

ADAPTAÇÃO DE ALGORITMO PARA A LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO QUE DISPENSA OS PARÂMETROS DA LINHA ¹

Fernando da S. Cardoso, Robert W. Campos ²

Resumo – Este artigo é resultado de um trabalho de pesquisa e experimentação prática que busca minimizar os problemas de precisão na localização de faltas em linhas de transmissão. Algoritmos normalmente utilizados para encontrar a distância da falta que utilizam os parâmetros de linha para os cálculos podem apresentar imprecisão para defeitos de alta impedância, especialmente para falta fase-terra. Desta forma, será apresentado um algoritmo pesquisado que não utiliza parâmetros de linha para os cálculos, bem como testes para verificação de erro perante diversos tipos de faltas simuladas e frente a dados retirados de casos reais. Os dados analisados neste trabalho demonstram a possibilidade de aplicação prática tendo em vista a precisão apresentada em comparação com outros algoritmos tradicionalmente utilizados.

Palavras-chave – Linhas de Transmissão. Parâmetros de linha. Algoritmo.

Abstract - This article is the result of research and practical experimentation that seeks to minimize the problems of accuracy in locating faults in transmission lines. Algorithms normally used to find the fault distance that uses the line parameters for the calculations can be inaccurate for high impedance defects, especially for phase-to-ground fault. In this way, the researched algorithm will be presented that does not use line parameters for the calculations, as well as tests to check for errors in the face of various types of simulated faults and against data taken from real cases. The data provided in this work demonstrates the possibility of practical application given the precision shown in comparison with other algorithms traditionally used.

Keywords - Transmission Lines. Line Parameters. Algorithm.

I. INTRODUÇÃO

As linhas de transmissão estão expostas a diversos fatores que colocam em risco sua operação, como por exemplo, descargas atmosféricas, queimadas sob a linha, falha em isoladores, dentre outros fatores que podem levar a interrupção do sistema.

A rapidez e precisão na localização do defeito são muito importantes para diminuir o tempo de reparo e recomposição do sistema.

Dentre as causas de desligamento em linhas de transmissão se destacam os desligamentos ocorridos pelo contato acidental, ou apenas aproximação de vegetação aos condutores da linha de transmissão. Neste segundo caso, em especial, a alta tensão do sistema pode produzir a formação de arco a distâncias maiores e consequentemente com elevado valor de resistência, afetando o desempenho dos esquemas

de proteção [1].

Outra fonte de erro nos algoritmos utilizados para localização de falta está associada diretamente à utilização dos parâmetros da linha nos cálculos, sobretudo, a resistência de terra. Este parâmetro além de ser estimado, conta com a não homogeneidade do solo ao longo de todo o percurso da linha e que ainda está sujeito a alterações devido às condições climáticas, como chuvas ou longos períodos de estiagem.

Desta forma, a resistência do arco em conjunto com a imprecisão em estimar a resistência de terra traz aos algoritmos tradicionais erros que por vezes acabam dificultando a localização do defeito.

Portanto, este trabalho mostra adaptação e a aplicação prática de um algoritmo onde os parâmetros de linha são dispensados [2].

II. ALGORITMOS PARA LOCALIZAR FALTAS

Esta seção resume os algoritmos tradicionalmente utilizados na análise de faltas [3][4]. Estes algoritmos foram utilizados nos casos analisados neste estudo e serviram de base para comparação com o novo algoritmo proposto. Estes algoritmos são baseados em fasores de frequência fundamental e as grandezas obtidas nos dois terminais não estão sincronizadas. A maioria dos métodos de localização de faltas se enquadra na categoria de métodos baseados em fasores de frequência fundamental [5].

A ideia básica destes métodos de localização de faltas baseados em fasores consiste em tentar determinar a impedância a partir dos fasores de tensão e corrente medida nos terminais da linha, e a partir dessa informação, estimar a localização da falta [6]. Analisando as equações tradicionais, observa-se que a dependência dos parâmetros da linha pode ser considerada um ponto fraco, em especial onde estes parâmetros não podem ser definidos com precisão.

Um algoritmo que dispensa parâmetros de linha fica imune a estes problemas. Um exemplo deste tipo de algoritmo é a localização de defeitos por meio das ondas viajantes, porém para utilizá-lo, implicaria a substituição dos equipamentos do sistema ocasionando um custo elevado.

Na busca por um algoritmo que obtenha melhores resultados na localização de faltas, que pode ser utilizado sem alteração das configurações existentes e que não envolva a aquisição de novos equipamentos, encontrou-se o algoritmo proposto na seção seguinte.

III. ALGORITMO QUE DISPENSA PARÂMETROS DE LINHA

Um modelo proposto por [2] dispensa parâmetros de linha em sua equação.

O algoritmo descrito neste artigo permite eliminar a sequência zero dos cálculos.

Os algoritmos tradicionais utilizam o teorema de Fortescue [7] e decompõem o sistema trifásico desequilibrado em

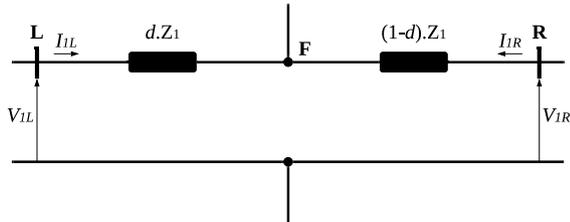
¹ Artigo apresentado como requisito parcial para a conclusão do curso de Pós-Graduação em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL. Ano 2021. Orientador: D.r Vilson Luiz Coelho

² Pós-graduando em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica pela Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL. E-mail: fernandotransmissao@yahoo.com.br, robertcampos@gmail.com

três sistemas equilibrados equivalentes: sequência positiva, negativa e zero.

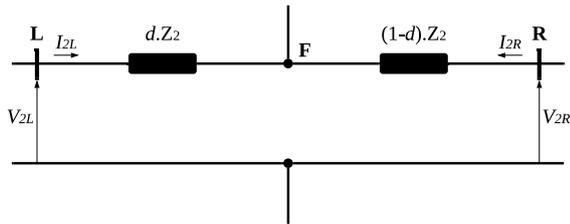
Devido ao ponto da falta ser comum para os dois terminais do sistema e considerando a impedância de sequência positiva igual a impedância negativa, é possível eliminar a componente de sequência zero da equação. A Figura 1 representa o circuito de sequência positiva no momento da falta.

Figura 1. Sistema equivalente de sequência positiva.



A Figura 2 mostra o circuito de sequência negativa no momento da falta.

Figura 2. Sistema equivalente de sequência negativa.



Analisando os circuitos equivalentes de sequência positiva e negativa da figura 1 e 2 obtêm-se as equações (1) e (2)

$$V_{1L} - dZ I_{1L} = V_{1R} - (1-d) * Z I_{1R} \quad (1)$$

$$V_{2R} - dZ I_{2L} = V_{2R} - (1-d) * Z I_{2R} \quad (2)$$

Onde:

V_{1L}, V_{2L} São as tensões de sequência positiva e negativa no terminal local;

V_{1R}, V_{2R} São as tensões de sequência positiva e negativa no terminal remoto;

I_{1L}, I_{2L} São as correntes de sequência positiva e negativa no terminal local;

I_{1R}, I_{2R} São as correntes de sequência positiva e negativa no terminal remoto;

Z representa a impedância de sequência positiva e negativa da linha;

d representa a distância relativa da falta.

Através da equação (1) e (2) podemos derivar a equação (3) e (4) isolando as impedâncias de sequência.

$$Z_{1L} = \frac{V_{1L} - V_{1R}}{d(I_{1L} + I_{1R}) - I_{1R}} \quad (3)$$

$$Z_{2L} = \frac{V_{2L} - V_{2R}}{d(I_{2L} + I_{2R}) - I_{2R}} \quad (4)$$

Considerando uma linha transposta, a impedância de sequência positiva é igual à impedância de sequência negativa e desta forma pode-se igualar as equações (3) e (4) onde se obtém a equação (5):

$$\frac{V_{1L} - V_{1R}}{d(I_{1L} + I_{1R}) - I_{1R}} = \frac{V_{2L} - V_{2R}}{d(I_{2L} + I_{2R}) - I_{2R}} \quad (5)$$

A partir desta equação (5) pode-se isolar a distância relativa da falta para o modelo apresentado, conforme e a equação (6).

$$d = \frac{(V_{1L} - V_{1R})I_{2R} - (V_{2L} - V_{2R})I_{1R}}{(V_{1L} - V_{1R})(I_{2L} + I_{2R}) - (V_{2L} - V_{2R})(I_{1L} + I_{1R})} \quad (6)$$

O algoritmo utilizado nas simulações deste trabalho foi baseado no modelo proposto na equação (6), onde os parâmetros de linha não são utilizados.

Visando a intenção de aplicação prática do algoritmo, foi necessário o teste do mesmo frente a diversos tipos de faltas, conforme apresentado na próxima seção deste trabalho.

IV. ANÁLISE DE RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados obtidos no teste do algoritmo. O algoritmo foi testado primeiramente utilizando faltas simuladas e posteriormente com dados obtidos de casos reais.

A. FALTAS SIMULADAS

Para validação do funcionamento do algoritmo, foram utilizadas faltas simuladas geradas com o software Alternative Transient Program (ATP) [8], e posteriormente os dados foram convertidos para o formato Comtrade [9].

A linha utilizada como base para simulação possui tensão de 230 kV e 114,67 km de extensão.

Realizaram-se diversas simulações de falta, incluindo faltas monofásicas, bifásicas, bifásicas a terra e trifásicas. Também foram analisados defeitos com inclusão de resistência de falta de 100 ohms. Na Tabela I estão os resultados obtidos para as faltas simuladas.

Tabela I. Resultados obtidos para as faltas simuladas. (continua)

| Tipo de defeito | Distância | Resistência de falta | Algoritmo original |
|-----------------|-----------|----------------------|--------------------|
| monofásico | 0% | 0 Ω | 0,68% |
| monofásico | 10% | 0 Ω | 9,97% |
| monofásico | 10% | 100 Ω | 10,85% |
| monofásico | 50% | 0 Ω | 49,99% |
| monofásico | 90% | 0 Ω | 89,28% |
| monofásico | 90% | 100 Ω | 89,35% |

Tabela I. Resultados obtidos para as faltas simuladas. (conclusão)

| Tipo de defeito | Distância | Resistência de falta | Algoritmo original |
|-----------------|-----------|----------------------|--------------------|
| monofásico | 100% | 0 Ω | 99,52% |
| bifásico | 10% | 0 Ω | 9,96% |
| bifásico+ terra | 90% | 0 Ω | 89,51% |
| trifásico | 0% | 0 Ω | 8394% |
| trifásico | 10% | 0 Ω | 34,90% |
| trifásico | 50% | 0 Ω | 54,61% |
| trifásico | 90% | 0 Ω | 84,89% |
| trifásico | 100% | 0 Ω | 77,66% |

De um modo geral o algoritmo funciona bem para defeitos monofásicos e bifásicos, produzindo um erro muito pequeno, mesmo para casos em que a resistência de falta é elevada.

Entretanto observou-se que os resultados obtidos para defeitos trifásicos apresentaram elevado erro.

Como sabemos a base teórica do algoritmo utilizado, o teorema de Fortescue decompõe o sistema trifásico desequilibrado em três sistemas equilibrados equivalentes, e tendo em vista que para defeitos trifásicos o sistema já se encontra equilibrado, não se produz a sequência negativa suficiente para complementar os cálculos.

Para utilização prática foi necessário deduzir um novo algoritmo baseado no modelo proposto por [2], que possibilita a utilização em defeitos trifásicos.

A Tabela II mostra a comparação do algoritmo original e novo algoritmo para defeito trifásico.

Tabela II. Resultados obtidos para as faltas simuladas utilizando algoritmo desenvolvido para defeito trifásico.

| Tipo de defeito | Distância | Resistência de falta | Algoritmo original | Algoritmo trifásico |
|------------------|-----------|----------------------|--------------------|---------------------|
| monofásico | 0% | 0 Ω | 0,68% | 26,29% |
| monofásico | 10% | 0 Ω | 9,97% | 32,70% |
| monofásico | 10% | 100 Ω | 10,85% | 106,01% |
| monofásico | 50% | 0 Ω | 49,99% | 55,34% |
| monofásico | 90% | 0 Ω | 89,28% | 76,62% |
| monofásico | 90% | 100 Ω | 89,35% | 145,16% |
| monofásico | 100% | 0 Ω | 99,52% | 81,48% |
| bifásico | 10% | 0 Ω | 9,96% | 24,83% |
| bifásico + terra | 90% | 0 Ω | 89,51% | 80,62% |
| trifásico | 0% | 0 Ω | 8394% | 0% |
| trifásico | 10% | 0 Ω | 34,90% | 9,95% |
| trifásico | 50% | 0 Ω | 54,61% | 49,98% |
| trifásico | 90% | 0 Ω | 84,89% | 90,03% |
| trifásico | 100% | 0 Ω | 77,66% | 100% |

Os detalhes da formulação do algoritmo serão expostos na seção V deste artigo.

A seguir é apresentada a aplicação do algoritmo para casos reais.

B. CASOS REAIS

Os casos reais apresentados mostram o desempenho do algoritmo em diferentes linhas de transmissão e abrangem diferentes tipos de faltas.

1) CASO 1

Para o primeiro caso utilizou-se os dados registrados pelos oscilógrafos dos dois terminais, em uma falta bifásica na Linha de transmissão Salto Osório – Xanxerê, com tensão de 230 kV e 160,9 km de extensão.

O defeito foi localizado durante inspeção da linha de transmissão, na torre nº 308, localizada a 27,1 km da subestação de Xanxerê.

A falta ocorreu devido ao contato entre *jumpers* em uma estrutura de transposição, ocasionada pelo balanço dos cabos durante uma tempestade.

Nas figuras 3 e 4 se observam os oscilogramas da falta e na Tabela III, os fasores de tensão e corrente no momento da falta.

Figura 3. Formas de onda das correntes obtidas no oscilograma do terminal localizado em Xanxerê.

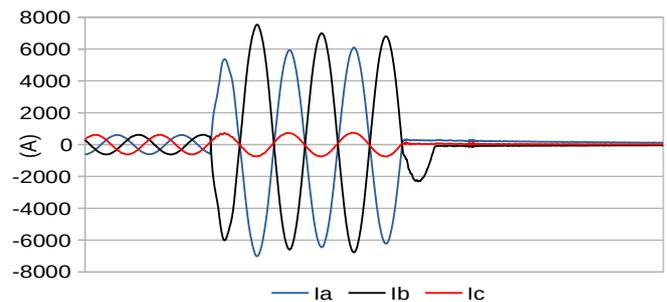


Figura 4. Formas de onda das tensões obtidas no oscilograma do terminal localizado em Xanxerê.

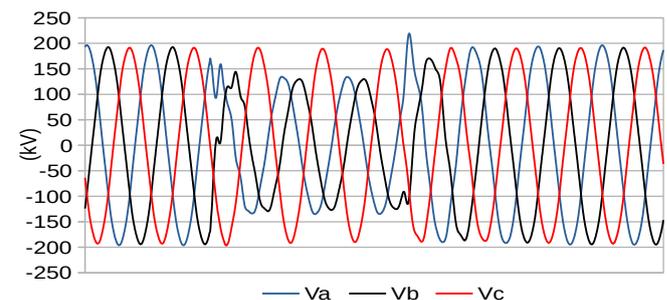


Tabela III. Fasores de tensão e corrente no momento da falta.

| Fasor | Terminal | | | |
|-------|------------|---------|--------------|---------|
| | Xanxerê | | Salto Osório | |
| | Amplitude | Ângulo | Amplitude | Ângulo |
| Ia | 4.365,78 A | 193,6 ° | 1.701,37 A | 216,1 ° |
| Ib | 4.820,22 A | 13,9 ° | 1.206,72 A | 39,8 ° |
| Ic | 526,68 A | 199,5 ° | 536,08 A | 31,4 ° |
| Va | 93,79 kV | 229,3 ° | 124,25 kV | 265,6 ° |
| Vb | 91,37 kV | 142,3 ° | 127,15 kV | 151,2 ° |
| Vc | 133,11 kV | 7,5 ° | 136,67 kV | 26,3 ° |

O algoritmo sem utilizar os parâmetros da linha, fornece como resultado a distância de 28,17 km do terminal Xanxerê, com um erro de 1,07 km do local real da falta, totalizando um erro percentual de 0,66% em relação ao comprimento total da linha de transmissão.

2) CASO 2

No caso 2 tem-se uma falta fase-terra monofásica de alta impedância, causada por aproximação ou contato de vegetação com o condutor da fase “C” na linha Blumenau-Joinville de 230 kV, com 67,52 km de extensão. O defeito foi identificado durante inspeção da linha de transmissão, na torre com número operacional 77, localizada a 33,3 km da subestação de Blumenau.

Nas Figuras 5 e 6 se observam os oscilogramas da falta e na Tabela IV, os fasores de tensão e corrente no momento da falta.

Figura 5. Formas de onda das correntes obtidas no oscilograma do terminal localizado em Blumenau.

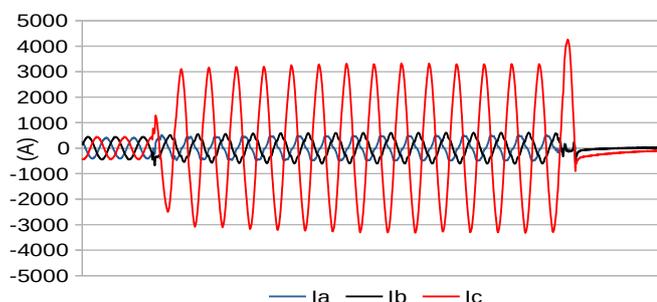


Figura 6. Formas de onda das tensões obtidas no oscilograma do terminal localizado em Blumenau.

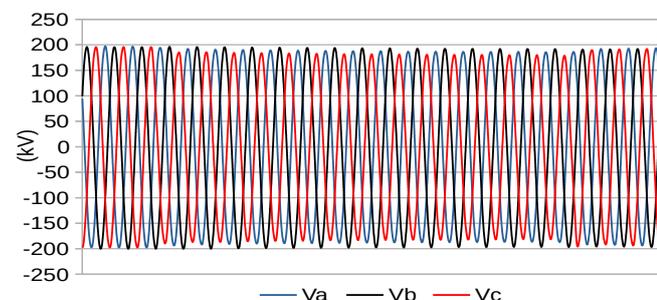


Tabela IV. Fasores de tensão e corrente no momento da falta.

| Fasor | Terminal | | | |
|-------|------------|----------|------------|----------|
| | Blumenau | | Joinville | |
| | Amplitude | Ângulo | Amplitude | Ângulo |
| Ia | 331,62 A | 43,78 ° | 304,79 A | 209,35 ° |
| Ib | 372,66 A | -71,08 ° | 376,55 A | 96,17 ° |
| Ic | 2.257,79 A | 148,67 ° | 1.645,84 A | 140,68 ° |
| Va | 136,20 kV | 63,04 ° | 122,32 kV | 51,38 ° |
| Vb | 136,21 kV | -59,35 ° | 131,49 kV | -74,88 ° |
| Vc | 129,07 kV | 175,87 ° | 122,16 kV | 163,33 ° |

O algoritmo sem utilizar os parâmetros da linha, fornece como resultado a distância de 34,19 km do terminal Blumenau, com um erro de 0,89 km do local real da falta, totalizando um erro percentual de 1,3% em relação ao comprimento total da linha de transmissão.

zando um erro percentual de 1,3% em relação ao comprimento total da linha de transmissão.

3) CASO 3

No caso 3 tem-se um curto-circuito monofásico causado pela queda do condutor no solo devido o rompimento da cadeia de isoladores na linha de transmissão Blumenau-Joinville circuito 1, de 230 kV, com 67,52 km de extensão. O defeito foi identificado durante inspeção da linha de transmissão, na torre com número operacional 147, localizada a 63,7 km da subestação de Blumenau.

Nas Figuras 7 e 8 se observam os oscilogramas da falta e na Tabela V, os fasores de tensão e corrente no momento da falta.

Figura 7. Formas de onda das correntes obtidas no oscilograma do terminal localizado em Blumenau.

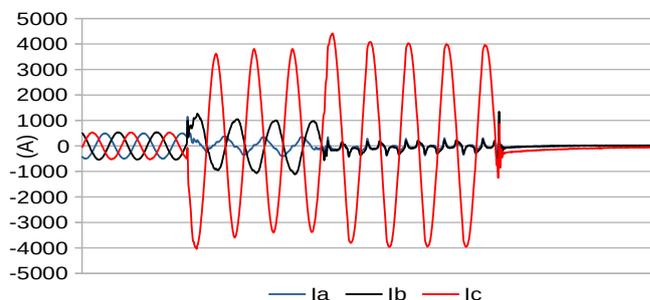


Figura 8. Formas de onda das tensões obtidas no oscilograma do terminal localizado em Blumenau.

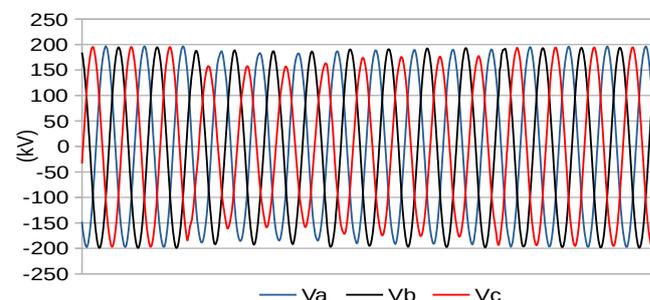


Tabela V. Fasores de tensão e corrente no momento da falta.

| Fasor | Terminal | | | |
|-------|------------|---------|------------|---------|
| | Blumenau | | Joinville | |
| | Amplitude | Ângulo | Amplitude | Ângulo |
| Ia | 156,33 A | 104,8 ° | 164,67 A | 263,5 ° |
| Ib | 737,74 A | 4,5 ° | 713,08 A | 178,1 ° |
| Ic | 2.563,60 A | 189,3 ° | 9.653,88 A | 174,6 ° |
| Va | 134,72 kV | 141,3 ° | 133,04 kV | 145,9 ° |
| Vb | 130,35 kV | 13,3 ° | 107,14 kV | 0,5 ° |
| Vc | 110,35 kV | 254,4 ° | 65,34 kV | 230,0 ° |

O algoritmo sem utilizar os parâmetros da linha, fornece como resultado a distância de 62,99 km do terminal Blumenau, com um erro de 0,71 km do local real da falta, totalizando um erro percentual de 1,05% em relação ao comprimento total da linha de transmissão.

4) CASO 4

No caso 4 temos um curto-circuito monofásico, causado pelo contato entre condutor e estrutura metálica, na linha Jorge Lacerda B – Siderópolis circuito 2, de 230 kV, com 47,33 km de extensão. O defeito foi identificado durante inspeção da linha de transmissão, na torre com número operacional 25, localizada a 10,3 km da subestação de Jorge Lacerda B.

Nas Figuras 9 e 10 se observam os oscilogramas da falta e na Tabela VI, os fasores de tensão e corrente no momento da falta.

Figura 9. Formas de onda das correntes obtidas no oscilograma do terminal localizado na subestação Jorge Lacerda B.

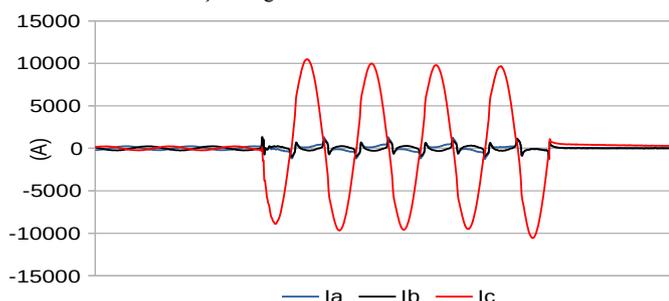


Figura 10. Formas de onda das tensões obtidas no oscilograma do terminal localizado na subestação Jorge Lacerda B.

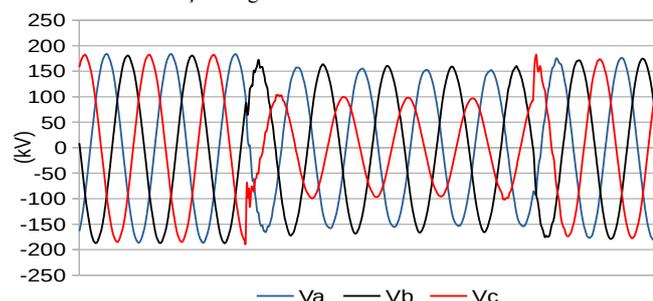


Tabela VI. Fasores de tensão e corrente no momento da falta.

| Fasor | Terminal | | | |
|-------|-----------------|----------|-------------|----------|
| | Jorge Lacerda B | | Siderópolis | |
| | Amplitude | Ângulo | Amplitude | Ângulo |
| Ia | 314,17 A | 195,67 ° | 155,07 A | 8,93 ° |
| Ib | 133,44 A | 113,09 ° | 234,91 A | 245,15 ° |
| Ic | 7.220,04 A | 253,01 ° | 1.992,76 A | 259,41 ° |
| Va | 113,60 kV | 218,84 ° | 123,90 kV | 222,15 ° |
| Vb | 117,72 kV | 73,80 ° | 123,27 kV | 85,93 ° |
| Vc | 70,89 kV | -39,11 ° | 61,54 kV | -36,99 ° |

O algoritmo sem utilizar os parâmetros da linha, fornece como resultado a distância de 9,92 km do terminal Jorge Lacerda B, com um erro de 0,38 km do local real da falta, totalizando um erro percentual de 0,8% em relação ao comprimento total da linha de transmissão.

5) RESUMO DOS CASOS

Na Tabela VII se apresenta o resumo dos resultados, onde é possível comparar a distância fornecida pelos diferentes

algoritmos, com a distância real do defeito, para cada caso.

Tabela VII. Distâncias de falta para cada defeito encontrado.

| Caso | Tipo de defeito | Distância (km) | | | |
|------|-----------------|----------------|-----------------------|------------------|------------------|
| | | Real | Algoritmo Apresentado | Algoritmo SINAPE | Algoritmo Takagi |
| 1 | bifásico | 27,1 | 28,17 | 26,3 | 24,8 |
| 2 | monofásico | 33,3 | 34,19 | 34,5 | 35,2 |
| 3 | monofásico | 63,7 | 62,99 | 63,03 | 55,07 |
| 4 | monofásico | 10,3 | 9,92 | 13,95 | 13,07 |

A Tabela VIII mostra o comparativo de erro percentual dos algoritmos para cada caso, onde se destaca o erro médio de cada um deles.

Tabela VIII. Erro percentual dos algoritmos para cada caso.

| Caso | Tipo de defeito | Algoritmo Apresentado | Algoritmo SINAPE | Algoritmo Takagi |
|-------------------|-----------------|-----------------------|------------------|------------------|
| 1 | bifásico | 0,66% | 0,50% | 1,43% |
| 2 | monofásico | 1,32% | 1,78% | 2,81% |
| 3 | monofásico | 1,05% | 1,00% | 12,78% |
| 4 | monofásico | 0,80% | 7,71% | 5,85% |
| Erro médio | | 0,96% | 2,75% | 5,72% |

V. FORMULAÇÃO E CORREÇÃO DO ALGORITMO PARA DEFEITOS TRIFÁSICOS

Para desenvolver um algoritmo para a utilização em defeitos trifásicos foi utilizado como base a equação (1). Esta equação descreve o modelo de sequência positiva.

Como os circuitos equivalentes de sequência negativa e zero para defeitos trifásicos são passivos, é possível utilizar apenas o modelo de sequência positiva [10].

$$V_{1L} - dZ I_{1L} = V_{1R} - (1-d) * Z I_{1R} \quad (1)$$

Considerando que no defeito trifásico, no ponto da falta, a soma dos fasores de tensão e de corrente pode ser considerada zero [10], podemos dividir a equação em duas partes igualando cada lado a zero, como mostra a equação (7) e (8).

$$V_{1L} - dZ I_{1L} = 0 \quad (7)$$

$$V_{1R} - (1-d) * Z I_{1R} = 0 \quad (8)$$

Manipulando algebricamente (7) e (8) chegamos à equação (9):

$$d = \frac{(V_{1R}/I_{1L})}{(V_{1R}/I_{1L}) + (V_{1L}/I_{1R})} \quad (9)$$

A equação (9) é a base do algoritmo desenvolvido para defeitos trifásicos e foi testada em faltas simuladas mostradas na tabela II.

Comparando-se o valor referência fornecido para a simu-

ção e o resultado obtido pelo algoritmo modificado para defeito trifásico, foi observado um erro médio de 0,02 %.

VI. CONCLUSÕES

A busca por métodos de localização de falta mais eficientes em linha de transmissão é um grande desafio, que é cada vez mais estimulado tendo em vista a dependência da sociedade em relação à energia elétrica. Associado a este fator há também a busca por redução no pagamento de multas impostas às concessionárias, devido às faltas no sistema de transmissão.

As motivações são muitas, porém os desafios são grandes. Um grande desafio mostrado neste trabalho foi propor um método que aprimore a precisão de localização de faltas aproveitando os mesmos equipamentos utilizados no sistema, portanto o trabalho foi focado na pesquisa e aprimoramento de software, evitando custos com a instalação de novos equipamentos. Pode-se ver neste trabalho a aplicação prática do algoritmo que dispensa parâmetros de linha, seus resultados em faltas simuladas e a comparação com outros algoritmos tradicionais para casos reais, onde se podem analisar os resultados.

Observa-se que o algoritmo apresenta desempenho satisfatório para defeitos com características diferentes, tendo em vista a precisão alcançada e ainda o menor erro para falta de alta impedância, como exibido no caso 2, quando comparado com algoritmos tradicionalmente utilizados. A adaptação do algoritmo para defeitos trifásicos também apresentou ótimos resultados na análise de faltas simuladas.

Apesar dos resultados alcançados, acreditamos que o algoritmo precisa ser testado em mais casos reais, em faltas com características diferentes das tratadas neste trabalho, para sua validação final e aplicação prática.

VII. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao nosso orientador D.r Vilson Luiz Coelho pelo incentivo e pela dedicação do seu escasso tempo ao nosso projeto de pesquisa. Também queremos agradecer à Universidade Unisul e a todos os professores do nosso curso de Pós-graduação em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica pela elevada qualidade do ensino oferecido.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MAEZONO, P. K. *et al.* Very High-Resistance Fault on a 525 kV Transmission Line – Case Study. *In: ANNUAL CONFERENCE FOR PROTECTIVE RELAY ENGINEERS COLLEGE STATION*, 62., 2009, Texas. **Anais eletrônicos [...]**. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4982523>. Acesso em: 19 fev. 2021.
- [2] LIAO, Yuan; ELANGOVA, S. Unsynchronized two-terminal transmission line fault location without using line parameters. **IEEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution**, v. 153, n. 6, p. 639–643, nov. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1049/ip-gtd:20060026>. Disponível em: https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ip-gtd_20060026. Acesso em: 19 fev. 2021.
- [3] TAKAGI T. *et al.* Development of a New Type Fault Locator Using the One-Terminal Voltage and Current Data. **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, v. PAS-101, n. 8, p. 2892-2898, ago. 1982. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAS.1982.317615>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4111679>. Acesso em: 19 fev. 2021.

- [4] Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel. **SINAPE – Sistema Integrado de Apoio à Análise de Perturbações**. Disponível em: http://www.cepel.br/pt_br/produtos/sinape-sistema-integrado-de-apoio-a-analise-de-perturbacoes.htm. Acesso em: 19 fev. 2021.
- [5] TANG, Y. *et al.* Fault indicators in transmission and distribution systems. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRIC UTILITY DEREGULATION AND RESTRUCTURING AND POWER TECHNOLOGIES*, 2000, London. **Anais eletrônicos [...]**. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/855670>. Acesso em: 19 fev. 2021.
- [6] DAUCASTAGNÊ, André Luis. **Método iterativo para localização de faltas em linhas de transmissão a partir de fasores não sincronizados**. 2007. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2007. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/89934>. Acesso em: 19 fev. 2021.
- [7] FORTECUE, Charles. L. Method of Symmetrical Co-Ordinates Applied to the Solution of Polyphase Networks. *AIEE Transactions*, v. 37, parte II, p. 1027-1140. *In: ANNUAL CONVENTION OF THE AIEE (AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS)*, 1918, Atlantic City. **Anais eletrônicos [...]**. Disponível em: <https://www.energyscienceforum.com/files/fortescue/methodofsymmetrical.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2021.
- [8] European EMTP-ATP Users Group e.V. **Alternative Transient Program (ATP)**. Disponível em: <https://www.eeug.org/index.php/about-eeug/about-atp>. Acesso em: 19 fev. 2021.
- [9] IEEE/IEC C37.111-2013 - IEEE/IEC. **International Standard - Measuring relays and protection equipment – Part 24: Common format for transient data exchange (COMTRADE) for power systems**. Disponível em: https://standards.ieee.org/standard/C37_111-2013.html. Acesso em: 19 fev. 2021.
- [10] KINDERMANN, Geraldo. *Curto-Circuito, UFSC – EEL – LABPLAN*, 6. ed. Florianópolis: Edição do autor, 2010, p. 167-168.