



GRUPO V

GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO E CONTROLE EM SISTEMAS DE POTÊNCIA - GPC

SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO AUTOMÁTICA DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO UTILIZANDO DADOS DE DOIS TERMINAIS – EXPERIÊNCIA DA CEMIG

Weber Melo de Sousa * Carlos Alberto B. Costa Izonel H. Pereira Junior Clever Sebastião P. Filho

CEMIG

CEMIG

CEMIG

UFMG

RESUMO

Este artigo apresenta a concepção, implementação e validação prática de metodologia para localização automática de faltas em linhas de transmissão utilizando informações dos dois terminais, baseada no método proposto por Johns e Jamali em 1990 e adaptada para as linhas de transmissão do sistema brasileiro, implementada no software de análise de perturbações – UAN, da rede de oscilografia – Sapnet da Cemig. Mostra também aspectos relacionados à necessidade de sincronização das amostras de ambos os terminais, premissa básica para o sucesso do algoritmo implementado.

São expostos os principais resultados práticos alcançados no trabalho de pesquisa, fruto de uma dissertação de mestrado. A metodologia foi implementada na forma de um programa computacional e extensamente avaliada frente a diversos casos simulados de curtos-circuitos no programa de transitórios eletromagnéticos *Alternative Transient Program - ATP*.

Então, o programa foi submetido a um grupo de casos reais de faltas em linhas de transmissão de 138, 230, 345 e 500 kV, onde os locais das faltas, bem como suas causas, são conhecidos pelas equipes de engenharia e manutenção da Cemig. Portanto, apresentam-se os resultados desses casos, bem como de casos vivenciados na rotina de operação do sistema de transmissão da Cemig.

PALAVRAS-CHAVE

Rede de oscilografia, Localização de Faltas, Linha de Transmissão, Localização de Defeitos, Proteção Digital.

1.0 - INTRODUÇÃO

A continuidade do fornecimento de energia 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, associado à demanda por tempo de restabelecimento das linhas, cada vez menor, além da aplicação de penalidade financeira devido indisponibilidade, prevista no modelo do setor elétrico vigente, torna importante 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), [7,8], desenvolvido pela Companhia e utilizado, dentre outras atividades, na análise de perturbações e na localização de falta em linhas de transmissão. Visando

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

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 a adquirir os 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 pode apresentar 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.

2.0 - PRÉ-PROCESSAMENTO

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.

2.1 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* [3,9]. 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.

2.2 Interpolação dos dados

As oscilografias adquiridas 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, ajustando estas taxas a um fator mínimo múltiplo comum.

2.3 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. Como alternativa para a estimação dos fasores foi implementada 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.

2.4 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 reconstituído pelo fasor estimado, pelo fato de haver na janela de amostragem valores pré-falta e pós-falta. O monitor de transitórios armazena os resíduos e soma seus módulos a cada janela de dados. 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 a este trabalho, está em desenvolvimento para o aplicativo UAN um módulo do monitor de transitórios que, após a análise de mais casos práticos reais e a comparação entre ambos os modelos, permita a implementação de um novo modelo que utilize uma combinação dos dois métodos. Vale dizer que ambos os métodos apresentaram resultados semelhantes.

2.5 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 de corrente contínua (*DC*), utiliza-se também um processo empírico que desconsidera um determinado número de amostras a partir do início da falta e também antes do final da falta, visando garantir que a análise seja feita em uma região de regime permanente senoidal efetivo, desprezando as influências das componentes *DC* e também eliminando 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 $\frac{1}{2}$ 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 disso, é permitido ao usuário efetuar o ajuste manual na sincronização, caso seja notada alguma falha dos métodos.

Então, 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.

3.0 - LOCALIZAÇÃO DE FALTAS

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 Figura 1.

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).

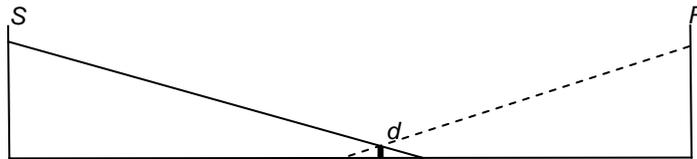


FIGURA 1. Ponto em que as tensões dos dois terminais se igualam

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

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

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 .

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

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_e 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, foi utilizada apenas para a seqüência positiva, tendo em vista que ela está presente em todos os tipos de falta, pela facilidade de cálculos e por apresentar menores erros.

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 da localização do 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 km, estipula-se que a faixa mínima a ser informada é do ponto estimado +/- 2% do comprimento da linha. Com isto minimizam-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 (TCs) e de potencial (TPs). Estas faixas foram definidas para o algoritmo atual da UAN de forma empírica, baseadas principalmente nas análises históricas dos resultados obtidos.

4.0 - ESTIMAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE FALTAS

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. 2 e, então, de posse desses valores, são determinadas as tensões e correntes de fase no ponto de falta.

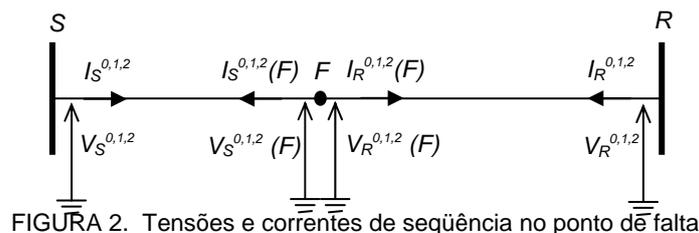


FIGURA 2. Tensões e correntes de seqüência no ponto de falta

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 Figura 3 apresenta o circuito utilizado para uma falta monofásica entre a fase A e a terra.

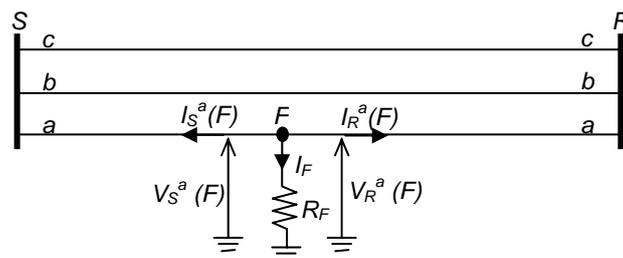


FIGURA 3. Corrente de falta e tensões para uma falta AT

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 pelos terminais da linha, R_S e R_R , conforme mostrado na equação (7).

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

5.0 - ESTUDOS DE CASOS REAIS

Foram analisadas perturbações das quais existiam registros nos dois terminais e os locais das faltas foram identificados pelas equipes de manutenção. A Tabela 1 apresenta as características destas perturbações.

TABELA 1: Características das perturbações analisadas

Número de Perturbações Analisadas	43
Perturbações em LTs com comprimento maior que 100 km	24
Perturbações em LTs com comprimento entre 50 e 100 km	5
Perturbações em LTs com comprimento entre 25 e 50 km	10
Perturbações em LTs com comprimento menor que 25 km	4
Perturbações em LTs de 500kV	32
Perturbações em LTs de 345kV	11
Perturbações Monofásicas	38
Perturbações Bifásicas	4
Perturbações trifásicas	1

5.1 Cálculos com o Método Atual (Wiszniewski)

Como a proposta destes estudos era a comparação entre o desempenho do método atual empregado e o novo método de localização com os dados de dois terminais, foram, inicialmente, executados os cálculos de localização com o método atual e calculadas as faixas percentuais, relativos ao comprimento da linha de transmissão, de desvio, ponto calculado menos o ponto real, destes cálculos em relação ao ponto de falta real.

A Figura 4 mostra os resultados obtidos, onde se pode verificar que apesar do local da falta, eixo X do gráfico, estar presente em quase todas as faixas calculadas, em algumas perturbações, o resultado indicou um trecho que não continha o local e também, algumas faixas apresentavam comprimentos muito elevados, chegando mesmo a indicar todo o comprimento da linha de transmissão. O desvio médio encontrado foi de 10% em relação ao ponto médio da localização, atualmente considerado satisfatório.

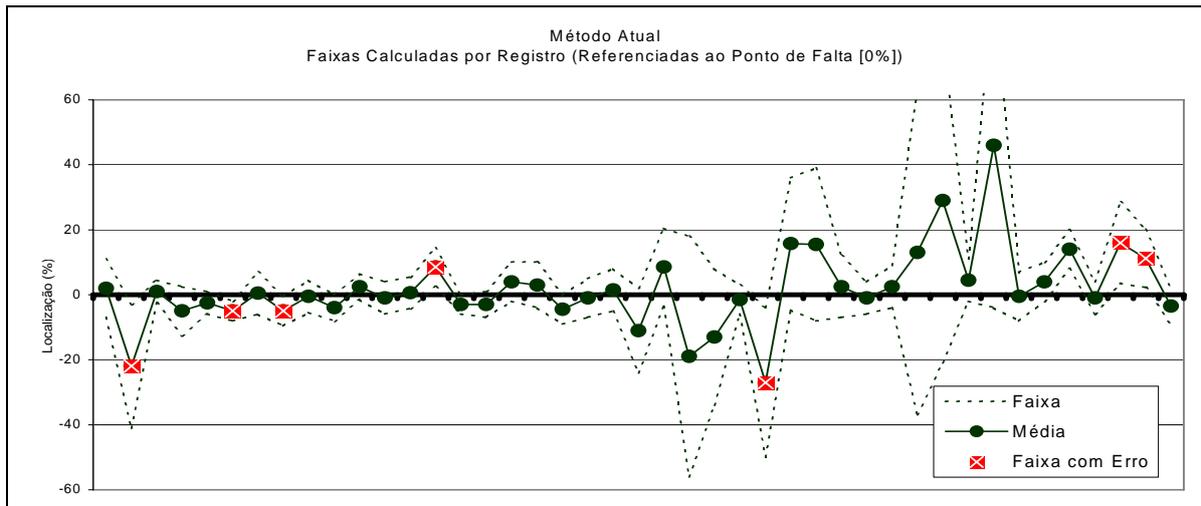


FIGURA 4: Faixas de Localização das Falhas – Método Atual com Dados de 1 terminal

5.2 Cálculos com o Método de dois Terminais (Johns e Jamali)

Foram então efetuados os cálculos com o método de localização de falhas com dados dos dois terminais, utilizando o mesmo modelo de cálculo das faixas de localização anterior, ou seja, relativos ao comprimento da linha de transmissão, de desvio destes cálculos em relação ao ponto de falta real, conforme equações (8) e (9).

A Figura 5 mostra os resultados obtidos, onde se pode verificar enorme redução das faixas de localização, que apresentaram o valor máximo de 4,11% do comprimento da LT, porém nota-se que em várias perturbações o local real da falta, representado pelo eixo X do gráfico, ficou fora da faixa calculada, em geral com erros inferiores a 1% do comprimento da LT, ou seja, os valores calculados, mesmo para estes casos, ficaram muito próximos dos valores corretos. Em relação ao ponto médio da localização o desvio máximo encontrado foi de 2% o que consideramos como plenamente satisfatório.

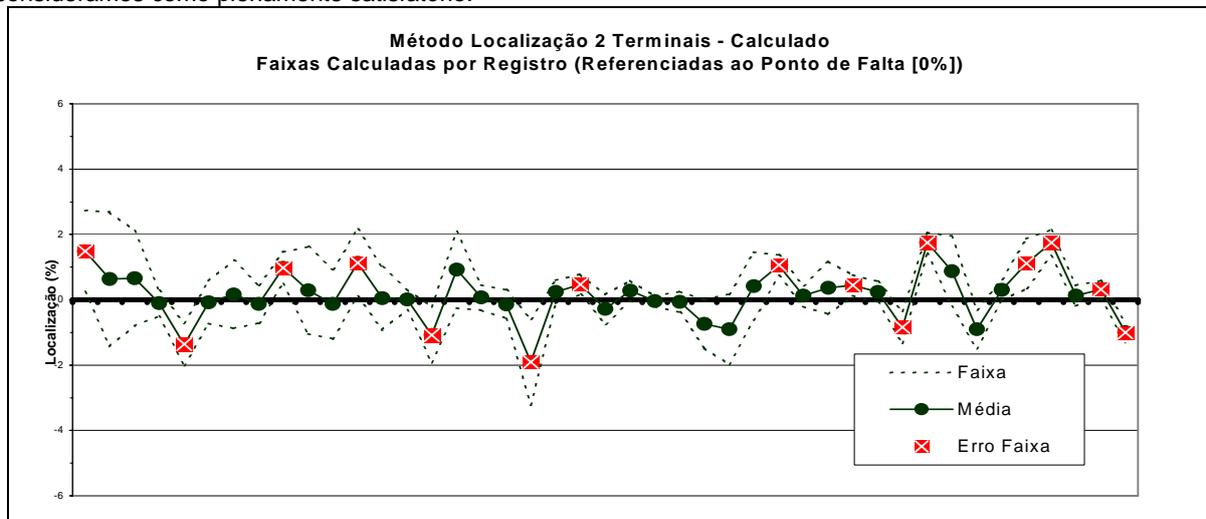


FIGURA 5: Faixas de Localização das Falhas – Método com dados dos 2 terminais

5.3 Ajustes Empíricos na Faixa calculada com o Método de dois Terminais (Johns e Jamali)

Os pequenos erros apresentados pelo método de localização com dados de dois terminais podem ter ocorrido devido a vários fatores, tais como erros nos equipamentos de transformação primários, TPs e TCs; erros de transdução dos circuitos de entrada dos registradores, erros nos cálculos dos parâmetros de impedância das linhas de transmissão etc, podendo até mesmo ter ocorrido uma somatória destes erros.

Apesar dos resultados encontrados nos cálculos serem considerados satisfatórios para os analistas, a informação de uma faixa de localização que não contenha o ponto real de falta pode levar uma certa frustração às equipes de manutenção das linhas de transmissão e mesmo provocar uma certa insegurança na utilização da ferramenta computacional. Como o controle destes erros nem sempre é viável técnica e financeiramente, a Cemig, com base na experiência de sua equipe de analistas, adotou, como forma de minimizar os impactos de se passar a informação de uma faixa de localização digamos incorreta, um limite inicial de faixa mínima de localização de faltas igual a 4% do comprimento da LT. Com esta expansão das faixas, o comprimento médio dos trechos calculados passou de 1,33% para 4%, representando algo equivalente a 14 km para a maior linha de transmissão

da Cemig. Neste caso o aumento da probabilidade de localização da falta, agregando credibilidade ao método, justifica o acréscimo da faixa a ser percorrida pela equipe de manutenção de linhas de transmissão. Pela análise da Figura 6 constata-se que, com a utilização deste limite de faixa expandido, todas as faixas passaram a conter o ponto real da falta.

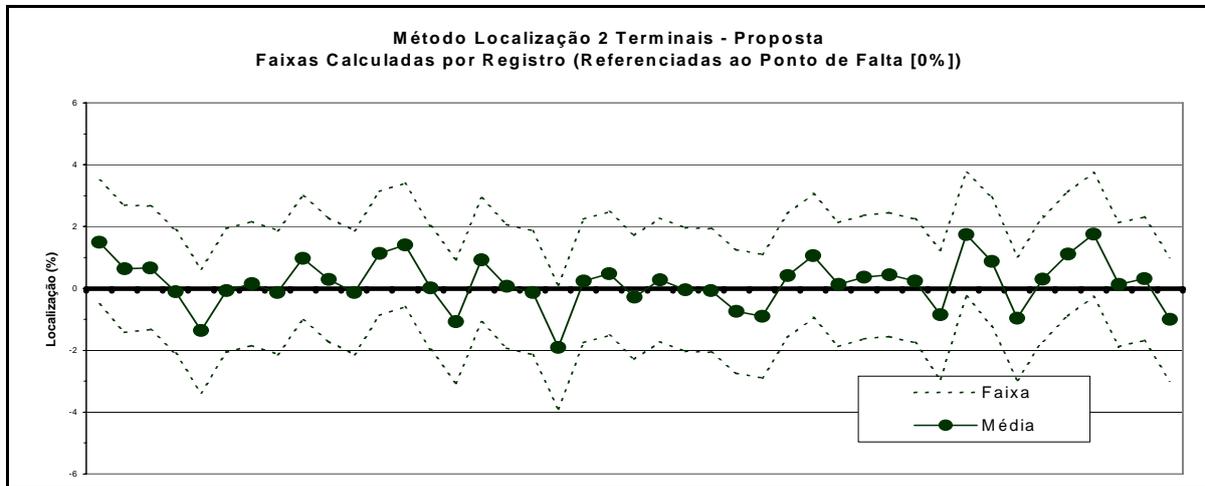


Figura 6 Faixas de Localização das Faltas – Método com dados dos 2 terminais – Proposta Faixa expandida

5.4 Cálculo da Resistência de Falta das Perturbações

Pela análise dos resultados dos cálculos de resistências das faltas, apresentados na Figura 7 nota-se claramente que é possível estimar, com elevado grau de certeza, a causa de cada perturbação a partir da resistência de falta. Verifica-se que, para os casos de faltas por descargas atmosféricas, as resistências das faltas apresentaram valores baixos, na faixa entre 0 e 10 Ω . Os valores para queimadas situaram-se entre 10 e 70 Ohms e para os casos de árvores próximas às estruturas ou cabos os valores foram superiores a 70 Ohms.

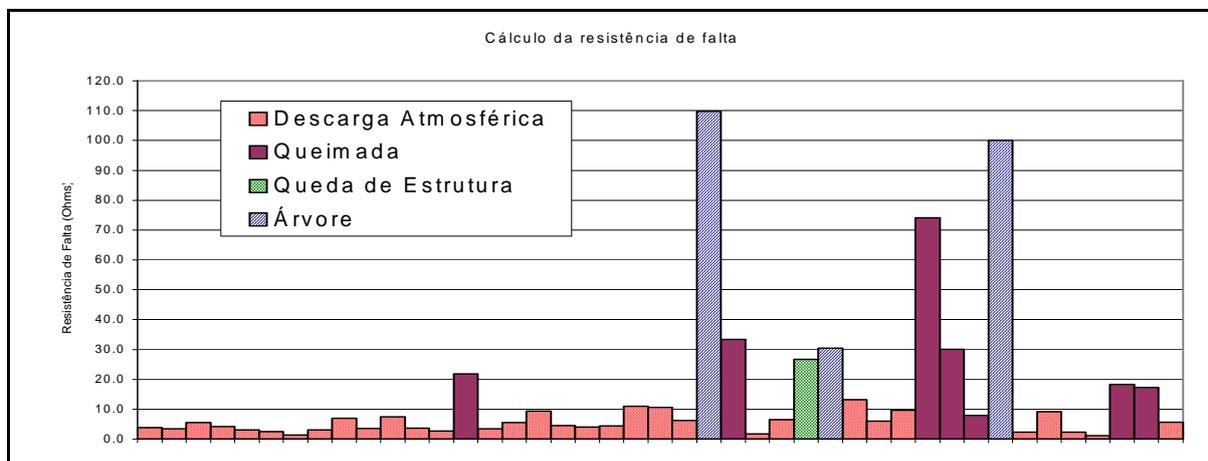


FIGURA 7 Cálculo da Resistência de Falta

A Figura 8 apresenta um quadro comparativo entre as faixas médias de localização do método atual, do método novo e do método novo com a expansão da faixa. Neste gráfico podemos constatar que a redução em quilômetros da faixa média foi de cerca de 23 km, de 33 km para 10km, respectivamente, reforçando a constatação dos benefícios advindos da implantação da nova metodologia.

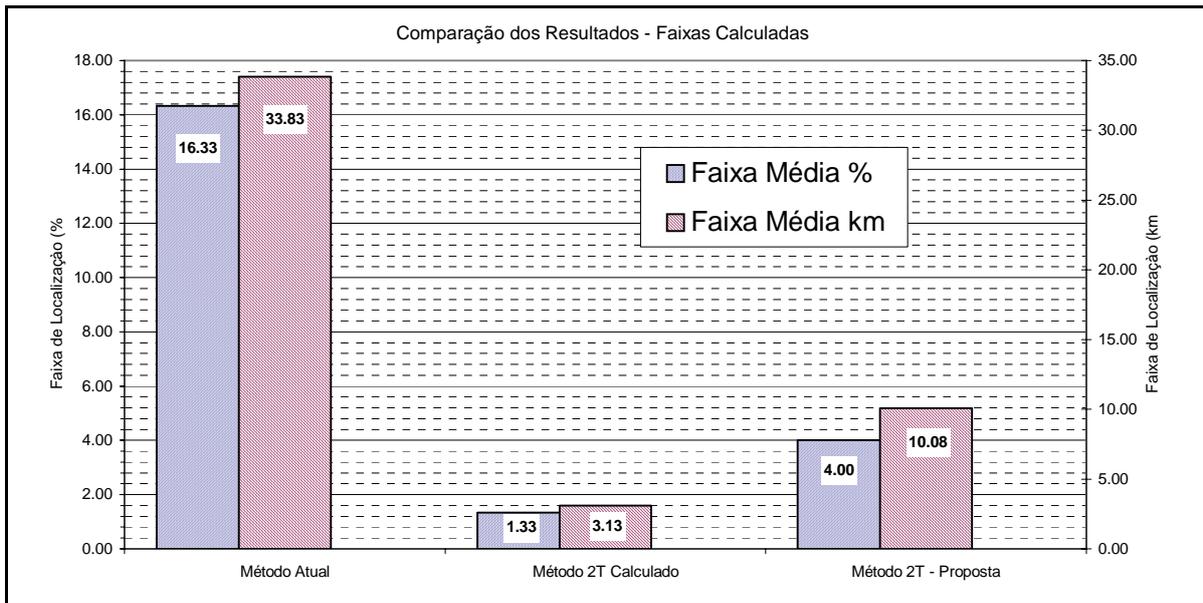


FIGURA 8 Comparação das Faixas de Localização das Faltas

6.0 - CONCLUSÃO

Os resultados de localização de faltas obtidos mostram a eficiência da metodologia utilizada frente a casos simulados e reais, inclusive sob condições adversas de faltas.

O método aqui explicitado apresenta vantagens em relação àquele atualmente utilizado, visto que reduz significativamente o comprimento da linha de transmissão a ser percorrido para localização da falha, fornece como produto à resistência de falta calculada de forma mais precisa e permite sua associação à causa do defeito.

Finalmente, os benefícios advindos da implantação da nova metodologia implicam redução do tempo de indisponibilidade de linhas de transmissão e melhoria da qualidade de fornecimento de energia elétrica da concessionária.

7.0 - 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] N. S. Gomes & C. A. B. COSTA & C. E. SOUZA "SSCL – Sistema de Supervisão e Controle Local", *XIV SNTPEE*, 1997
- [8] I. H. P. Júnior, "Localização Automática de Faltas em Linhas de Transmissão com Informações dos Dois Terminais", CPDEE-UFMG, Belo Horizonte, 2004. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Elétrica).
- [9] W. M. Sousa, C. Pereira, "Nova Proposta de Religamento Monopolar Adaptativo Aplicado a Linhas de Transmissão de Extra-Alta Tensão", CPDEE-UFMG, Belo Horizonte, 2002. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Elétrica).
- [10] C. Pereira & T. Matozinhos & F. Barbosa & R. Valadão & I. H. P. Júnior & W. M. Sousa & C. A. B. Costa, "Desenvolvimento de Sistema Computacional para Localização Automática de Faltas em Linhas de Transmissão e Avaliação de Desempenho Frente a Casos Reais", *XV CBA*, 2004