

Localização de Falhas em Linhas de Transmissão Utilizando Dados de Dois Terminais

C. Pereira, I. H. Pereira Jr, W. M. Souza, C. A. B. Costa, T. Matozinhos, R. L. Valadão e F. Barbosa.

Resumo—Este artigo apresenta a concepção, implementação e validação prática de metodologia para localização automática de falhas em linhas de transmissão utilizando informações dos dois terminais, baseada no método proposto por Johns e Jamali em 1990. São mostrados os principais resultados práticos alcançados pelo projeto de pesquisa realizado conjuntamente com a Cemig, pelo programa de P&D da Aneel. Após o equacionamento da metodologia a ser utilizada, foi construído um programa computacional denominado WinLT2. Este programa foi inicialmente avaliado frente a 560 casos simulados de curtos-circuitos. Finalmente o programa foi submetido a casos reais de falhas, onde os locais das falhas, bem como suas causas, foram confirmados pelas equipes de engenharia e manutenção da Cemig. O trabalho também apresenta um método original para se estimar o valor da resistência de falta, permitindo uma associação entre estes valores estimados com as causas mais comuns de curtos-circuitos, como descargas atmosféricas, queimadas e quedas de estruturas ou de árvores. O programa já se encontra em uso na Cemig, implementado dentro do programa denominado UAN – Unidade de Análise Numérica, fornecendo às equipes de análise e manutenção resultados adequados, comprovando sua eficiência prática e validando a metodologia utilizada.

Palavras Chaves—Localização de Defeitos, Localização de Falta, Linha de Transmissão, Proteção Digital.

I. INTRODUÇÃO

A continuidade do fornecimento representa uma importante meta de qualidade a ser atingida pelas empresas concessionárias de energia elétrica. Assim, diante de uma interrupção provocada por uma falta permanente, é desejável uma rápida identificação do local e do agente causador do evento para o rápido reparo e pronto restabelecimento do sistema.

O uso de linhas de transmissão cada vez mais longas, associadas com a demanda por tempo de restabelecimento das linhas, cada vez menores, tornam-se importantes estímulos para o desenvolvimento e implementação de métodos de localização automática de faltas.

A Cemig dispõe atualmente de um software denominado UAN (Unidade de Análise Numérica) que é parte integrante de seu Sistema de Análise de Perturbações (SAPNET), [9] e [10], desenvolvido pela companhia e utilizado, dentre outras atividades, na análise de contingências e na localização de falta em linhas de transmissão. Visando elevar a

confiabilidade e a robustez do seu sistema, a companhia desenvolveu em parceria com o Laboratório de Proteção Digital da UFMG (PROTLab/LRC/UFMG) um aplicativo destinado à localização de falhas em linhas de transmissão de circuito simples utilizando dados de dois terminais, denominado WinLT2, financiado pelo programa de P&D da Aneel, baseado na metodologia proposta por Johns e Jamali [1].

O artigo procura mostrar os resultados obtidos no estágio atual deste trabalho de pesquisa, que inclusive é fruto de dissertação de mestrado já concluída [11], demonstrando que o sistema localizador pode ser uma valiosa ferramenta para as empresas concessionárias de energia elétrica, principalmente se dotado da possibilidade da localização das faltas a partir dos dados de dois terminais das linhas de transmissão.

Uma das etapas do processo de desenvolvimento é a integração da metodologia adotada, ou seja, do aplicativo desenvolvido ao sistema existente, UAN. Neste texto serão mostradas algumas das soluções adotadas, de forma a compatibilizar o sistema desenvolvido na UFMG com o produto final da companhia.

O trabalho também apresenta um método original para se estimar o comportamento dinâmico da resistência de falta, mostrando que estas resistências assumem valores típicos para as causas mais comuns de curtos-circuitos como descargas atmosféricas, queimadas e quedas de estruturas ou de árvores. Este tipo de subproduto tem se tornado um eficiente aliado das equipes de manutenção na determinação exata do local de falta, uma vez que estas equipes já buscam locais relacionados com a possível causa indicada pelo localizador.

O estudo de casos reais mostrou ser tarefa importante para a validação prática da metodologia, uma vez que nestes casos surgem alguns problemas que não aparecem nos casos teóricos, relacionados tanto com a dinâmica da falta, quanto com os equipamentos destinados à aquisição dos dados relativos à falta. O algoritmo de localização atualmente utilizado pela UAN, baseado no método de Wiszniewski, utiliza grandezas apenas de um dos terminais da linha e vem apresentando resultados não satisfatórios sob determinadas condições de falta e de sistema, tais como faltas envolvendo altas resistências ou fontes fracas. Isto demonstra a importância do sistema localizador desenvolvido que, praticamente, não tem seu desempenho afetado pelas mais

diversas condições de falta.

II. ROTINAS DE PRÉ-LOCALIZAÇÃO

Antes de ser efetuada a localização da falta é necessário um pré-processamento das informações, incluindo as funções de filtragem *anti-aliasing* dos dados, estimação dos fasores fundamentais e determinação do início da falta, dentre outras.

A. Filtragem anti-aliasing

As tensões e correntes pós-falta podem apresentar transitórios de altas frequências, que conduzem a erros na localização da falta devido ao *aliasing*. Assim, antes do processamento dos sinais de entrada, é importante o pré-processamento destes dados. Para eliminação destas frequências indesejáveis foi efetuada uma filtragem digital *anti-aliasing* passa-baixa, utilizando-se um filtro digital de Butterworth [2,3,4] de 2ª ordem.

Nas Fig. 1 e 2 são apresentadas, respectivamente, as ondas de corrente de entrada e após a filtragem para uma falta monofásica, onde é comprovada a eficácia dos filtros *anti-aliasing* na eliminação de altas frequências.

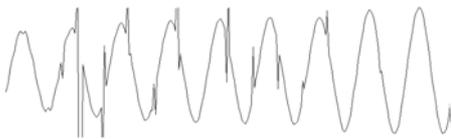


Fig. 1. Onda de corrente de entrada para uma falta monofásica

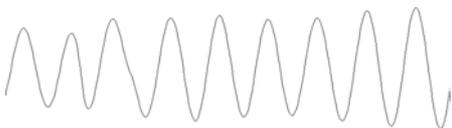


Fig. 2. Onda de corrente filtrada para uma falta monofásica

B. Interpolação dos dados

As oscilografias aquisitadas de relés digitais ou registradores digitais de perturbação (RDPS) podem ter taxa de amostragem com valores diferentes nos dois terminais, e para a estimação da localização da falta é necessário que a taxa de amostragem seja a mesma para os dados dos dois terminais da linha de transmissão. Assim, nos casos em que há diferença nas taxas de amostragem, é feita uma interpolação linear, diminuindo a maior taxa de amostragem para o valor da menor.

Na implementação do aplicativo à UAN foi utilizada a interpolação linear para uma taxa de amostragem correspondente ao mínimo múltiplo comum das duas taxas envolvidas. Desta forma foram preservadas todas as amostras originais do arquivo. Apesar de para o cálculo da localização de faltas esta diferença ser irrelevante, como o aplicativo UAN possui outras funções de análise, a manutenção das amostras originais permite que o usuário possa utilizá-las a qualquer tempo, caso por alguma razão, as amostras que foram introduzidas no processo de interpolação, estejam

introduzindo alguma dúvida no processo.

C. Estimação dos fasores fundamentais

A localização fasorial de faltas em linhas de transmissão, ou seja, a localização que faz uso de informações de 60 Hz, necessita da correta extração dos fasores fundamentais das ondas de tensão e corrente nos terminais da LT. Para a estimação dos fasores foi implementada no WinLT2 uma variação do método dos erros mínimos quadrados [2,3,4], onde se admite sinais de entrada formados por uma exponencial decrescente, aproximada por uma reta, e uma onda senoidal fundamental.

No aplicativo UAN esta estimação foi feita utilizando-se a transformada discreta de Fourier, apenas pelo fato deste aplicativo em seu código já possuir funções para esta estimação. Nos diversos casos estudados e para o objeto em questão, não foram verificadas discrepâncias significativas ocasionadas pela utilização de um ou outro método e, de forma a se otimizar o desenvolvimento do ponto de vista técnico, foi mantida no aplicativo UAN a estimação por Fourier.

D. Determinação do início da falta

A determinação do início da falta foi implementada utilizando-se um monitor de transitórios [2,3,4] para as ondas de corrente. Reconstituindo-se as ondas por meio dos fasores estimados, observa-se que no instante de ocorrência de um transitório há uma significativa diferença entre o valor original da onda e o valor recomposto pelo fasor estimado, pelo fato de haver na janela de amostragem valores pré-falta e pós-falta, conforme mostrado na Fig. 3.

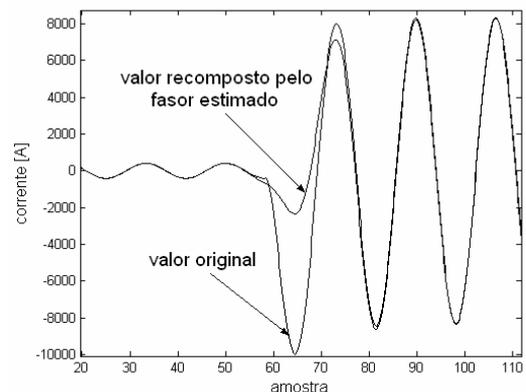


Fig. 3. Diferença entre os valores estimados e os valores originais no momento de ocorrência de um transitório

O monitor de transitórios armazena os resíduos e soma seus módulos a cada janela de dados. A Fig. 4 mostra a evolução do valor da soma dos resíduos para uma falta monofásica. O instante de início da falta é determinado a partir de uma mudança significativa da soma dos resíduos.

Como o aplicativo UAN já possui um método próprio de determinação do tipo de falta e dos instantes de início e fim da falta, que leva em consideração as variações de módulo e ângulo dos fasores de corrente e tensão de fase e neutro e por

este método ter se mostrado muito eficiente no período em que este aplicativo vem sendo utilizado, além de estar sendo continuamente refinado, optou-se por mantê-lo, mais uma vez invocando o aspecto prático do desenvolvimento. Apesar disto, em paralelo à este trabalho, está em desenvolvimento para o aplicativo UAN um módulo do monitor de transitórios para que, com a análise de mais casos práticos reais e a comparação entre os dois modelos, poder se chegar a um modelo ótimo, com a implementação de um novo modelo que utilize uma combinação dos dois métodos. Vale dizer que ambos os métodos apresentaram resultados semelhantes.

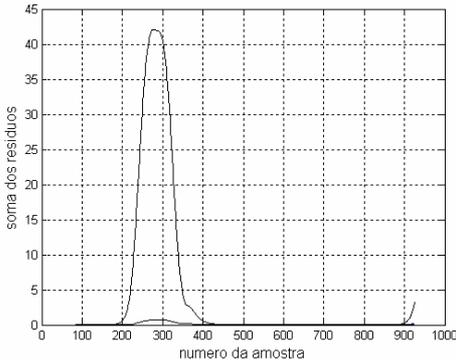


Fig. 4. Evolução do valor da soma dos resíduos para uma falta monofásica

E. Sincronização dos Dados dos Dois Terminais

Inicialmente é feita uma sincronização comparando-se os instantes de início da falta, indicados pelo monitor de transitórios, para os dois terminais da linha de transmissão e eliminando-se as amostras de um dos terminais, se necessário, de modo que o instante de início da falta seja o mesmo para os dois terminais e que o número de pontos em ambas as oscilografias sejam iguais.

No aplicativo UAN, inicialmente é verificada a sincronização através dos horários dos registros, já que a Cemig utiliza registradores com módulos de relógio sincronizados por GPS. Nesta verificação é feita a correção do número de amostras, tanto no início quanto no final dos registros, isto para facilitar os outros módulos de análise constantes do aplicativo, principalmente o módulo de visualização da oscilografia.

Após isto, é feito, caso necessário, um novo ajuste com base nos instantes de início e término da falta. Para se eliminar possíveis estimativas incorretas provenientes do filtro de Fourier, muito suscetível à componente DC, utiliza-se também um processo de se desconsiderar como falta um determinado número de amostras a partir do início da falta e também antes do final da falta, como forma de se garantir que a análise seja feita em uma região de regime permanente senoidal efetivo, desprezando-se os instantes que possam conter as componentes DC, normalmente presentes nos inícios das faltas e também de modo a se eliminar possíveis ruídos que poderiam ser causados por alguma imprecisão na determinação dos instantes de início e fim da falta.

O número de amostras a serem eliminadas no início e no final da falta depende do período de duração da falta, não

sendo superior a 1/2 ciclo, de forma a se garantir que o período final para análise possua pelo menos um ciclo de amostras, tendo em vista tempos mínimos de operação da proteção da ordem de 1,5 ciclos.

Além de todo este processo é permitido ao usuário efetuar um ajuste manual na sincronização, pois apesar de se tentar cercar todas as possibilidades de erro na sincronização nos algoritmos, sempre pode haver alguma perturbação em que os métodos automáticos adotados podem falhar.

Posteriormente é feito um ajuste fino, comparando-se os valores pré-falta de um dos terminais com os valores do outro terminal. Com a utilização dos parâmetros ABCD da linha de transmissão é feita a correção angular dos fasores.

III. LOCALIZAÇÃO DA FALTA

A metodologia utilizada para a estimação do local de falta com as informações de ambos os terminais da LT foi baseada na teoria proposta por Johns [1]. Este método considera a natureza distribuída das LTs, fazendo uso das funções hiperbólicas para representar as variações de tensão e corrente ao longo da linha.

A localização da falta é determinada calculando-se a tensão ao longo da linha, a partir dos dois terminais, utilizando-se os parâmetros ABCD de seqüência positiva que representam a LT. O ponto onde o valor das tensões se igualar fornece o local da falta, conforme mostrado na Fig. 5.

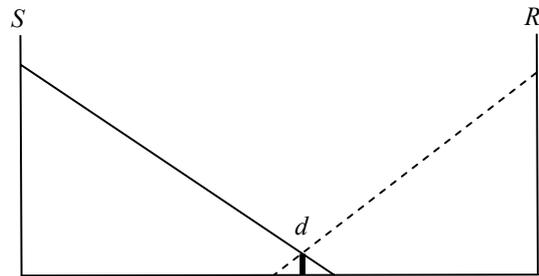


Fig. 5. Ponto em que as tensões dos dois terminais se igualam

O valor da tensão ao longo da linha pode ser calculado, a partir das informações do terminal S, pela expressão (1) e a partir das informações do terminal R, pela expressão (2).

$$V_F = \cosh(\gamma d) V_S - Z_C \sinh(\gamma d) I_S \quad (1)$$

$$V_F = \cosh[\gamma(\ell - d)] V_R - Z_C \sinh[\gamma(\ell - d)] I_R \quad (2)$$

Nestas expressões, ℓ representa o comprimento total da LT e d o ponto de ocorrência da falta, que é calculado utilizando-se a expressão (3) a seguir, obtida quando se substitui a expressão (1) na expressão (2) e obtém-se a solução para d .

$$d = \Re\left(\operatorname{atanh}\left(\frac{V_S - V_R \cosh(\gamma \ell) + Z_C I_R \sinh(\gamma \ell)}{Z_C I_S - V_R \sinh(\gamma \ell) + Z_C I_R \cosh(\gamma \ell)}\right)\right) \frac{1}{\gamma} \quad (3)$$

Nesta expressão, γ e Z_C são, respectivamente, a constante de propagação e a impedância característica de seqüência

positiva da linha de transmissão e V_L , V_R , I_L e I_R são os fasores sincronizados no tempo, das componentes fundamentais de seqüência positiva das ondas de tensão e corrente. O símbolo \Re indica que deve ser considerado apenas o valor real encontrado pela expressão (3). Teoricamente o valor d que representa a distância ao ponto de falta será um número real. Entretanto, na prática, erros devidos à representação da LT, além de outros pertinentes ao processo de coleta dos dados, fazem com que apareça uma pequena parte imaginária, que deverá ser ignorada.

Embora a expressão (3) seja válida para as três seqüências, ela foi utilizada para a seqüência positiva por esta seqüência estar presente em todos os tipos de falta, além de que os parâmetros da LT, para esta seqüência, são mais facilmente calculados e apresentam menores erros.

De posse das informações de localização para todas as amostras durante o período de falta é calculada a mediana [5] dos valores e eliminados aqueles que excederem a 10% da mediana. A partir daí é iniciado um *loop*, calculando-se novamente a mediana com os valores restantes, eliminando-se aqueles que excederem a 5% da mediana e assim sucessivamente até um limite de 0,5%. O resultado final da localização da falta é obtido pela mediana dos valores restantes.

No aplicativo UAN foi também mantido um processo estatístico, já existente, para o cálculo da localização. Com este processo informa-se aos usuários a faixa provável da localização além de se determinar o ponto estimado da falta, através da distribuição de Gauss. Para as equipes de manutenção de linhas de transmissão, a informação da faixa de localização evita alguns transtornos causados pela expectativa de se encontrar o ponto real da falta em um local diferente, porém próximo do estimado. Esta faixa é determinada em função do coeficiente de distribuição calculado e o desvio padrão do ponto estimado. Considera-se também neste cálculo o comprimento total da linha de transmissão.

Inicialmente utiliza-se o coeficiente de distribuição para a determinação inicial da faixa utilizando a seguinte metodologia: para coeficientes menores que 0,1 a faixa inicial é igual ao ponto estimado +/- metade do desvio padrão da localização. Para coeficientes entre 0,1 e 0,3 a faixa inicial é igual ao ponto estimado +/- o desvio padrão da localização e para coeficientes maiores que 0,3 a faixa inicial é igual ao ponto estimado +/- o dobro do desvio padrão da localização.

Após esta primeira determinação, para os casos em que as linhas de transmissão sejam inferiores a 50 quilômetros, estipula-se que a faixa mínima a ser informada é do ponto estimado +/- 2% do comprimento da linha. Para linhas maiores que 50 quilômetros a faixa a ser informada é do ponto estimado +/- 1% do comprimento da linha. Com isto minimiza-se os impactos negativos causados por alguns erros inerentes às medições do sistema elétrico de potência, como os causados por erros nos transformadores de corrente e de potencial. Estas faixas foram definidas para o algoritmo atual da UAN de forma empírica, baseadas principalmente nas

análises históricas dos resultados obtidos. Com o tempo e após o período de maturação do atual algoritmo, a tendência, com base nos resultados verificados hoje, é que estas faixas sofram uma redução significativa, face ao real aumento de precisão e confiabilidade dos resultados introduzidos pelo novo algoritmo baseado em dados dos dois terminais.

IV. ESTIMAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE FALTA

Uma vez conhecido o provável local da falta, são determinados os parâmetros ABCD de seqüência positiva e seqüência zero, para os dois trechos de linha. Com esses parâmetros, são calculados, a partir dos valores de tensão e corrente nos dois terminais, as grandezas de seqüência no ponto de falta, relativas a cada um dos terminais, conforme mostrado na Fig. 6 e, finalmente, de posse desses valores, são determinadas as tensões e correntes de fase no ponto de falta.

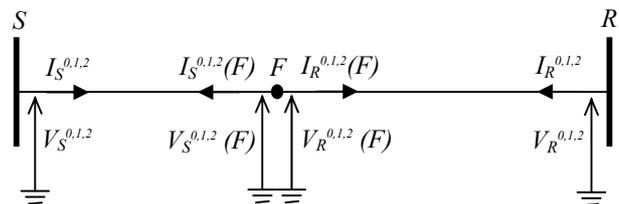


Fig. 6. Tensões e correntes de seqüência no ponto de falta

Com a informação do tipo de falta, previamente identificado com a utilização do monitor de transitórios, é escolhido o modelo de falta adequado e a resistência de falta é determinada a partir dos valores de tensão e corrente no ponto de falta para cada uma das amostras entre o início e o fim da falta. A Fig. 7 apresenta o circuito utilizado para uma falta monofásica entre a fase A e a terra.

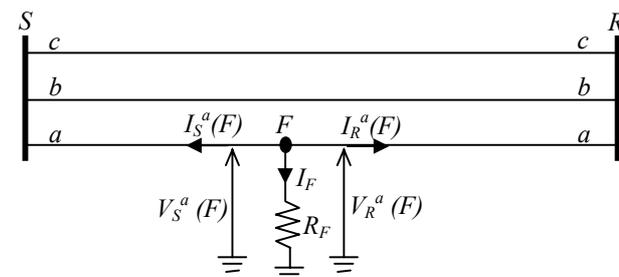


Fig. 7. Corrente de falta e tensões para uma falta AT

As equações (4), (5) e (6) mostram como devem ser calculadas a corrente de falta e as resistências vistas por cada terminal para a estimação da resistência de falta, para uma falta monofásica AT.

$$I_F = -(I_S^a + I_R^a) \quad (4)$$

$$R_S = \frac{V_S^a(F)}{I_F} \quad (5)$$

$$R_R = \frac{V_R^a(F)}{I_F} \quad (6)$$

A estimação da resistência de falta é obtida pela média aritmética das resistências vistas pelo terminais da linha, R_S e R_R , conforme mostrado na equação (7).

$$R_{falta} = \frac{R_S + R_R}{2} \quad (7)$$

O resultado final da resistência de falta é obtido empregando-se o cálculo da mediana, da mesma forma como apresentado na determinação do local da falta.

V. RESULTADOS OBTIDOS EM CASOS REAIS DE FALTAS

Foram realizados diversos testes com dados provenientes de simulações de curtos-circuitos em LTs através do ATPDRAW[®]. Em todos os casos, independente da condição da falta ou do sistema, os resultados obtidos foram excelentes, com erros máximos inferiores a 1%. No entanto este desempenho já era esperado, tendo em face os resultados já alcançados pelo grupo de pesquisa do PROTLab/UFMG em trabalhos anteriores.

De forma a validar a metodologia utilizada para casos práticos, foram avaliados os resultados obtidos em quatorze casos reais. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, uma vez que em todos eles, as indicações apontadas pelo programa apresentaram erros inferiores a 7% em relação ao comprimento total da linha, estando 8 deles, ou seja, 57,14% com erro inferior a 2,5%.

TABELA I
RESULTADOS DA LOCALIZAÇÃO DE FALTA PARA OS CASOS REAIS

Tensão [kV]	Comp. LT [km]	Localização falta [km]		Erro		Tipo de Falta	Resist. de Falta [ohms]	Causa
		Real	Estim.	%	km			
230	91,0	60,0	62,5	2,8	2,5	BT	74,1	Árvore
		78,0	77,5	0,6	0,5	ABT	1,2	Desc. Atmosf.
345	74,4	60,0	63,6	4,8	3,6	AT	3,6	Desc. Atmosf.
		54,0	54,0	0,0	0,0	BT	3,7	Desc. Atmosf.
500	105,6	30,0	28,4	1,5	1,6	AT	25,6	Queimada
500	356,3	127,0	134,0	2,0	7,0	AT	18,7	Queimada
500	342,7	317,0	324,0	2,0	7,0	CT	1,5	Desc. Atmosf.
		76,0	82,3	1,8	6,3	AT	1,7	Desc. Atmosf.
		55,0	55,9	0,3	1,2	CT	26,4	Queimada
		50,0	50,1	0,0	0,1	CT	36,6	Queda Estrutura
500	248,4	7,0	9,2	0,9	2,2	BT	2,6	Desc. Atmosf.
		76,0	91,2	6,1	15,2	BT	16,6	Queimada
		223,0	233,0	4,0	10,0	AT	2,6	Desc. Atmosf.
		157,0	156,0	0,4	1,0	ACT	1,5	Desc. Atmosf.
500	219,2	170,0	156,0	6,4	14,0	BT	4,4	Queda Estrutura
		0,0	26,5	12,1	26,5	BT	1,6	Explosão TPC
			(*)0,4	0,2	0,4		2,6	

218,0	215,0	1,4	3,0	BT	1,2	Desc. Atmosf.
-------	-------	-----	-----	----	-----	---------------

(*) Valores obtidos utilizando-se informações disponíveis de tensão dos TPs de outra linha em virtude da explosão do TP de uma das fases.

Um único caso apresentou um erro mais elevado. No entanto isto já era esperado por se tratar de falta ocasionada por explosão de TPC, que resultou na perda das informações de tensão da fase em falta, no terminal onde houve a explosão. Porém, quando utilizadas as informações das tensões provenientes do TP de outra LT na subestação onde ocorreu a explosão do TPC, os resultados foram excelentes, apresentando um erro percentual de 0,2 %, que equivale a apenas 400 m de erro.

VI. CONCLUSÕES

Os resultados de localização de faltas obtidos mostram que a metodologia utilizada na estimação do local de falta, baseada nos dados dos dois terminais, sua correta implementação, a utilização do monitor de transitórios ou técnicas da Unidade de Análise Numérica - UAN para classificação e identificação do início da falta, bem como a metodologia utilizada na estimação da resistência de falta se mostraram eficientes sob condições adversas de faltas, avaliadas nos casos simulados e nos casos reais de faltas em linhas de transmissão.

Na localização de faltas utilizando dados de dois terminais, a sincronização dos dados consiste de etapa imprescindível ao bom funcionamento do algoritmo desenvolvido, visto que erros grosseiros na sincronização implicam erros nos resultados.

Em todos os resultados apresentados, a sincronização das informações dos dois terminais da linha foi efetuada sem a utilização dos instantes de tempo já estampados nas amostras. Estas estampas poderiam ser utilizadas no processo de localização prático, uma vez que grande parte dos registradores de perturbação é sincronizada por GPS. Isso comprova a eficiência do método utilizado na sincronização, onde é feita uma pré-sincronização pela determinação do início da falta pelo monitor de transitórios e um ajuste fino utilizando-se os parâmetros ABCD da linha monitorada. Na UAN, a busca automática dos arquivos COMTRADE relativos às oscilografias reais, é feita através de técnicas de sincronização pelo horário, bem como identificação de “arquivo casado” nos arquivos pertencentes ao RDP do outro terminal. Quando houver algum problema de alteração significativa do horário, de forma que inviabilize o modo automático, deve-se proceder a busca dos “arquivos casados” manualmente, uma vez que o processo de localização de falta não exige tempos muito rápidos.

Outro fator importante na obtenção de resultados satisfatórios na localização de falta é a necessidade de bons parâmetros na representação das linhas de transmissão. A metodologia utilizada neste trabalho considera as linhas perfeitamente transpostas, o que demonstrou ser razoável, uma vez que os resultados encontrados foram satisfatórios. Entretanto, há espaço para mais estudos sobre a melhor forma de se representar as linhas de transmissão para a finalidade de

localização de faltas, como possíveis configurações de circuito duplo, que certamente apresentam resultados incorretos para a localização, relacionados principalmente a problemas de subbalance.

Os resultados de localização de falta para os casos reais mostraram também que é de fundamental importância a correta identificação dos instantes de início e fim da falta para a estimação adequada do local da falta, pois em dois dos casos avaliados houve grande erro na estimação, em função de erro do monitor de transitórios. Como o software desenvolvido permite ao analista identificar os instantes de início e fim da falta de forma manual, isto permite a correção destes instantes, conduzindo a resultados satisfatórios na estimativa do local da falta.

VII. AGRADECIMENTOS E NOTA IMPORTANTE

Os autores gostariam de agradecer a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, em especial ao Programa de P&D da Aneel pelo suporte financeiro.

O conteúdo deste artigo foi baseado na sua quase totalidade nas referências [11], [12] e [13].

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. T. Johns & S. Jamali, "Accurate Fault Location Technique for Power Transmission Lines", *IEEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution*, vol. PAS-137, no. 6, pp. 395-402, 1990.
- [2] C. Pereira & F. C. Cruz, "Análise do Comportamento Estático e Dinâmico dos Filtros Digitais de Mínimos Quadrados na Proteção de Linhas de Transmissão", XV SNPTEE, 1999.
- [3] E. G. Silveira & C. Pereira, "Localização de Faltas em Linhas de Transmissão Utilizando Dados de Tensão e Corrente de Um Terminal", G05 / GPC - 0029, Grupo V - Proteção, Medição e Controle em Sistemas de Potência – GPC, XVI SNPTEE, 2001.
- [4] E. G. Silveira, "Localização Digital de Faltas em Linhas de Transmissão com a Utilização de Dados de Um Terminal", 2001, 130 f, Dissertação (Mestrado em ENGENHARIA ELETRICA/MESTRADO) – UFMG Universidade Federal de Minas Gerais, Orientador: Clever Pereira.
- [5] M. R. Spiegel, "Estatística", McGraw-Hill do Brasil, 1977.
- [6] C. E. M. Pereira & L. C. Zanetta, "Análise Comparativa de Alguns Algoritmos de Localização Digital de Faltas em Linhas de Transmissão", SBA Controle & Automação, vol. 11, no. 03, pp. 135-140, 2000.
- [7] R. B. Sollero, J. C. N. Bianco, T. M. L. Assis, M. A. M. Rodrigues, , A. L. L. Miranda, S. Mantuano, "Localização de Faltas em Sistemas de Transmissão a Partir de Sinais Oscilografados em Ambas as Extremidades da Linha", G05 / GPC - 0048, Grupo V - Proteção, Medição e Controle em Sistemas de Potência - GPC, XVI SNPTEE, 2001.
- [8] C. E. M. Pereira & L. C. Zanetta, "Fault Location in Transmission Line Using Two-port Representation", Transmission and Distribution, 2002.
- [9] N. S. Gomes, S. R. C. Andrade, C. A. B. Costa, C. E. B. Coutinho "SAPNET – Sistema de Análise de Perturbações da Cemig", XV SNPTEE, 1999.
- [10] N. S. Gomes, C. A. B. COSTA & C. E. SOUZA "SSCL – Sistema de Supervisão e Controle Local", XIV SNTPEE, 1997.
- [11] Pereira Jr., I. H. "Localização Automática de faltas em Linhas de Transmissão com Informações dos Dois Terminais". 2004. 130 f. Dissertação (Mestrado em ENGENHARIA ELETRICA/MESTRADO) - Universidade Federal de Minas Gerais, Orientador: Clever Pereira.
- [12] Pereira, C., Pereira Jr., I. H., Valadão, R. L., SOUZA, Sousa, T. M., Barbosa Jr., F., Sousa, W. M. & Boaventura, C. A. . "Sistema de Localização Automática de Faltas em Linhas de Transmissão: Concepção, Implementação e Validação Prática" In: 2004 IEEE/PES Transmission da Distribution Conference and Exposition Latin American, 2004, São Paulo. 2004 IEEE/PES T&D. São Paulo, 2004.
- [13] Pereira, C., Pereira Jr., I. H., Valadão, R. L., SOUZA, Sousa, T. M., Barbosa Jr., F., Sousa, W. M. & Boaventura, C. A. "Desenvolvimento de Sistema Computacional para Localização Automática de Faltas em Linhas de Transmissão e Avaliação de Desempenho Frente a Casos Reais" In: Congresso Brasileiro de Automática, 2004, Gramado. Anais do CBA'2004. Porto Alegre, 2004.