

Localização de Falhas em Linhas de Transmissão pelo Método das Componentes Fundamentais

Fellipe M. S. e Souza.* Huilman S. Sanca*
 Maurício A. Marinho* Alfredo P. de Araújo N.*
 Francisco C. Souza J.** Fernando A. Moreira***

* *Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, BA, (e-mail: fmeira76@gmail.com; mauricio10am@gmail.com; huilman.sanca@ufrb.edu.br; plinioalfredo01@gmail.com).*

** *Instituto Federal do Rio Grande do Norte - IFRN, RN (e-mail: fcsouzajr@gmail.com)*

*** *Universidade Federal da Bahia - UFBA, BA, (e-mail: moreiraf@ufba.br)*

Abstract: In this paper, a comparison between two fault location techniques in transmission lines based on the fundamental frequency components is presented. The implemented algorithms use the Full Cycle Discrete Fourier Transform (FCDFT) for phasor estimation of voltage and current signals using data from one terminal in a 230kV transmission system. The simulations results show the efficiency of the methods and good precision, respectively, in the face of the variation of the fault parameters such as distance, resistance, angle of incidence, and the fault type.

Resumo: Neste artigo apresenta-se uma comparação entre duas técnicas de localização de faltas em linhas de transmissão baseado nas componentes de frequência fundamental. Os algoritmos implementados utilizam a Transformada Discreta de Fourier de Ciclo Completo (TDFCC) para estimação fasorial dos sinais de tensão e corrente utilizando dados de um terminal em um sistema de transmissão de 230kV. Os resultados simulações mostram as eficiências dos métodos e boa precisão, respectivamente, frente à variação dos parâmetros de faltas como distância, resistência, ângulo de incidência e o tipo de falta.

Keywords: Fault location; Transmission lines; Electric System; Fundamental components; FCDFT; Algorithm.

Palavras-chaves: Localização de faltas; Linhas de transmissão; Sistema Elétrico; Componente fundamental; TDFCC; Algoritmo.

1 INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) é definido como o conjunto de todas as instalações e equipamentos destinados à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Estes sistemas são projetados para fornecer eletricidade obedecendo os padrões qualidade, confiabilidade e continuidade. Neste processo, os sistemas de proteção são fundamentais para garantir o transporte seguro de energia para os centros consumidores, pois monitoram qualquer inconformidade no sistema de transmissão.

Dentre os componentes de um SEP, a linha de transmissão (LT) é o elemento mais susceptível a falhas. Um registro de ocorrência de faltas apresentado em Coury (1987) mostrou que em um período de dez anos, um sistema elétrico de 500 kV registrou cerca de 80% das falhas somente em LT. Dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), entre os anos de 2016 e 2017, mostram que o número de desligamentos forçados no sistema elétrico foi de 2848 em

linhas de transmissão e 920 em subestações, entre a rede básica e complementar. Somente a rede básica representa 95,5% dos desligamentos.

Diferentes classificações podem estar relacionadas quando aborda-se sobre falhas em LT, eles podem ocorrer por variadas causas. Quando identificada a falha, o sistema de proteção é acionado e o problema deve ser eliminado a partir das operações de detecção, classificação e localização do ponto da falta. Permitindo um restabelecimento tão rápido quanto possível do sistema em casos de desligamentos, que são ocasionados quando a falta é persistente. Identificar o ponto exato da ocorrência da falha na LT é de fundamental importância, permite que as equipes de manutenção possam efetuar os reparos necessários e realizar a reenergização da linha em um curto período de tempo.

Ao longo dos anos, o desenvolvimento de técnicas para a melhoria do sistema de proteção tem possibilitado contribuições para o surgimento de melhores dispositivos, com bons resultados nos índices de velocidade de operação. Di-

* Ao CETEC/UFRB, IFRN, UFBA e CNPq pelo suporte financeiro.

ferentes estudos concentram esforços no desenvolvimento de técnicas eficientes para os processos de detecção, classificação e localização de faltas.

Na literatura, a ampla maioria aborda temas de localização de faltas em LT utilizando os métodos mais convencionais: (1) métodos baseados nas componentes fundamentais e (2) métodos baseados nos componentes de alta frequência. Em da Silva et al. (2010), por exemplo, é proposto um método de três terminais utilizando a Transformada Wavelet Discreta (TWD) para localizar faltas baseado nas componentes de alta frequência. Em Lopes (2014), utiliza-se a Transformada de Park, a qual é capaz de identificar transitórios de falta em tempo real de forma bastante simples e robusta. Já em Oliveira (2019); Takagi et al. (1982a), foram utilizados métodos de localização de faltas em LT baseada em componentes da frequência fundamental de um terminal, para analisar os dados sobre algoritmos de localização de faltas.

Um bom método de localização de faltas necessita ser imune aos parâmetros de falta (resistência de falta, ângulo de incidência, local da falta) e aos parâmetros do sistema elétrico, dentre os quais destacam-se as impedâncias de seqüências das linhas, o grau de carregamento e o grau de compensação série (Pereira, 2013).

Neste trabalho, realiza-se uma comparação entre duas técnicas de localização de faltas a partir dos dados de um terminal utilizando fasores das componentes da frequência fundamental utilizando a Transformada Discreta de Fourier de Ciclo Completo (TDFCC). Para a avaliação e validação da técnica analisada, um sistema de 230kV é implementado e simulado no programa ATP-EMTP. Realiza-se a simulação dos tipos de falta variando os seus parâmetros (resistência e ângulo de incidência) assim como o local de falta, que, ao todo, fazem 216 casos de faltas avaliadas. Além disso, são realizadas simulações de um método mais atual existente na literatura, para efeito de comparação entre ambos. O método escolhido foi o de Lima (2013), que se baseia no trabalho de Bretas (2006) sobre localização de faltas utilizando a impedância aparente de seqüência positiva.

2 LOCALIZAÇÃO DA FALTA

2.1 Método de Um Terminal

Na Figura 1 apresenta-se um sistema elétrico sob a ocorrência de uma falta. Este modelo servirá como base para a demonstração da formulação matemática utilizada no método que será aplicado neste trabalho.

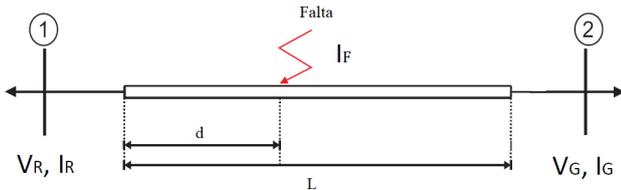


Figura 1. Sistema elétrico com dois terminais sob condição faltosa.

Da Figura 1, encontra-se a relação entre a tensão e corrente para a barra 1 de acordo com a Lei de Kirchhoff das

tensões. Sendo Z_F a impedância de falta e \hat{I}_F o fasor de corrente de falta. Assim, tem-se:

$$\hat{V}_R = dZ_{L1}\hat{I}_R + Z_F\hat{I}_F \quad (1)$$

sendo Z_{L1} a impedância de seqüência positiva da LT. Os valores de \hat{V}_R e \hat{I}_R irão variar de acordo com o tipo de falta, e estão representados na Tabela 1.

Tabela 1. Sinais \hat{V}_R e \hat{I}_R de entrada para o algoritmo do método aplicado.

Tipos de Falta	\hat{V}_R	\hat{I}_R
AT	V_A	$I_A + K_0 I_0$
BT	V_B	$I_B + K_0 I_0$
CT	V_C	$I_C + K_0 I_0$
AB, ABT, ABC	$V_A - V_B$	$I_A - I_B$
BC, BCT, ABC	$V_B - V_C$	$I_B - I_C$
CA, CAT, ABC	$V_C - V_A$	$I_C - I_A$

Sendo I_0 a corrente de seqüência zero e K_0 é o fator de compensação da corrente de seqüência zero, que pode ser determinado por (Das et al., 2014):

$$K_0 = \frac{Z_{L0} - Z_{L1}}{3Z_{L1}} \quad (2)$$

sendo Z_{L0} a impedância de seqüência zero da LT.

Dividindo-se (1) por \hat{I}_R , tem-se a equação que servirá como base para o desenvolvimento de algoritmos de um terminal baseados na estimação das componentes fundamentais de corrente e tensão:

$$Z_{aparente} = \frac{\hat{V}_R}{\hat{I}_R} = dZ_{L1} + Z_F \frac{\hat{I}_F}{\hat{I}_R} \quad (3)$$

O método adotado neste trabalho foi proposto por Takagi et al. (1982b), foi desenvolvido um algoritmo que minimizasse a influência das variáveis que não são conhecidas (Z_F e \hat{I}_F).

De acordo com Das et al. (2014), o método de Takagi propõe uma melhora em relação ao método da reatância simples (método mais básico que considera que a impedância de falta é puramente resistiva) através da retirada da corrente da carga da corrente total da falta. Usando o princípio da superposição, o sistema durante a falta é decomposto em uma rede pré-falta e “puramente” em falta.

Para eliminar a dependência da resistência de falta para o cálculo do local do defeito, o método de Takagi considera que a linha de transmissão é homogênea. Dado essa consideração, este método utiliza de uma corrente ΔI que significa a diferença entre a corrente pós e pré-falta. A partir destas informações, o local da falta é estimado de acordo com os valores imaginários dos fasores envolvidos no cálculo:

$$d = \frac{\text{imag}(\hat{V}_R \Delta \hat{I}_R^*)}{\text{imag}(Z_{L1} \hat{I}_R \Delta \hat{I}_R^*)} \quad (4)$$

sendo \hat{I}_R^* o conjugado do elemento incremental de corrente pós e pré-falta.

2.2 Técnica apresentada em Lima (2013)

A técnica proposta em Lima (2013) baseia-se também na técnica de um terminal e o cálculo para localização

de faltas é realizado seguindo como base as seguintes equações:

Para uma falta monofásica na fase A, localizada a uma distância d do terminal de medição:

$$d = \frac{\text{imag}(\hat{V}_A \hat{I}_A^*)}{\text{imag}(Z_{L0} \hat{I}_{R0} + Z_{L1}(\hat{I}_{R1} + \hat{I}_{R2})) \hat{I}_A^*} \quad (5)$$

sendo, respectivamente, I_{R0} , I_{R1} e I_{R2} , as correntes de sequência zero, positiva e negativa contribuídas pelo terminal local durante a falta.

Para falta bifásica entre as fases BC e falta trifásica:

Considerando que a corrente \hat{I}_{BC} pode ser obtida de acordo com a Tabela 1 e $a = -0,5 + j0,866$, a distância d do local de ocorrência da falta pode ser obtida através da seguinte equação:

$$d = \frac{\text{imag}\left(\left((a^2 - a)\hat{V}_{R1} + (a - a^2)\hat{V}_{R2}\right)\hat{I}_{BC}^*\right)}{\text{imag}\left(\left(Z_{L1}\left((a^2 - a)\hat{I}_{R1} + (a - a^2)\hat{I}_{R2}\right)\right)\hat{I}_{BC}^*\right)} \quad (6)$$

Sendo, \hat{V}_{R1} e \hat{V}_{R2} , as tensões de sequência positiva e negativa, respectivamente, durante a ocorrência da falta.

É importante ressaltar que as equações referentes as outras fases são obtidas de maneira análoga as equações anteriores.

3 METODOLOGIA

Apresenta-se o método de localização de faltas utilizado no trabalho, desde a etapa de aquisição dos dados dos RDP (Registadores Digitais de Perturbação) até a estimação do ponto da falta, utilizando um algoritmo computacional.

Na Figura 2 apresenta-se as sub-rotinas que foram implementadas no MATLAB[®] para a localização de faltas.

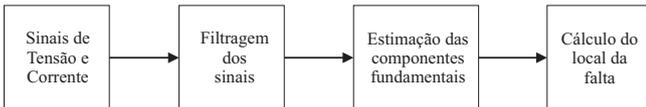


Figura 2. Fluxograma do Método Utilizado.

3.1 Filtragem dos sinais

Para que uma determinada componente de frequência f do sinal analógico possa ser completamente reconstituída durante um processo de amostragem realizado por conversores analógicos digitais (A/D), a frequência de amostragem deve ser maior que $2f$ (Teorema de Nyquist). Como a taxa de amostragem dos relés digitais são fixas, quando ocorrem faltas na linha, gerando dessa forma transitórios eletromagnéticos que possuem componentes de alta frequência, juntamente com os componentes da frequência fundamental, é necessário uma filtragem analógica antes dos relés processarem os dados obtidos dos transformadores de instrumentos (TP's e TC's) para evitar que ocorra uma sobreposição dos espectros de frequência (*aliasing*) (Machado, 2013). Para evitar este problema, são utilizados filtros passa-baixas, também chamados de filtros *anti-aliasing*, cuja frequência de corte deve ser, no máximo, igual a metade da taxa de amostragem (Phadke and Thorp, 2009). Neste trabalho será utilizado o filtro passa-baixa *Butterworth* para a realização deste processo.

3.2 Filtros Butterworth

Existem diversos tipos de filtros analógicos, como *Butterworth*, *Chebyshev* e *Bessel*. Em algoritmos de proteção, os filtros *Butterworth* de terceira ordem são normalmente os mais utilizados (Phadke and Thorp, 2009), devido ao fato de não apresentarem oscilações ao longo da faixa de passagem (Coury et al., 2007).

Neste trabalho, foi utilizado um filtro Butterworth de terceira ordem e a frequência de corte da faixa de rejeição ocorre em aproximadamente em 180 Hz.

3.3 Estimação dos Fasores Fundamentais

A técnica usada neste trabalho utiliza as componentes fundamentais de tensão e corrente para estimar o ponto de ocorrência de uma falta. Esses sinais apresentam além da componente fundamental, uma componente CC e componentes de alta-frequência. Desta forma, utiliza-se a TDFCC para extrair a componente fundamental de corrente e tensão do sinal.

3.3.1 Transformada Discreta de Fourier de Ciclo Completo Um sinal $x(t)$ periódico e contínuo no tempo pode ser representado matematicamente pela seguinte expressão:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{+\infty} a_n \cos(n\omega_0 t) + \sum_{n=1}^{+\infty} b_n \sin(n\omega_0 t) \quad (7)$$

Sendo ω_0 a frequência angular; a_0 , a_n , b_n são os coeficientes da série de Fourier e n é a n -ésima harmônica do sinal $x(t)$. Com intuito de extrair a componente de frequência fundamental de um sinal $x(t)$, devem ser calculados os coeficientes a_n e b_n da série de Fourier, sendo estes, respectivamente, as partes real e imaginária do sinal avaliado.

A partir do equacionamento apresentado em (Phadke and Thorp, 2009), utilizou-se o desenvolvimento da série de Fourier para um período equivalente a um ciclo fundamental de um sinal digitalizado periódico e considerando N amostras por ciclo, as componentes reais e imaginárias desse sinal periódico são:

$$X_{re}(k) = \frac{2}{N} \sum_{m=0}^{N-1} x(k - N + m) \cos\left(\frac{2\pi}{N}m\right), \quad (8)$$

$$X_{im}(k) = -\frac{2}{N} \sum_{m=0}^{N-1} x(k - N + m) \sin\left(\frac{2\pi}{N}m\right), \quad (9)$$

onde $x(k - N + m)$ em (8) e (9) é a m -ésima amostra da k -ésima janela de dados do sinal x janelado.

Após o equacionamento da parte real e imaginária, pode-se obter o módulo $|X|$ e a fase $\angle X$ na frequência fundamental dos fasores em análise a partir das seguintes equações:

$$|X| = \sqrt{X_{re}^2 + X_{im}^2} \quad (10)$$

$$\angle X = \tan^{-1}\left(\frac{X_{im}}{X_{re}}\right) \quad (11)$$

4 O SISTEMA ELÉTRICO ANALISADO

Utiliza-se um sistema de transmissão de energia elétrica, onde foram simulados diferentes condições de faltas na linha para avaliar o algoritmo implementado. Para simular

o sistema elétrico sob a condição faltosa, foi utilizado o programa ATP (*Alternative Transient Program*).

O sistema elétrico em análise apresenta-se na Figura 3, (Oliveira, 2019), o qual possui uma linha de transmissão de 180 km interligando as barras 1 e 2. Na barra 1 está instalado o ponto de medição utilizado para o algoritmo de localização de faltas com dados de apenas um terminal. A distância d é o local de ocorrência da falta na LT. Depois de gerados as simulações de faltas no ATP, foram utilizadas rotinas no MATLAB[®] para a conversão dos arquivos e análise dos dados neste programa.

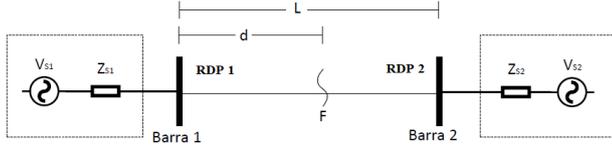


Figura 3. Linha de transmissão de 230 kV modelada no ATP.

Como neste caso serão utilizados apenas os dados de um terminal da linha, somente os sinais do RDP 2 serão utilizados para o cálculo da distância da falta.

Das informações geradas através do ATP, são obtidos os valores de sequência positiva e zero das grandezas referentes a resistências, reatâncias e susceptâncias da linha de transmissão. Esses valores constam na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros da linha de transmissão.

Sequência	R(Ω /km)	X(Ω /km)	ωC (μS /km)
Positiva	0.098	0.510	3.252
Zero	0.532	1.541	2.293

Estes dados serão diretamente utilizados no algoritmo de localização de faltas, pois, é a partir da impedância aparente calculada no instante da falta, que se determina o local da mesma.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O algoritmo completo foi implementado no programa MATLAB[®] e testado usando-se dados obtidos através das simulações do programa ATP. Os resultados serão apresentados através de *boxplots* e gráficos.

O erro percentual relativo (ϵ_{rel}) foi calculado de acordo com:

$$\epsilon_{rel}(\%) = \left| \frac{d_{estimada} - d_{real}}{d_{estimada}} \right| \times 100 \quad (12)$$

Foram realizadas simulações para os mais diversos tipos de falta que podem ocorrer numa linha de transmissão. As faltas que foram analisadas a priori possuíam como característica um ângulo de incidência de 90° e uma resistência de falta de 10Ω , além disso, o sistema de aquisição de dados possuía uma taxa de amostragem de $960Hz$. Após as primeiras simulações com estes parâmetros, foram realizadas algumas alterações para se avaliar o desempenho do método em condições distintas de comportamento de uma falta que, no total, foram analisados 216 casos de

falta. A Tabela 3 ilustra todos os tipos de simulações que foram realizadas para o desenvolvimento deste trabalho. Sendo as variáveis a e r , o ângulo de incidência da falta e a resistência de falta, respectivamente.

Tabela 3. Simulações realizadas para os diversos tipos de falta e condições de falta no sistema elétrico.

Tipos de Falta	Distâncias (km)	Parâmetros	Total
AT, BT, CT, ABT, BCT, ACT, AB, BC, AC e ABC	9, 18, 27... ...153, 162	R = 10Ω a = 90°	180
AT	9, 18, 27... ...153, 162	R = 10Ω R = 2Ω a = 45°	36
Total de simulações			216

5.1 Resultados Obtidos Através do Método de Localização de Faltas em Condições Iniciais

Para representar os erros relativos que foram calculados após as simulações, foi utilizado o *boxplot* mostrado na Figura 4. Este tipo de gráfico permite a representação da distribuição de um conjunto de dados em formato visual por meio de cinco índices: o valor máximo, representado pela cauda superior; o quartil superior, representado pelo limite superior da caixa; a mediana, representada pela linha intermediária da caixa; o quartil inferior, representado pelo limite inferior da caixa; e o valor mínimo, representado pela cauda inferior. O quartil superior, a mediana e o quartil inferior representam, respectivamente, o erro máximo verificado em 75%, 50% e 25% dos casos analisados Lopes (2014).

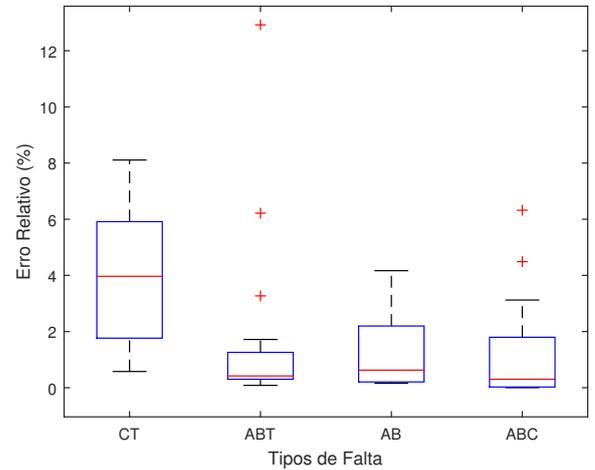


Figura 4. Erros encontrados para alguns tipos de falta através do algoritmo de localização.

Como pode-se observar da Figura 4, os valores dos erros para os diferentes tipos de falta foram baixos, contendo apenas alguns valores discrepantes, que são chamados de *outliers*, que são esses sinais representados fora do *boxplot*. Observa-se que para todos os casos, o máximo valor de erro encontrado para o quartil superior foi de 6%, ou seja, que 75% dos casos avaliados não ultrapassou essa marca de 6% de erro. Para todos os casos, o quartil inferior se aproximou de 1%.

Na Figura 5 apresenta-se o resultado para diversos cenários de falta para a fase A. A partir do mesmo é possível notar o quanto o erro percentual diminui a medida que se aproxima do terminal de medição referente ao RDP 2 (ver Figura 3). É importante notar também que os valores dos erros relativos encontrados para faltas que envolvem a terra são bastante próximos das faltas que não envolvem a terra, exceto para a falta ABT, que ocorreu mais distante do terminal de medição e teve um erro superior a outros tipos de falta que ocorreram no mesmo local.

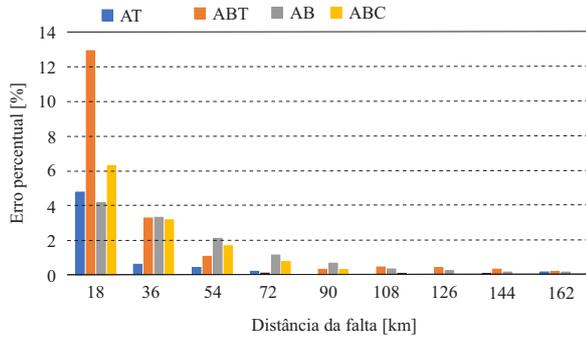


Figura 5. Comparação de diversos cenários de falta.

5.2 Resultados Obtidos para Diferentes Condições de Falta

Nesta seção, serão apresentados os resultados das simulações referentes a fase A do sistema elétrico em estudo com algumas mudanças nos parâmetros de falta como o ângulo de incidência e resistência de falta.

Foram simulados duas situações de falta fase-terra:

- Ângulo de incidência de 45° e resistência de falta de 10Ω (não foi alterada em relação a simulação anterior), variando-se as distâncias do ponto de falta.
- Ângulo de incidência de 45° e resistência de falta de 2Ω

Na Figura 6 apresenta-se a comparação entre os resultados obtidos dos erros relativos referentes a uma falta fase-terra na fase A do sistema elétrico, apenas alterando os parâmetros de ângulo de incidência e resistência de falta da simulação apresentada na seção anterior. Este gráfico foi gerado a partir das simulações realizadas de acordo com as condições propostas.

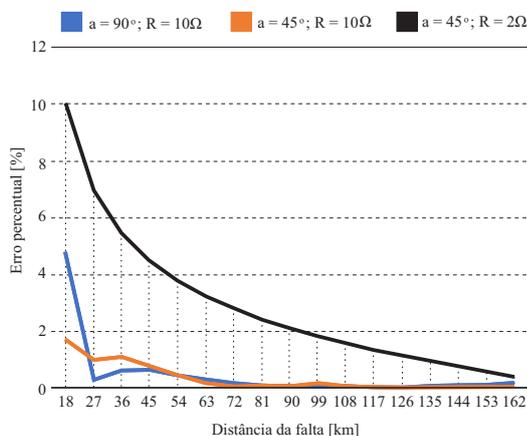


Figura 6. Variação dos parâmetros de uma falta AT.

Observa-se a partir da Figura 6, a discrepância entre os valores dos erros percentuais de localização da falta AT quando foi variado o valor da resistência de falta. A comparação entre as situações onde foram variados apenas os ângulos de incidência, mostram um comportamento muito similar das curvas. É importante observar, mais uma vez, que o comportamento da curva apresenta um decaimento do erro relativo em relação aos terminais da LT, se aproximando de zero no terminal referente ao RDP 2.

O *boxplot* referente aos dois casos simulados estão representados na Figura 7.

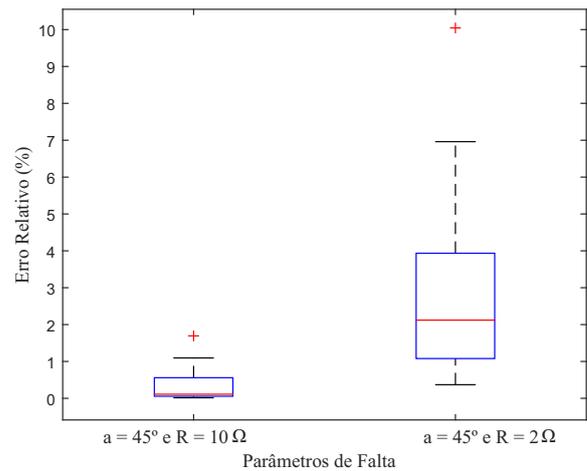


Figura 7. Representação dos erros relativos a simulações variando os parâmetros em uma falta AT.

A partir do *boxplot* da Figura 7 nota-se que não há uma distância muito grande entre os quartis superior e inferior quando é variado apenas o ângulo de incidência de falta. No primeiro caso, a maioria dos valores dos erros foram menores que 1% e apresentou apenas um *outlier* de aproximadamente 2%. Entretanto, quando foi variada a resistência de falta, apresentou um *outlier* de aproximadamente 10%. De acordo com o quartil superior no segundo *boxplot*, 75% dos valores de erros calculados não ultrapassaram o valor de 4%.

5.3 Comparação de Resultados

Com objetivo de analisar a eficiência do algoritmo de localização de faltas que foi apresentado neste trabalho, foi realizada uma comparação do método de Takagi e Lima, Lima (2013).

O algoritmo para localização de faltas utilizado neste método se baseia no trabalho de Bretas (2006). Consiste no cálculo da impedância aparente da LT, entretanto, utiliza-se as componentes simétricas de forma a obter a impedância aparente de sequência positiva. Todo o equacionamento utilizado para realizar as simulações pode ser encontrado em Lima (2013).

Foram realizados as simulações para todos os tipos de falta em uma LT. Assim como no método em estudo neste trabalho, foram simuladas as faltas variando-se a distância a cada 9 km da LT.

Na Figura 8 representa-se uma comparação entre o erro médio percentual encontrado para cada tipo de falta.

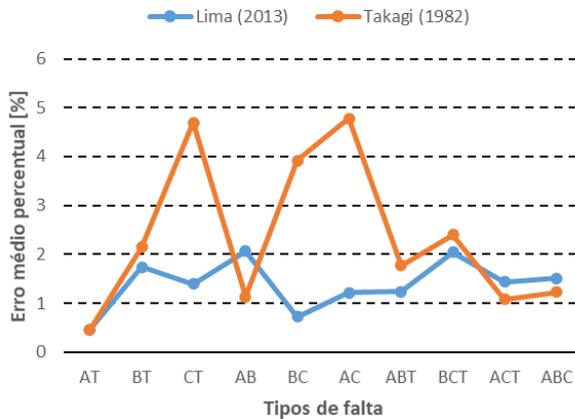


Figura 8. Comparação entre as técnicas.

Nota-se que o método de Lima (2013) apresentou uma maior eficiência na localização de faltas que o apresentado no trabalho em Takagi. Isto ocorre, devido a maior robustez das equações utilizadas, como o cálculo das componentes simétricas, trazendo resultados mais exatos e com menores variações na precisão do local de ocorrência da falta.

6 CONCLUSÃO

Uma comparação entre métodos para localização de faltas em linhas de transmissão baseado na estimação dos fasores da frequência fundamental foi apresentado. Os algoritmos utilizados para a determinação do local da ocorrência da falta foram submetidos a diversos testes para sua validação. Foram variados parâmetros como o tipo de falta, local da falta, ângulo de incidência e resistência de falta. Os algoritmos utilizaram dados de apenas um terminal da LT. Ao final, foram calculados os erros relativos para cada tipo de simulação realizada. Os resultados obtidos através das simulações foram bastante satisfatórios para localização de todos os tipos de faltas avaliados.

Em termos de desempenho as duas técnicas analisadas obtiveram bons resultados para os dados mais próximos ao terminal monitorado, mostrou-se bastante robusta e precisa. Isto ocorre devido a metodologia ter sido aplicada para os dados de apenas um terminal. As técnicas mostraram-se pouco influenciadas pelos parâmetros de falta, resistência e ângulo de incidência. Assim, pode-se indicar que estes parâmetros tem pouca interferência no desempenho dos algoritmos para localização de faltas.

Agradecimentos

Ao CETEC/UFRB, IFRN, DEE/UFBA e CNPq.

Referências

Bretas, Arturo Suman e Salim, R.H. (2006). Fault location in unbalanced dg systems using the positive sequence apparent impedance. In *2006 IEEE/PES Transmission &*

- Distribution Conference and Exposition: Latin America*, 1–6. IEEE.
- Coury, D.V., Oleskovicz, M., and Giovanini, R. (2007). *Proteção digital de sistemas elétricos de potência: dos relés eletromecânicos aos microprocessados inteligentes*. SEL/EESC/USP.
- Coury, D. (1987). Um estimador ótimo aplicado à proteção dos sistemas elétricos de potência. *Dissertação (Mestrado)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo*.
- da Silva, M., Coury, D.V., Oleskovicz, M., and Segatto, E. (2010). Combined solution for fault location in three-terminal lines based on wavelet transforms. *JET generation, transmission & distribution*, 4(1), 94–103.
- Das, S., Santoso, S., Gaikwad, A., and Patel, M. (2014). Impedance-based fault location in transmission networks: theory and application. *IEEE Access*, 2, 537–557.
- Lima, D.A.C. (2013). Localização de faltas em sistemas de transmissão de energia elétrica baseada na impedância aparente: algoritmo utilizando dados de um terminal. *Dissertação (Mestrado)– Universidade Federal do Rio Grande do Sul*.
- Lopes, F.V. (2014). *Localização de Faltas em Tempo Real Baseada na Teoria de Ondas Viajantes Usando Dados Não Sincronizados de Dois Terminais*. Ph.D. thesis, Tese (Doutorado)—Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil.
- Machado, E. (2013). *Compensação Dinâmica dos Transitórios de Baixa Frequência de Transformadores de Potencial Capacitivos para Otimização da Proteção de Linhas de Transmissão*. Ph.D. thesis, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB.
- Oliveira, P.V.B. (2019). Influência do sistema de aquisição de dados sobre algoritmos de proteção de distância e localização de faltas baseados em componentes fundamentais. *Dissertação (Mestrado)– Universidade Federal de Campina Grande*.
- Pereira, A.H.P.S. (2013). Avaliação dos efeitos da compensação série sobre os transitórios eletromagnéticos em linhas de transmissão. *Dissertação (Mestrado)– Universidade Federal de Campina Grande*.
- Phadke, A.G. and Thorp, J.S. (2009). *Computer relaying for power systems*. Wiley Online Library.
- Takagi, T., Yamakoshi, Y., Baba, J., Uemura, K., and Sakaguchi, T. (1982a). A new algorithm of an accurate fault location for ehv/uhv transmission lines: part ii-laplace transform method. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, (3), 564–573.
- Takagi, T., Yamakoshi, Y., Yamaura, M., Kondow, R., and Matsushima, T. (1982b). Development of a new type fault locator using the one-terminal voltage and current data. *IEEE Transactions on Power apparatus and systems*, (8), 2892–2898.