Estimador Robusto de VTCDs para Sistemas de Distribuição em Média Tensão Voltada ao Atendimento da QE ao Usuário Final

N. Kagan*, N.M. Matsuo, J.C. Cebrian, E. L. Ferrari, G. F.Vasconcelos, - *Universidade de São Paulo, Brasil*
W. B. Santos, S. M. Ferreira, S. F. Silva, S. M. Costa – *CELPE, Pernambuco, Brasil*

Resumo- Este artigo enfoca a implementação de uma metodologia de estimação de VTCDs em sistemas de distribuição de energia elétrica, contemplando também o atendimento da concessionária aos seus consumidores secundários, quanto ao ressarcimento devido à queima de equipamentos eletro-eletrônicos, durante perturbações na rede de distribuição. O trabalho descrito neste artigo abrangeu o estudo da aplicação de defeitos em redes primárias e secundárias de distribuição que permitissem o estabelecimento de procedimentos de análise, que levassem em conta a suportabilidade dos equipamentos eletro-eletrônicos, para orientar a decisão da concessionária de distribuição de energia elétrica quanto às solicitações de ressarcimento por parte dos seus consumidores durante ocorrências de perturbações na rede. Foi desenvolvida uma metodologia que contempla um algoritmo de estimação de VTCDs para ser aplicado em sistemas de distribuição de grande porte voltado para as VTCDs. Este trabalho foi implementado como parte de um projeto de P&D, cujos resultados se mostraram satisfatórios e eficientes

Palavras-chaves - **Pedido de indenização, danos em equipamentos, sobretensões, estimação de VTCDs.**

I. Introdução

A construção e o estabelecimento de procedimentos e regras robustas de análise, voltadas a emitir o parecer do desempenho dos equipamentos eletro-eletrônicos do usuário final, considerando a sua suportabilidade, permite, às gerências responsáveis, dar suporte técnico e/ou jurídico às decisões compensatórias das reclamações.

Assim, visa-se a melhoria da qualidade da energia da rede de distribuição e conseqüentemente, a minimização dos problemas provocados por fenômenos que possam comprometer a qualidade da energia suprida na região metropolitana do Recife.

Trabalhos [1,2,3] têm sido publicados recentemente e são relativos à questão de danos em equipamentos de consumidores de energia elétrica, além dos ressarcimentos por parte da empresa concessionária, atestando a importância deste tema e a preocupação que isso suscita.

O ENERQ/USP, a UFPE e a CELPE vêm desenvolvendo a instalação de sistemas pilotos, em alguns alimentadores de distribuição da CELPE, com vistas à análise e suporte técnico para atendimento dos casos de pedidos de indenização por danos a equipamentos. Para maior eficiência e agilidade ao relacionamento com os consumidores (eliminando o atendimento de subjetividades) é necessário fazer uso de: critérios técnicos mais uniformes e consistentes com base em estudos detalhados das anomalias no sistema que podem causar danos em equipamentos e informações de susceptibilidade de equipamentos levantadas por meio de ensaios em laboratório.

II. Dados de suportabilidade dos equipamentos

Diversos são os fenômenos relacionados à qualidade de energia que afetam o funcionamento dos equipamentos eletro-eletrônicos de uso geral. Estes fenômenos podem prejudicar o desempenho desses equipamentos (mau funcionamento) ou levá-los à destruição de parte ou de todo o equipamento. Destes fenômenos, os que são de maior interesse para o projeto de análise de pedidos de indenização, são aqueles relacionados às variações de tensão de curta duração (VTCDs), as quais se configuram no intervalo de duração entre 0,5 ciclo e 1 minuto e as variações na tensão de longa duração (VLDT), ou seja, aquelas cuja persistência superam 1 minuto. Na região de susceptibilidade das curvas de amplitude-duração, podem ser verificados os pontos indicando que ocorreu queima do equipamento ou parte deste, ou ainda, a atuação de algum dispositivo de proteção existente no equipamento. A título ilustrativo, apresenta-se a curva de suportabilidade levantada nos ensaios de elevação de tensão para um aparelho de som (figura 1).

Observa-se que o valor max (pu) é a amplitude da sobretensão suportada pelo equipamento de maior suportabilidade, dentre os do mesmo tipo que foram ensaiados. O valor min (pu) refere-se a 95% da amplitude suportada pelo equipamento de menor suportabilidade dentre os do mesmo tipo que foram ensaiados. Os valores encontram-se em pu na base de 220V.

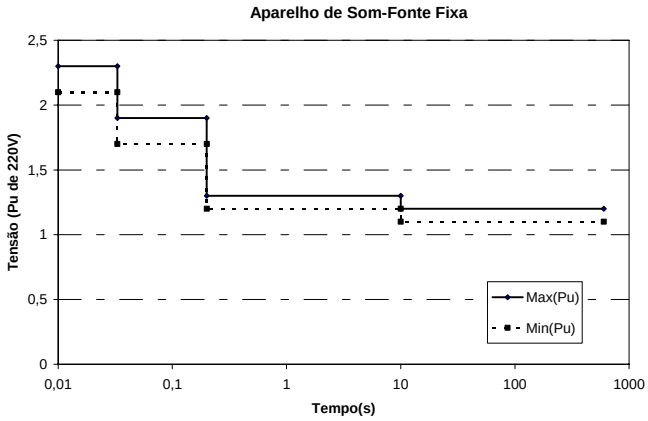

Figura 1 – Curva de susceptibilidade a elevações de tensão de um aparelho de som

* Escola Politécnica da Universidade de S. Paulo, SP, Brasil (e-mail: nelsonk@pea.usp.br)

III. Estudos de anomalias na rede de distribuição

Para o presente trabalho, foram abordadas inicialmente as aplicações de diferentes tipos de defeitos (monofásicos, dupla fase, dupla-fase-terra e trifásicos), em regime permanente, contemplando os efeitos que possam vir a ocorrer sobre a rede primária e secundária, considerando-se também a influência da impedância de defeito.

A rede simulada reflete um alimentador típico da CELPE, tendo sido escolhido um alimentador de Piedade (que se constituiu em um dos alimentadores piloto para desenvolvimento do Estimador Robusto).

Na figura 2 é apresentado o diagrama esquemático do circuito primário estudado.

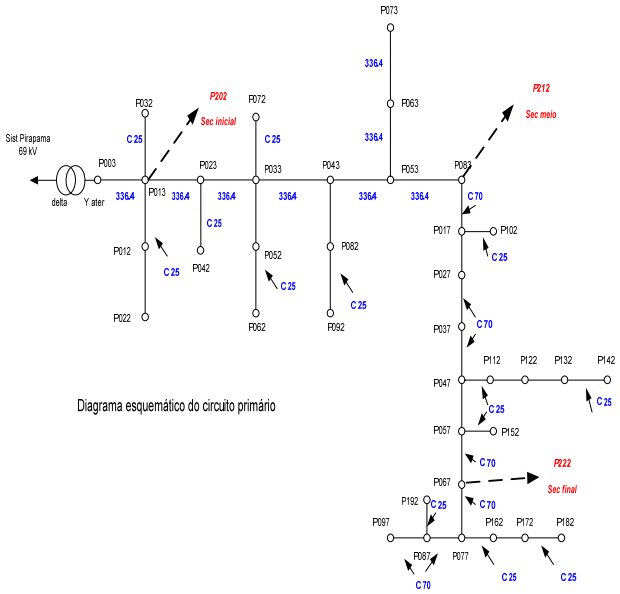

Figura 2 – Diagrama Esquemático do Primário

Na figura 3 apresenta-se um exemplo de um dos 3 circuitos secundários associados ao circuito primário, que foram representados.

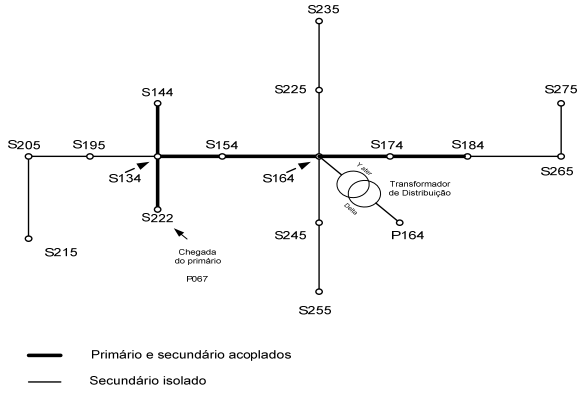

Figura 3 – Circuito secundário do final do primário

Das aplicações de defeitos, depreenderam-se as seguintes conclusões de interesse:

- Defeitos entre a fase primária e o neutro do circuito secundário podem provocar as maiores elevações de tensão na rede de BT, devido à passagem da corrente de defeito pelo condutor neutro, dependendo da localização do defeito e do consumidor de BT;
- As maiores elevações de tensões fase-neutro, na rede secundária, foram de 1,71 pu, para defeitos entre a fase primária e o neutro do secundário, ou de 1,34 pu, para defeitos fase-neutro aplicados no próprio circuito secundário acoplado com o circuito primário;
- Outros tipos de defeitos não provocam sobretensões na rede secundária;
- Defeitos aplicados em pontos do circuito secundário não provocam, em geral, nenhum tipo de afundamento ou de elevação de tensão fase-fase nos circuitos primários. Defeitos nos circuitos primários podem se propagar em todos os circuitos secundários.

Foi aplicada uma segunda etapa para os estudos das anomalias na rede de distribuição, nos quais, foram analisados os seguintes tópicos:

- Abertura de fase no circuito primário;
- Abertura de fase no circuito secundário;
- Rompimento do condutor neutro;
- Restabelecimento de circuito primário;
- Energização de bancos de capacitores.

Realizando estes estudos, pode-se concluir que:

- Em função de desequilíbrios de cargas, os maiores valores de sobretensões encontrados para abertura do neutro não ultrapassaram 1,53 pu (FN), mas teoricamente pode-se esperar até 1,73 pu;
- Também, em função de desequilíbrios de cargas, as maiores sobretensões obtidas para abertura de fase (primária) foram de 1,95 pu (FN) e 1,73 pu (FF).

Quanto aos estudos de religamento, a tabela 1 apresenta um resumo dos resultados mais severos obtidos.

Tabela 1 – Resumo de resultados de religamento

	F-F (pu)		F-N (pu)	
	med	max	med	max
Primário	1,77	2,05		
Secundário	1,93	2,1	1,76	2,1

Observa-se que os resultados mais severos aconteceram na ausência de cargas (na rede primária e na secundária). Ressalta-se ainda que, na consideração de cargas na rede elétrica, tantos os valores F-F como os valores F-N não resultam em sobretensões nos circuitos secundários. Também não ocorrem sobretensões F-F no circuito primário.

Apresenta-se na figura 4 a forma de onda de um caso determinístico de religamento.

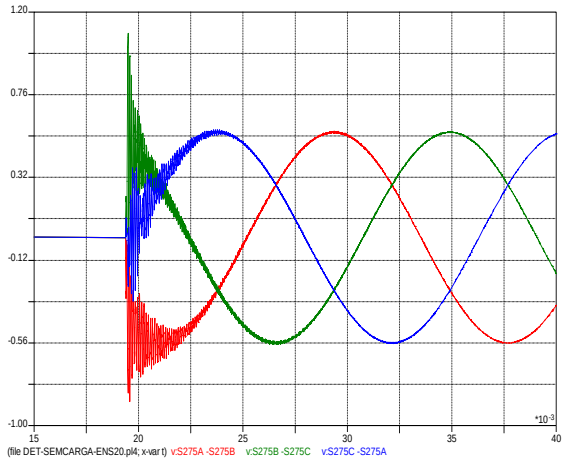

Figura 4 – Forma de onda típica de caso de religamento (no ponto S275) obtida em uma simulação

Como conclusões de estudos, relativos a Bancos de Capacitores (BCs), pode-se inferir que, possivelmente, uma sobretensão típica (fase-fase ou fase-neutro) de manobra de BC é um pouco inferior a 2 pu, com o componente transitório atenuado a nível desprezível em cerca de meio a 1 ciclo. Devido à curta duração do fenômeno, é de se esperar que sobretensões desse tipo normalmente não causem problemas a equipamentos de BT.

IV. DESENVOLVIMENTO DO ESTIMADOR DE VTCDS

A estimação de VTCDs é realizada em duas etapas distintas.

Na primeira etapa (E1), são levadas em conta apenas as informações do medidor de qualidade da rede primária. Como primeiro diagnóstico, um software de localização de falta determina e armazena os pontos de maior probabilidade de terem originado o curto circuito (origem da VTCD).

Na segunda etapa (E2) da estimação são consideradas as medições em circuitos secundários (no lado de baixa dos transformadores de distribuição). Com isso espera-se definir com maior precisão qual foi realmente o ponto de defeito que originou o evento de VTCD.

A figura 5 apresenta o diagrama de blocos básico do estimador de VTCDs desenvolvido para a rede de distribuição da CELPE.

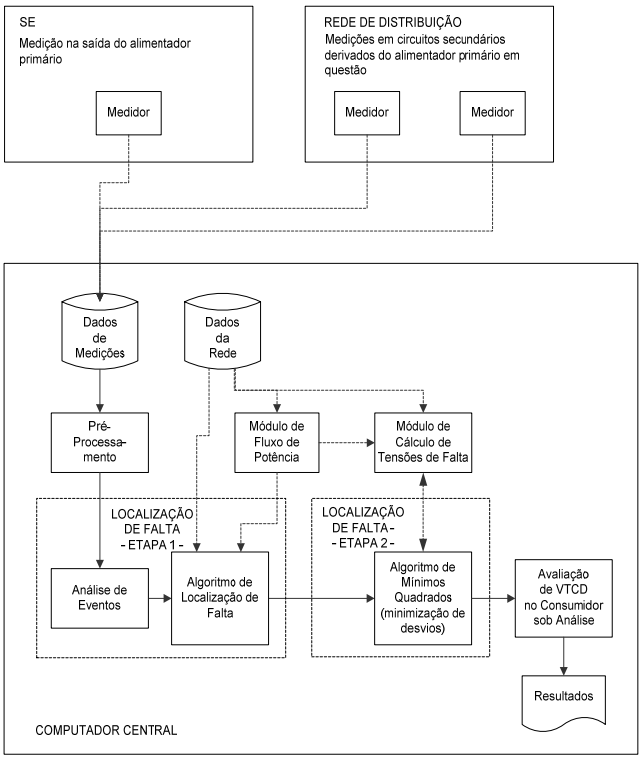

Figura 5 – Diagrama de Blocos do Estimador Robusto

A. *Processamento inicial (pré-processamento)*

Esse módulo, denominado pré-proc, refere-se à obtenção das formas de onda e precede as Fases 1 e 2 do Estimador. O módulo pré-proc tem como finalidades:

- Servir de interface para o acesso às informações produzidas pelo medidor para possibilitar o tratamento dos dados de medição;
- Efetuar tratamento de dados de medição, produzindo informações que serão utilizadas pelo estimador de VTCDs.

A principal fonte de informação para o processo de estimação de VTCDs é o registro dos valores instantâneos (forma de onda) de tensão e de corrente. O registro de forma de onda é acionado em função de um ou mais parâmetros escolhidos para realizar o disparo da captura do sinal. Os principais parâmetros de disparo a serem utilizados são: subtensão, sobretensão e sobrecorrente. O processamento realizado nesta etapa deve produzir dados que servirão para a classificação dos eventos e estimação de VTCDs. Os principais dados fornecidos são:

- Fasores das tensões e correntes nos períodos pré-falta e durante falta;
- Componentes de seqüência positiva, negativa e zero;
- Variação da tensão eficaz entre as situações pré-falta e durante falta;
- Componentes de CC (corrente contínua) e harmônicos de ordens inferiores da corrente;

- Fases envolvidas na falta;
- Horário de ocorrência da falta;
- Informações quanto à duração do evento;
- Informações quanto à operação de disjuntor(es), se disponíveis, etc.

B. Módulo de fluxo de potência

Este módulo realiza os cálculos de fluxo de potência, determinando as condições de tensão e de corrente na rede em regime permanente. Os resultados obtidos são utilizados no módulo de localização de falta e no módulo de cálculo das tensões de VTCDs.

C. Módulo Localizador de faltas

Esse módulo realiza o processamento do algoritmo de localização de faltas no alimentador utilizando as informações das medições (tensões e correntes na saída do alimentador primário) e da topologia de rede. Fornece os possíveis pontos de ocorrência de falta, bem como os valores das impedâncias de falta.

A aplicação da metodologia da primeira etapa (E1) pode resultar em alguns resultados possíveis como locais de origem das VTCDs. A existência de medidores ION 7550, monitorando a rede secundária, possibilita um refinamento maior na busca pelo ponto exato de origem do evento de VTCD. Desta forma os "pontos candidatos" resultantes da fase 1, como local de defeito, podem ser testados, um a um, e os resultados obtidos da análise das tensões de falta, para cada um destes pontos, ser submetida ao método dos mínimos quadrados, levando-se em conta as medições em redes secundárias.

A segunda etapa (E2) conta com o método de mínimos quadrados, que é um método comumente usado para obter curvas de aproximação para um conjunto de valores (geralmente, dados medidos). Esse método ajusta equações de curvas de determinados tipos aos dados disponíveis de forma a se obter o mínimo desvio considerando todos os pontos, admitindo que o melhor ajuste ocorre quando para um conjunto de dados a soma dos quadrados dos desvios assumir o mínimo valor.

A figura 6 mostra exemplo de registros de afundamentos provocados por sobrecorrente em duas fases. Neste caso, o pior afundamento ocorreu na fase C, a partir da qual as janelas foram fixadas.

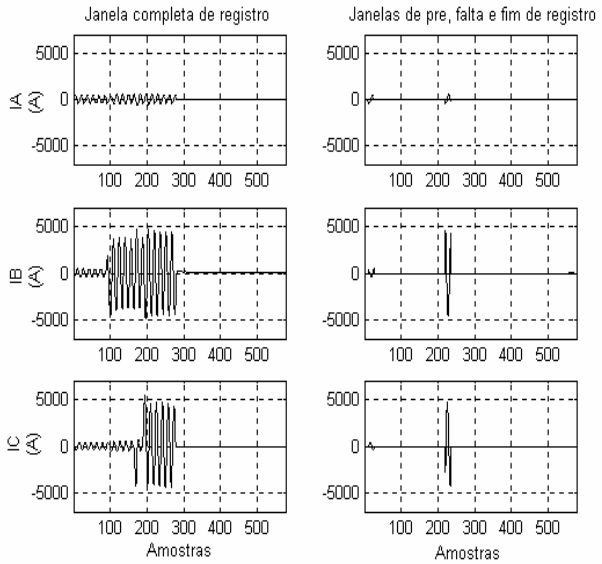

Figura 6 - Formas de onda das correntes de um registro de 36 ciclos e as janelas dos períodos pré-falta, durante a falta e final de registro, para obtenção de fasores

Nas ocorrências reais de defeitos na rede, a precisão na estimação dependerá da precisão de informações tais como:

- Caracterização do tipo de defeito;
- Localização do ponto de defeito;
- Exatidão do método de cálculo das tensões e correntes na situação de falta

Certas situações podem dificultar a estimação de VTCDs, tais como:

- Impedâncias de faltas elevadas, que dificultam a distinção entre correntes de falta e de cargas
- Dados inexatos de impedâncias da rede
- Distanciamento entre as condições reais de falta e o modelo de cálculo utilizado.

V. Resultados

Com finalidade de se testar a consistência do software de estimação de VTCDs, foram realizados testes comparativos entre o aplicativo ATP e o Aplicativo-Estimador. A rede escolhida para esta análise é apresentada na figura 7. Além de medições de tensões e correntes na saída do alimentador primário, foram supostos dois outros medidores de VTCDs nos secundários dos transformadores de distribuição (pontos S013 e S083).

Foi simulado, utilizando o ATP, um curto fase-terra de impedância 1 ohm, na barra P042. Os valores das tensões e correntes obtidas foram utilizados como dados de entrada no Aplicativo-Estimador.

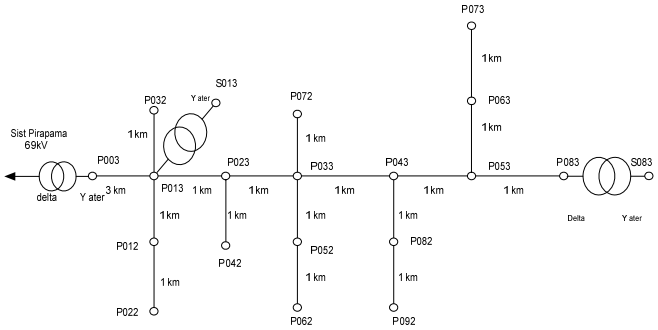

Figura 7 – Rede de testes para comparações ATP x Estimador

A Tabela 2 apresenta os resultados com uso do estimador para um defeito simulado no ATP.

Tabela 2 –Tabela de saída do Estimador - defeito fase terra

Ponto Localizado	Codigo Barra Ini	Codigo Barra Fim	Comp (mts)	Zdef (ohm)	Tipo Falta
1	P012	P022	999	1,00001	Fase Terra
2	P023	P042	999	1,00001	Fase Terra
3	P023	P033	999	1,00001	Fase Terra

Ponto Estimados	Codigo Barra Ini	Codigo Barra Fim	Comp (mts)	Zdef (ohm)	Tipo Falta	Minimo Quadrado
1	P023	P042	999	1,00001	Fase Terra	3,12
2	P023	P033	999	1,00001	Fase Terra	10,07
3	P012	P022	999	1,00001	Fase Terra	11,91

Em resumo, a etapa 1 do aplicativo é referente aos pontos localizados, que foram num total de 3 pontos. Assim, o primeiro ponto apresentado indica que o defeito está localizado no trecho P012 – P022 e dista cerca de 1 km da origem (P012). A etapa 2, referente à Fase 2 (mínimos quadrados) é responsável pela classificação do defeito. Desta forma o local exato do defeito é no trecho P023 – P042 a cerca de 1 km da origem P023. O aplicativo fornece outras informações, como o tipo do defeito (no caso fase-terra) e o valor da impedância de defeito (no caso de 1 Ω). Foram testados defeitos fase-terra, dupla-fase, dupla fase-terra e trifásicos com diversas impedâncias de defeitos.

VI. Conclusões

O presente trabalho apresentou uma metodologia que permite dar suporte ao atendimento referente à qualidade de energia para os usuários finais para as redes de distribuição da CELPE.

Foi desenvolvido um estudo do comportamento das curvas de suportabilidade dos equipamentos de diferentes fornecedores, assim como, um estudo das anomalias que podem acontecer na rede de distribuição perante aos diferentes eventos (todos eles relacionados a curtos circuitos).

Foi desenvolvido um módulo de localização que permite obter um conjunto de pontos, eletricamente similares, no qual poderia ser encontrado o ponto de defeito.

Um segundo módulo implementado aproveita as informações do primeiro módulo, para dar uma ordenação (utilizando informações de medições em outros pontos da rede) em forma crescente.

Estes dois módulos permitem ter uma visão mais clara aos pontos localizados obtidos, permitindo ao operador ter uma idéia mais precisa no momento de selecionar os pontos mais prováveis de defeito.

Os resultados obtidos mostram que a metodologia possibilita a obtenção de mais uma ferramenta em tempo real que sincroniza diferentes fontes de informação com a finalidade de auxiliar as equipes de operação e manutenção no gerenciamento da qualidade do fornecimento de energia.

VII. Referências

[1] Jucá, A. S., "Avaliação do Relacionamento entre Consumidores e Concessionárias na Solução de Conflitos por Danos Elétricos: Proposta de Adequação", Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 2003

[2] Teixeira, M. D.; Araújo, R. L.; Ardjomand, L. M., "Avaliação do Limites de Parâmetros de Qualidade de Energia Aceitáveis para Previnir Danos em Eletrodomésticos", VI SBQEE, Belém/Pará, 2005

[3] Kagan, N.; Matsuo, N. M.; Ferrari E. L.,; Duarte, I.T. Domingues; A. J. Monteiro, "Methodology for Support and Analysis of Indemnity Requests due to Electrical Equipment Damaged in Eletropaulo Costumers", 10th ICHQP, Rio de Janeiro, 2002.

[4] NT 6.1A, "Relatório Técnico da Análise dos Distúrbios nos Sistemas de Distribuição Primária e Secundária que causam Falhas em Equipamentos , Agosto, 2006.

[5] NT 6.1B, "Relatório Técnico Complementar dos Distúrbios nos Sistemas de Distribuição Primária e Secundária que causam Falhas em Equipamentos", Janeiro, 2007.

[6] NT 9.2, "Ajustes e Adequações necessárias referentes à Estimação de VTCDs", Março, 2007.