ANÁLISE DA RESPOSTA TRANSITÓRIA DE METODOLOGIAS DE LOCALIZAÇÃO DE FALTA UTILIZANDO DADOS DE DOIS TERMINAIS

Fernanda Cazabonet Ramos [1]

Naiani Pessoa Machado [2]

Bruna Alves Felipe [3]

Bianca Belardony [4]

Eduardo Machado dos Santos [5]

John Jefferson Antunes Saldanha [6]

Resumo:

As linhas de transmissão são componentes vulneráveis nos Sistemas Elétricos de Potência, devido a sua extensão estão sujeitas a diversos fenômenos naturais, como descargas atmosféricas, queimadas, vendavais entre outros. Nos casos de faltas permanentes, o intervalo de tempo para restabelecimento do sistema, após a atuação de um relé de proteção, pode ser longo o bastante, prejudicando o fornecimento de energia, várias vezes devido à dificuldade de checagem e acesso ao local de falta para a realização da manutenção necessária. Por esse motivo, as metodologias para localização de falta assumem um papel imprescindível dentro da operação e proteção dos Sistemas Elétricos de Potência, uma vez que a estimação da posição da falta reduz o tempo de deslocamento das equipes de manutenção, tendo em vista que esse será direcionado ao local estimado. Logo, é essencial o contínuo desenvolvimento de metodologias cada vez mais precisas e robustas para localização de faltas. Estas metodologias podem utilizar dados de um ou dois terminais, sendo os métodos de duas extremidades uma forma de eliminar ou reduzir o efeito de resistência de falta e outros fatores similares que tendem a afetar a precisão dos métodos de localização de falta. Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo expor e comparar o desempenho de métodos localizadores de falta (LFs) baseados no cálculo da impedância a partir de dados de dois terminais, propostos na literatura especializada, frente a diferentes condições de amostragem, tipos de curto-circuito, distância até o ponto da falta e tempos de abertura do disjuntor.

Palavras-chave: Análise transitória. Desempenho. Localizadores de Falta. Sistema Elétrico de Potência.

Modalidade de Participação: Iniciação Científica

ANÁLISE DA RESPOSTA TRANSITÓRIA DE METODOLOGIAS DE LOCALIZAÇÃO DE FALTA UTILIZANDO DADOS DE DOIS TERMINAIS

[1] Aluno de graduação. fernanda.cazabonet@gmail.com. Autor principal

[2] aluno de graduação. naianipessoa@gmail.com. Co-autor

[3] Aluno de graduação. bafelipe4@gmail.com. Co-autor

[4] Aluno de Graduação. belardony7@gmail.com. Co-autor

[5] Docente. eduardosantos@unipampa.edu.br. Orientador

[6] Docente. john.jefferson.as@gmail.com. Co-orientador

ANÁLISE DA RESPOSTA TRANSITÓRIA DE METODOLOGIAS DE LOCALIZAÇÃO DE FALTAS UTILIZANDO DADOS DE DOIS TERMINAIS

1 INTRODUÇÃO

As linhas de transmissão são componentes vulneráveis nos Sistemas Elétricos de Potência. Devido a sua extensão, estão sujeitas a diversos fenômenos naturais, como descargas atmosféricas, queimadas, vendavais entre outros. Nos casos de faltas permanentes, o intervalo de tempo para restabelecimento do sistema, após a atuação de um relé de proteção, pode ser longo o bastante, prejudicando o fornecimento de energia, várias vezes devido à dificuldade de checagem e acesso ao local de falta para a realização da manutenção necessária.

Por esse motivo, as metodologias para localização de falta assumem um papel imprescindível dentro da operação e proteção dos Sistemas Elétricos de Potência, uma vez que a estimação da posição da falta reduz o tempo de deslocamento das equipes de manutenção, tendo em vista que essa equipe será direcionada ao local estimado.

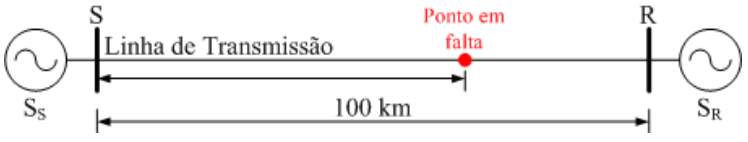
Logo, é essencial o contínuo desenvolvimento de metodologias cada vez mais precisas e robustas para localização de faltas. Essas metodologias podem utilizar dados de um ou dois terminais, sendo os métodos de duas extremidades uma forma de eliminar ou reduzir o efeito de resistência de falta e outros fatores similares que tendem a afetar a precisão dos métodos de localização de falta.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo expor e comparar o desempenho de métodos localizadores de falta (LFs) baseados no cálculo da impedância a partir de dados dois terminais, propostos na literatura especializada, frente a diferentes condições de amostragem, tipos de curto-circuito e distância até o ponto da falta.

2 METODOLOGIA

A Figura 1 ilustra o sistema teste, implementado no software EMTP-ATP®, utilizado para obtenção dos sinais de tensão e corrente usados neste estudo. Tal sistema representa uma linha de transmissão com fontes equivalentes nos dois terminais, cujas impedâncias de sequência zero e positiva são, respectivamente, Z_{S0} = 3,681+j24,515 Ω e Z_{S1} = 0,819+ j7,757 Ω. O valor eficaz de tensão é de 190 kV e o ângulo de S_R está atrasado 30º em relação ao ângulo de S_S. A linha de transmissão tem comprimento total de 100 km, com impedância de sequência zero igual a 0,1841+j1,225 Ω / km e de sequência positiva igual a 0,041+j0,3878 Ω/ km. Os sinais foram medidos nos terminais S e R para diferentes tipos de curto-circuito e variadas distâncias até o ponto de falta.

Figura 1- Sistema Teste



Fonte: Autor.

Ressalta-se que os Localizadores de Faltas analisados foram implementados no software Matlab®, sendo que os três métodos calculam a distância até o ponto de falta desde o instante de sua detecção até a abertura do disjuntor, dado pelo instante de atuação do relé somado ao tempo de extinção do arco-elétrico pelo disjuntor.

Os métodos utilizados foram: Método proposto por KEZUNOVIC et al. (1993); Método divulgado em TIZIOUVARAS et al. (2001); Método apresentado em RADOJEVIĆ et al. (2009). Ressalta-se, que todos os métodos se baseiam no cálculo da impedância vista pelo relé, desde o ponto de instalação do transformador de corrente, até o local da falta, utilizando os sinais de tensão e corrente amostrados em ambos os terminais da linha de transmissão.

Além disso, devido a evolução das metodologias, cada método possui sua alternativa para mitigar os efeitos de sincronização, resistência de falta e outros problemas ao quais os Sistemas Elétricos de Potência são susceptíveis. Logo, o Método proposto por KEZUNOVIC et al., (1993) aqui chamado de M2TS, utiliza os dados das duas extremidades da linha de transmissão, assumindo que estes dados estão sincronizados. A Equação 1 demonstra como este método calcula o ponto faltoso. Já o método proposto por TZIOUVARAS et al. (2001) aqui chamado de M2TTRB, leva em conta que, durante uma perturbação do sistema, os fasores são dessincronizados e, para mitigar os efeitos disso, o método utiliza grandezas de sequência negativa para calcular a distância da falta segundo a Equação 2, onde A, B e C são funções das partes real e imaginária das tensões e correntes de sequência negativa de ambos os terminais. A raiz da equação quadrática exposta em (2), entre 0 e 1, corresponde ao local da falta. Além disso, o método de RADOJEVIĆ et al. (2009), abreviado como M2TR, calcula o local de falta independentemente dos parâmetros da linha, utilizando apenas as componentes de sequência positiva e negativa dos sinais de corrente e tensão de ambos os terminais de acordo com a Equação 3. Ressalta-se que, nas Equações 1, 2 e 3, o subscrito 1 ou 2 se refere ao sinal de sequência positiva ou negativa, respectivamente. Já o subscrito S ou R diz respeito ao terminal onde o respectivo sinal foi medido.

$$\mathrm{L_F} = \frac{\mathrm{V_{2S}} - \mathrm{V_{2R}} + \mathrm{Z_{1L}} \times \mathrm{I_{2R}}}{\mathrm{Z_{1L}} \times (\mathrm{I_{2S}} + \mathrm{I_{2R}})} \tag{1}$$

$$\mathrm{A} \times \mathrm{L_F}^2 + \mathrm{B} \times \mathrm{L_F} + \mathrm{C} = 0 \tag{2}$$

$$L_F = \frac{(V_{1S} - V_{1R}) \times I_{2R} - (V_{2S} - V_{2R}) \times I_{1R}}{(V_{1S} - V_{1R}) \times (V_{2S} - V_{2R}) - (V_{2S} - V_{2R}) \times (V_{1S} - V_{1R})} \tag{3}$$

Os métodos foram avaliados em termos do erros absoluto da estimação do local da falta, bem como em função da distância estimada no instante de extinção do arco, considerando um disjuntor com tempo de abertura de 8 ciclos, para amostragens de 8, 16, 32, 64 e 96 amostras por ciclo.

A metodologia de comparação adotada neste trabalho é proposta em IEEE (2014) e o erro absoluto (e_{abs}) é calculado conforme a Equação 4. Obviamente, o método que possuir menor valor de erro é considerado o mais eficiente para a localização do ponto faltoso. Na Equação 4, LF_e representa o local da falta estimado e LF_r corresponde ao local real.

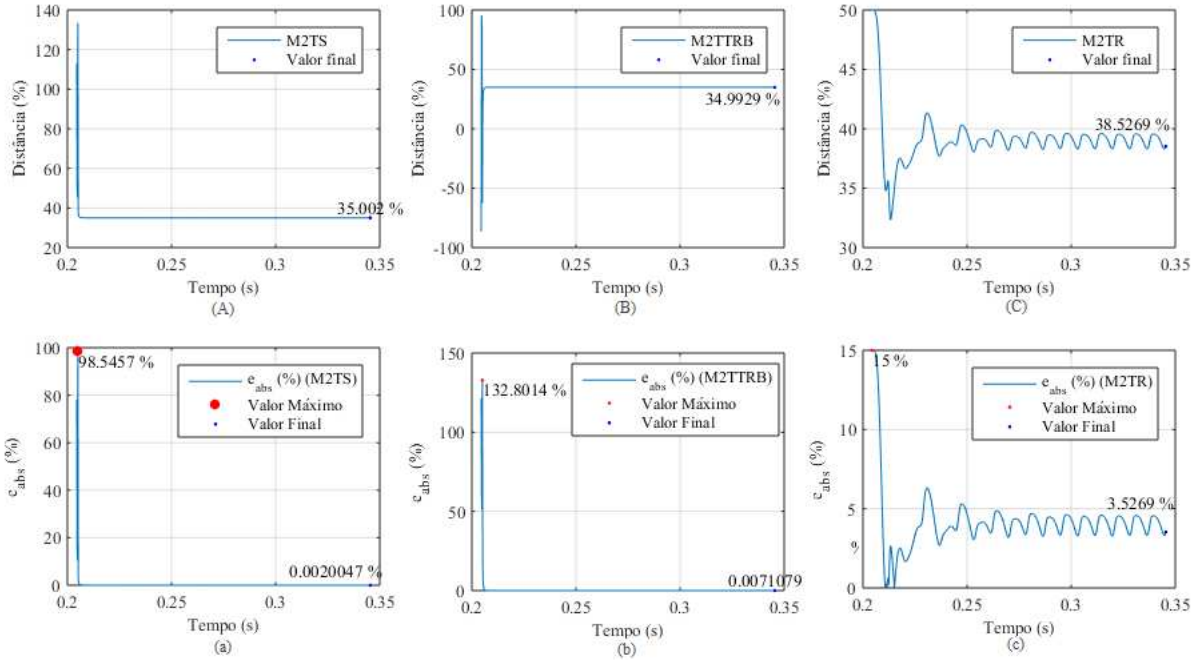
$$e_{abs} = |LF_e - LF_r| \tag{4}$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para as faltas monofásicas e bifásicas, em todos os casos analisados, o M2TS apresentou os menores erros para estimação dos pontos em falta. Nesse contexto, as Figuras 2 e 3 apresentam o resultados da estimação do local da falta para um curto-circuito monofásico e um bifásico em 35% da linha para uma amostragem de 96 amostras por ciclo.

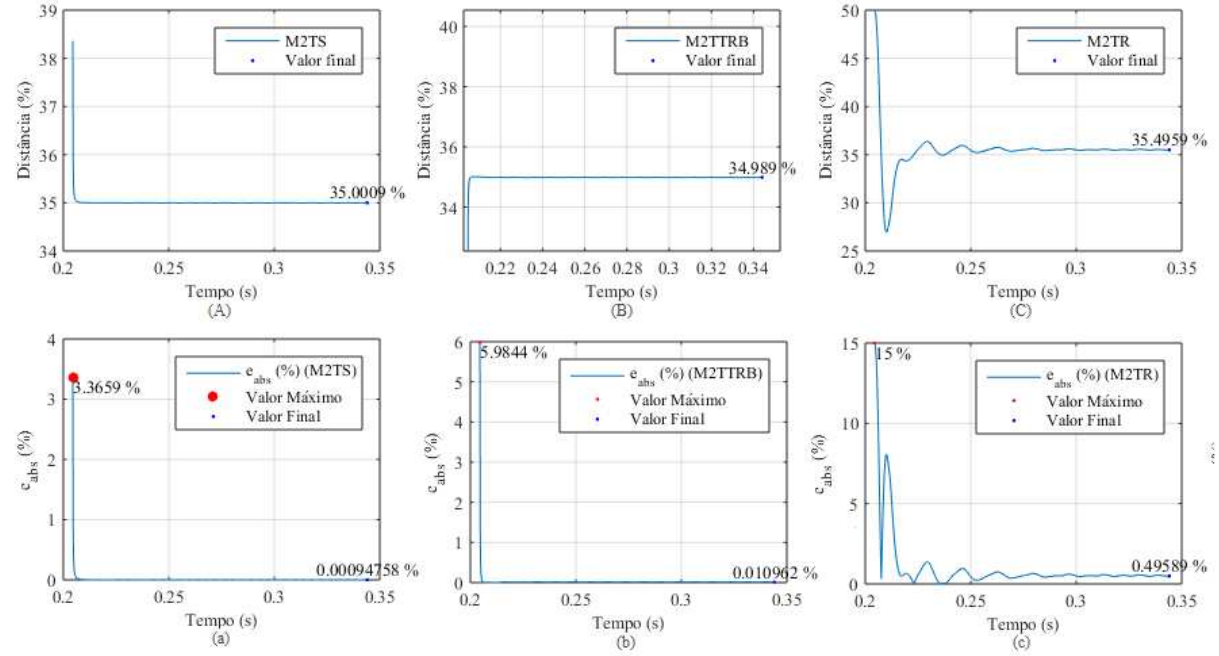
Para faltas trifásicas, isso não se verifica e os menores erros da estimação são obtidos pelo método M2TR. A Figura 4 apresenta os resultados das metodologias para um curto-circuito trifásico também em 35%, na qual pode-se notar o melhor desempenho do M2TR. Cabe ressaltar que, o M2TS apresenta um erro maior em curtos- circuitos trifásicos pois, nesse tipo de falta a sequência negativa é igual zero. Logo, isso aumenta o erro, fazendo com que o resultado da localização de falta não seja tão exato. A mesma justificativa vale para o desempenho das outras duas técnicas.

Figura 2- Resultados da estimação do local da falta para curto monofásico.



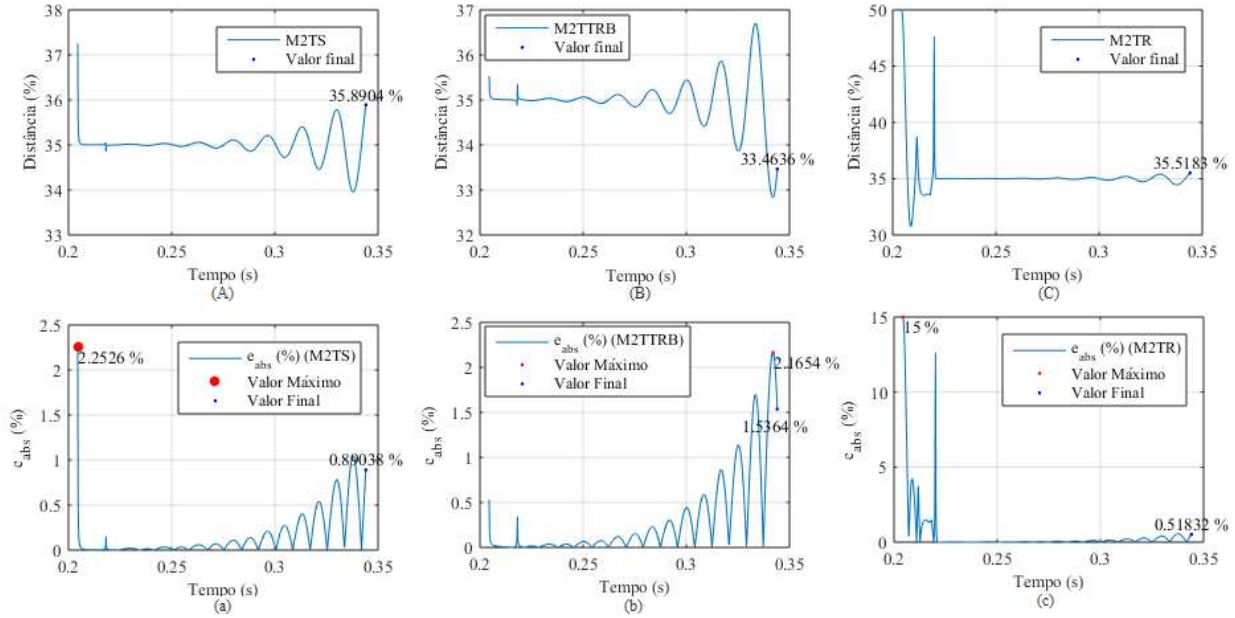
Fonte: Autor.

Figura 3- Resultados da estimação do local da falta para curto bifásico.



Fonte: Autor.

Figura 4- Resultados da estimação do local da falta para curto trifásico.

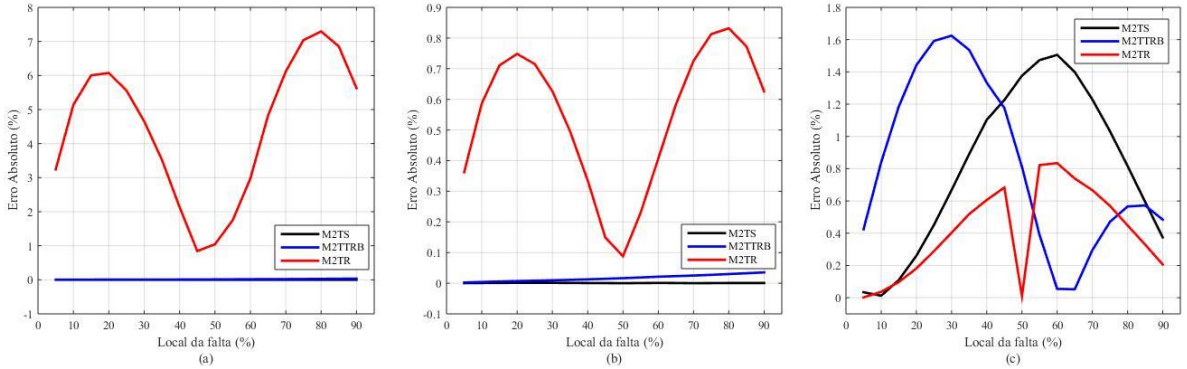


Fonte: Autor.

Além disso, a variação do erro de acordo com a distância do local da falta, para cada método em uma amostragem de 96 amostras/ciclo pode ser vista na Figura 5, onde pode-se observar que, para os curtos monofásico e bifásico, o método M2TR possui praticamente o mesmo comportamento, possuindo seu menor erro próximo à distância de 50% da linha de transmissão como local de falta e apresentando maiores erros para faltas monofásicas. Também, as demais técnicas apresentam comportamento semelhante para os mesmos tipos de faltas. Para os curtos trifásicos, percebe-se que erro cresce com o aumento da distância até o ponto de falta, com o M2TR apresentando menor erro para a distância de 50% da LT.

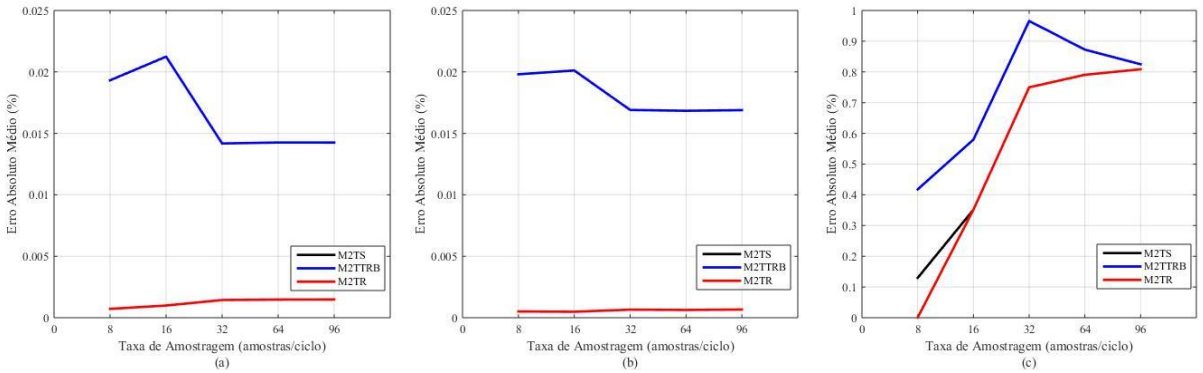
Por fim, o resultado da variação do erro médio, considerando todos os casos analisados, em função da taxa de amostragem é mostrado na Figura 6. Nessa Figura, percebe-se que, para faltas monofásicas e bifásicas, o erro médio aumenta para o M2TS e o M2TR, e diminui para o M2TTRB com o aumento da amostragem. Para faltas trifásicas, o desempenho do método é melhor com a taxa de 8 amostras por ciclo.

Figura 5- Comportamento dos métodos conforme o local da falta na linha de transmissão. (a) Faltas monofásicas. (b) Faltas bifásicas. (c) Faltas Trifásicas.



Fonte: Autor.

Figura 6- Comportamento dos métodos conforme a taxa de amostragem. (a) Faltas monofásicas. (b) Faltas bifásicas. (c) Faltas Trifásicas.



Fonte: Autor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresenta o desempenho de três metodologias de dois terminais de localização de faltas propostas na literatura especializada. Para os casos de curtos-circuitos monofásicos e bifásicos, o M2TS apresentou o melhor desempenho, tendo em vista os baixos erros apresentados. Entretanto, isso não se verifica para faltas trifásicas, onde o método M2TR apresenta o melhor desempenho, tendo o mesmo a vantagem de utilizar sequências negativas e positivas na sua formulação. Cabe ressaltar, que o melhor desempenho de amostragem para curto trifásico foi observado para uma taxa de 8 amostras por ciclo, tendo em vista que todos os métodos tiveram uma boa performance com esta taxa. Por fim, ressalta-se que, para curtos monofásicos e bifásicos, a taxa de amostragem de 96 amostras/ciclo foi a que garantiu aos métodos estudados uma melhor performance.

REFERÊNCIAS

IEEE. IEEE guide for determining fault location on ac transmission and distribution lines, **IEEE** Std C37.114-2014, pp. 1–36, 2014.

KEZUNOVIC ,M.; PERUNICIC, B.; MRKIC, J. An accurate fault location using synchronized sampling at two ends of a transmission line. in **Applications of Synchronized Phasors Conference**, 1993.

RADOJEVI´C, Z.; KIM, C. M; POPOV, M. New approach for fault location on transmission lines not requiring line parameters. **International Conference on Power System Transients Proceedings**, 2009.

TZIOUVARAS, D. A.; ROBERTS, J. B.; BENMOUYAL, G. New multi-ended fault location design for two-or three-terminal lines. **Developments in Power System Protection, 2001, Seventh International Conference on (IEE)**. IET, pp. 395–398, 2001.