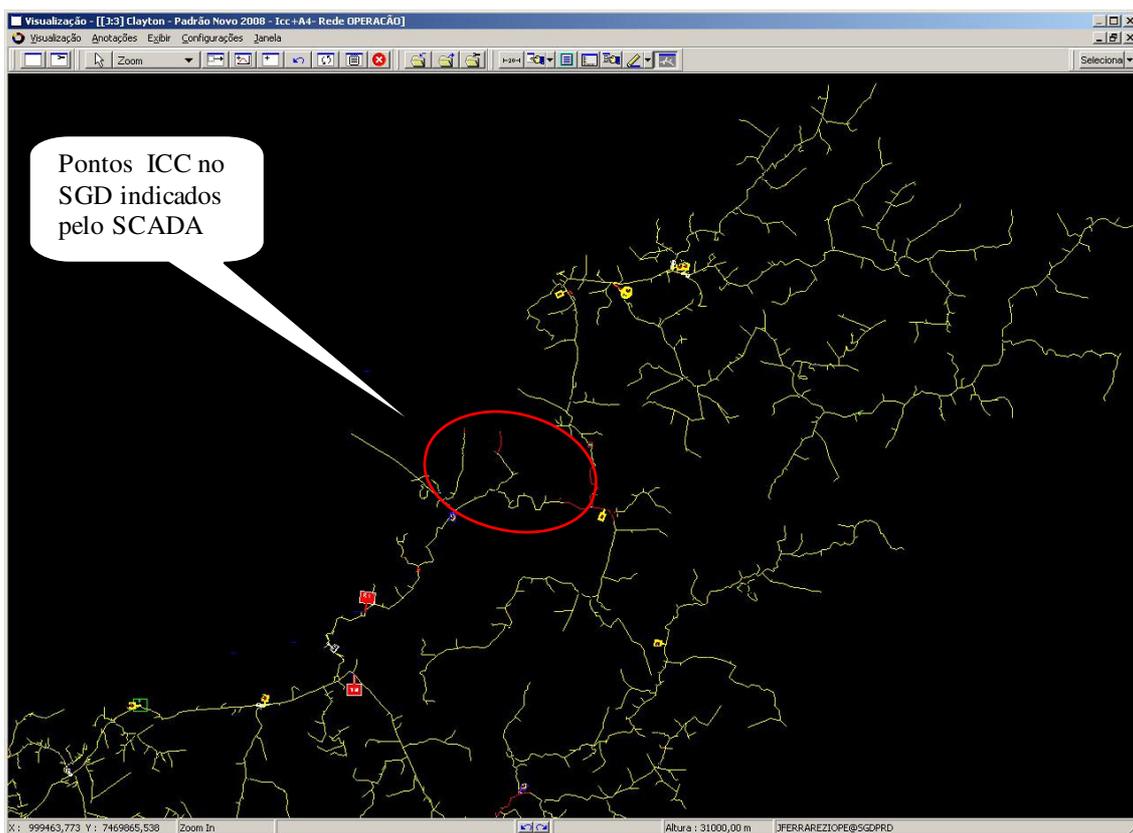


Figura 12 – Tela do sistema SGD da Elektro.

De posse da tela gráfica do provável ponto da falha, inicia-se a inspeção em torno do ponto indicado, levando em consideração a disposição dos indicadores de corrente de falta e a da(s) equipe(s) em campo. Com esta metodologia é possível diminuir o tempo de localização da falta em torno de 20%.

5. Conclusões

O método de restabelecimento de alimentadores e religadores em redes de distribuição utilizando a corrente de curto circuito associado com indicadores de corrente de falta dentro do sistema de gestão da distribuição SGD, trazem benefícios significativos no restabelecimento do sistema após a ocorrência de uma falta implicando em interrupções de menores durações. Adicionalmente, essa metodologia pode ser utilizada em casos de faltas transitórias (“piques” ou “piscas”), como forma de inspeção antes que a efetiva interrupção ocorra.

Cabe destacar que o sistema ainda requer maior sofisticação na integração entre os aplicativos SCADA e SGD, automatizando a localização das faltas. Essa melhoria deve ocorrer com o desenvolvimento na nova versão do SGD, em andamento pela Elektro.

O nível de assertividade para curtos bifásicos e trifásicos é superior a 90%, enquanto os curtos circuitos monofásicos de baixa intensidade apresentam baixo performance na utilização da corrente de falta. Porém, com as experiências ocorridas, é possível conhecer melhor essa utilização, além de possibilitar a criação de um histórico de acordo com os valores registrados e os encontrados.

Atualmente, a Elektro conta com cerca de 280 equipamentos com a funcionalidade de extração de corrente de falta, o que corresponde a 23% do total de equipamentos instalados, com previsão do aumento desse percentual para 40% até o final de 2008. Para a implantação do recurso da utilização da corrente de falta em restabelecimentos de alimentadores e religadores, foi necessário apenas o trabalho de profissionais das áreas de engenharia e operação, não envolvendo custos adicionais, visto que, as funcionalidades de aquisição de dados (Icc) já estavam implementadas nos sistemas utilizados.

O benefício advindo da utilização da metodologia de localização de defeito na rede de distribuição utilizando correntes de curto circuito, reforça e contribui para maximizar o projeto de digitalização das subestações e a implementação da telesupervisão de religadores em 100% dos equipamentos instalados na Elektro.

6. Bibliografia

Eletrônica de Potência. Makron Books

Baron, Paulo & Hamilton, Pedro & Soares, Márcio. Automação e Digitalização de Subestações na Elektro: Revista Controle & Automação. Ed. Valete, mar. 2005, p. 120

Cavellucci, C. & Lyra, C. (1997). Minimization of Energy Losses in Electric Power Distribution Systems by Intelligent Search Strategies. International Transactions in Operational Research, vol. 4, no. 1, pp. 23-33.

Instrução Operativa Elektro – I-OPE-010 - Restabelecimento Manual de Circuitos Primários quando Desligamentos Automáticos e Manuais de Emergência no Sistema Elétrico até 34,5 KV

MALVINO, A. P. Eletrônica. Makron Books. Vol. 1 e Vol. 2

Manual de Indicadores de Falta

www.nortroll.com - acesso no dia 15/02/08