



Universidade Federal Rural de Pernambuco
Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho
Bacharelado em Engenharia Elétrica

KEYLLA RAYANNE ALBUQUERQUE GUERRA

Impactos da Inserção de Geração de Geração Distribuída no
Desempenho de Funções de Proteção de Sistemas Elétricos

Cabo de Santo Agostinho
Julho de 2019

KEYLLA RAYANNE ALBUQUERQUE GUERRA

Impactos da Inserção de Geração de Geração Distribuída no
Desempenho de Funções de Proteção de Sistemas Elétricos

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Raphael Leite de Andrade Reis.

Cabo de Santo Agostinho

Julho de 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Sistema Integrado de Bibliotecas

Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G934i

Guerra, Keylla

Impactos da Inserção de Geração de Geração Distribuída no Desempenho de Funções de Proteção de Sistemas Elétricos / Keylla Guerra. - 2019.
50 f. : il.

Orientador: Raphael Leite de
Andrade Reis. Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Elétrica, Cabo de Santo Agostinho, 2019.

1. Geração Distribuída. 2. Relé de Distância. 3. Sistema de Proteção. I. Reis, Raphael Leite
de Andrade, orient. II. Título

CDD 621.3

KEYLLA RAYANNE ALBUQUERQUE GUERRA

Impactos da Inserção de Geração de Geração Distribuída no
Desempenho de Funções de Proteção de Sistemas Elétricos

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Data de aprovação: ____/____/____

Banca examinadora

Prof. Ms.Raphael Leite de Andrade Reis, UACSA, UFRPE
Orientador

Prof. Dr. Marcel Ayres de Araújo, UACSA, UFRPE
Examinador

Prof. Dr. Élide Fernanda Xavier Júlio, UACSA, UFRPE
Examinador

Prof. Dr. Ana Vitória de Almeida Macedo, UACSA, UFRPE
Examinador

DEDICATÓRIA

Dedico a todos que me ajudaram direta e indiretamente durante todos esses anos de graduação, respeitando a ausência em períodos importantes, pois sabiam que valeria a pena todo o esforço ao fim dessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades encontradas durante o curso.

A vocês, meus pais, que por amor dedicaram da vida os melhores momentos, para tornarem possível essa realização. Agradeço, principalmente, a minha mãe, Liliane Guerra, que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço, como foi importante suas palavras de estímulo... A sua força me impulsionou, fazendo acreditar que a realização do sonho era possível. Obrigada, Victor Guerra, irmão querido, por ser tão companheiro.

Deixo aqui um agradecimento especial ao meu avô Hamilton, que foi um dos poucos a acreditar naquela menina de 15 anos com o sonho de se tornar Engenheira.

A todos os amigos, especialmente Priscila Marques, meu muito obrigada. Você foi fundamental para minha formação, por isso merece o meu sincero agradecimento.

Agradeço a todos os professores, que foram tão importantes no meu desenvolvimento acadêmico, especialmente ao meu orientador Raphael Leite. Obrigada, por exigir de mim muito mais do que eu imaginava ser capaz de fazer. Manifesto aqui minha gratidão por compartilhar sua sabedoria, o seu tempo e sua experiência, sendo tão atencioso e paciente.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o êxito deste trabalho, o meu muito obrigada.

“Há uma força motriz mais poderosa
que o vapor, a eletricidade e a energia
atômica: A Vontade”

Albert Einstein

RESUMO

A partir da necessidade da expansão da geração de energia elétrica devido ao crescimento populacional e industrial, a conexão da Geração Distribuída (GD) com o sistema elétrico tem aumentado devido as suas diversas vantagens, como: minimização de perdas por transmissão a longas distâncias, localização próxima dos centros consumidores, minimização de impactos ambientais e maior confiabilidade. Apesar de ser uma tendência, desafios para o sistema de proteção são impostos, uma vez que contribuições para as correntes de curtos-circuitos podem se tornar mais evidentes com a conexão da GD. A fim de investigar o impacto da GD em funções de proteção de sistemas elétricos, simulações de faltas foram realizadas no *software Alternative Transients Program (ATP)*, considerando um sistema elétrico de 230 kV reportado na literatura. Curtos-circuitos foram simulados ao longo do sistema avaliado, bem como próximos ao limite das zonas de alcance da proteção de distância, levando-se em conta diferentes tipos de distúrbios. A partir dos resultados obtidos, a inserção da GD pode afetar os sinais de tensão e corrente medidos pelo dispositivo de proteção, assim como funções de proteção, levando-os a atuar de maneira indevida caso revisões de seus ajustes não sejam realizadas.

Palavras-Chave: Geração distribuída; Relé de distância; Sistema de proteção.

ABSTRACT

From the need to expand the electric generation due to population and industrial growth, the connection of Distributed Generation (DG) with the electrical system has increased due to its several advantages, such as: minimization of transmission losses over long distances, location near consumer centers, minimizing environmental impacts and greater reliability. Despite being a trend, challenges to the protection system are imposed as contributions to short circuit currents may become more evident with the GD connection. In order to investigate the impact of GD on electrical power system protection functions, fault simulations were performed in the Alternative Transients Program (ATP) software, considering a 230 kV network reported in the literature. Short circuits were simulated along the evaluated power system as well as near the distance protection zone reaching, taking into account different types of disturbances. From the obtained results, the insertion of GD can affect the voltage and current signals measured by the protective device, as well as protection functions, leading them to misoperate if revisions on their adjustment settings are not performed.

Keywords: Distributed generatio;. Distance relay; Protection system.

Lista de abreviaturas e siglas

ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica.
ATP	- <i>Alternative Transients Program</i> .
EUA	- Estados Unidos da América.
GD	- Geração Distribuída.
INEE	- Instituto Nacional de Eficiência Energética.
IEEE	- <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> .
ONS	- Operador Nacional do Sistema Elétrico.
OPEP	- Organização dos Países Exportadores de Petróleo.
SEP	- Sistema Elétrico de Potência.
SIN	- Sistema Interligado Nacional.
TC	- Transformador de Corrente.
TPC	- Transformador de Potencial Capacitivo.
AT	- Falta Envolvendo Fase A e Terra.
BT	- Falta Envolvendo Fase B e Terra.
CT	- Falta Envolvendo Fase C e Terra.
AB	- Falta Envolvendo as Fases A e B.
BC	- Falta Envolvendo as Fases B e C.
CA	- Falta Envolvendo as Fases C e A.
ABT	- Falta Envolvendo as Fases A e B, e Terra.
BCT	- Falta Envolvendo as Fases B e C, e Terra.
CAT	- Falta Envolvendo as Fases C e A, e Terra.
ABC	- Falta Envolvendo as Fases A, B e C.

Lista de Ilustrações

FIGURA 1: SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA CONVENCIONAL.....	16
FIGURA 2: SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	17
FIGURA 3: A) SISTEMA ELÉTRICO CONVENCIONAL; B) REDE ELÉTRICA INTELIGENTE.....	18
FIGURA 4: DIAGRAMA R-X.....	20
FIGURA 5: CARACTERÍSTICA DO RELÉ DE DISTÂNCIA MHO.	20
FIGURA 6: SINAL DE TENSÃO DA FASE A E SEU RESPECTIVO FASOR.	23
FIGURA 7: SINAL DE CORRENTE DA FASE A E SEU RESPECTIVO FASOR.....	24
FIGURA 8: DIAGRAMA DO CIRCUITO AFETADO POR UMA FALTA.....	25
FIGURA 9: MODELO DO SISTEMA ELÉTRICO SIMPLIFICADO UTILIZADO NA SIMULAÇÃO DAS FALTAS.	28
FIGURA 10: SISTEMA IMPLEMENTADO ATPDRAW.	29
FIGURA 11: ETAPAS DE METODOLOGIA.....	29
FIGURA 12: TENSÃO ANTES E DEPOIS DA FILTRAGEM.	30
FIGURA 13: MODELO DO SISTEMA ELÉTRICO SIMPLIFICADO COM A PRESENÇA DE GD UTILIZADO NA SIMULAÇÃO DAS FALTAS.	31
FIGURA 14: SISTEMA IMPLEMENTADO NO ATPDRAW COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.	31
FIGURA 15: MODELO DE FALTA UTILIZADO NAS SIMULAÇÕES	32
FIGURA 16: FORMAS DE ONDA DAS TENSÕES DAS FASES A, B E C.....	33
FIGURA 17: FALTA MONOFÁSICA AT: A) IMPEDÂNCIA MEDIDA; B) ZOOM.	33
FIGURA 18: FALTA BIFÁSICA AC: A) IMPEDÂNCIA MEDIDA; B) ZOOM.	34
FIGURA 19: CORRENTES MEDIDAS PELO RELÉ PARA OS CASOS SEM GD.	39

Lista de Tabelas

TABELA 1: UNIDADES DO RELÉ QUE DEVEM OPERAR PARA CADA TIPO DE FALHA.....	21
TABELA 2 :DADOS DAS FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	31
TABELA 3: DADOS DA LINHA DE TRANSMISSÃO	31
TABELA 4: ALCANCE DA PROTEÇÃO NOS SISTEMAS SIMULADOS A 20%, 40% E 50%.....	37
TABELA 5: ALCANCE DA PROTEÇÃO NOS SISTEMAS SIMULADOS A 60% E 80%	38

Lista de Equações

EQUAÇÃO 1 :	219
EQUAÇÃO 1.2 :	21
EQUAÇÃO 2.1 :	212
EQUAÇÃO 2.2 :	212
EQUAÇÃO 2.3 :	21
EQUAÇÃO 2.4 :	21
EQUAÇÃO 2.5 :	212
EQUAÇÃO 2.6 :	21
EQUAÇÃO 2.7 :	21
EQUAÇÃO 2.8 :	21
EQUAÇÃO 2.9A :	213
EQUAÇÃO 2.9B :	21
EQUAÇÃO 2.10 :	213
EQUAÇÃO 2.11 :	213
EQUAÇÃO 2.12 :	215
EQUAÇÃO 2.13 :	215
EQUAÇÃO 2.14 :	21
EQUAÇÃO 2.15 :	21
EQUAÇÃO 5.1 :	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	13
1.2	Objetivos.....	14
1.3	Organização do Trabalho	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1	Geração Distribuída	16
2.2	Proteção de Distância.....	19
2.3	Estimação Fasorial	22
2.4	Localização do Curto-Circuito	24
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
4	ANÁLISES E RESULTADOS.....	28
5	CONCLUSÕES.....	41
	REFERÊNCIAS	12

1 INTRODUÇÃO

O sistema elétrico de potência é tipicamente formado pelos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. O objetivo deste sistema é gerar energia elétrica em quantidades suficientes e transmiti-las aos consumidores, com o menor custo ambiental e econômico possível (Antonova, 2012). Dessa maneira, a Geração Distribuída (GD), se operada e planejada da forma correta, também se apresenta como uma alternativa benéfica para a flexibilização do sistema, podendo reduzir perdas e diminuir a necessidade de ampliação da rede (Nunes, 2017) (Arritt, 2008).

Tradicionalmente, o sistema elétrico brasileiro consistia em um sistema radial, sendo o fluxo de potência gerado por grandes hidrelétricas, ou termelétricas, e transmitido até os centros consumidores (Ribeiro, 2017). Devido ao grande crescimento populacional e industrial, o consumo de energia elétrica tem aumentado, requisitando, dessa forma, a construção de novas fontes de energia na rede para atendimento da demanda crescente (Rahman, 2017).

Atualmente, a matriz energética brasileira é predominantemente hídrica, representando, em 2018, aproximadamente 71,81% da matriz energética brasileira. As usinas termelétricas e eólicas contribuíram, no mesmo período, com 16,66% e 8,32%, respectivamente (ONS, 2019). Essa característica se deve tanto a topografia favorável quanto a construção de grandes usinas, muito embora o potencial para construção de novas usinas hidrelétricas pode vir a saturar nos próximos anos, além dos impactos ambientais que tais construções podem vir a provocar (Leitão *et al.*, 2019). Visando atender a demanda crescente e a redução de custos com grandes construções, a geração distribuída surge como uma alternativa já implantada nos últimos anos, sobretudo com o uso de fontes eólica e solar (Borém, 2016).

A GD pode ser entendida como uma fonte de energia elétrica situada próxima dos centros de carga, ou conectadas aos sistemas de transmissão e distribuição. Uma série de benefícios são associados à implementação da GD, como redução de perdas por cabeamento, suprimento de cargas concentradas e menor custo de instalação.

Entretanto, a energia gerada por essas fontes renováveis é injetada nos mais variados pontos do sistema de transmissão e distribuição, trazendo desafios para o sistema de proteção decorrentes de alterações nos níveis de curto-circuito e

modificação do fluxo de potência (Pessoa, 2016). Desse modo, análises do impacto da inserção da geração distribuída no sistema elétrico tornam-se necessários, de modo a possibilitar uma interligação confiável entre geração e consumo sem comprometer os requisitos básicos do sistema de proteção, o que pode conduzir ao desenvolvimento de melhorias nas funções de proteção convencionais.

Um problema dessa nova configuração do sistema consiste na possibilidade de que o desempenho do sistema de proteção seja afetado para condições normais de operação, caso seus ajustes e funções não sejam revisados, o que poderia levar a ocorrência da operação do sistema elétrico com blocos de cargas isoladas, isto é, operando de maneira isolada do Sistema Interligado Nacional (SIN) (Santos, *et. al.*, 2018). Nesse âmbito, a alteração da topologia da rede elétrica pode afetar a amplitude das correntes de curto-circuito, dependendo da localização e da tecnologia implantada para identificação da falta. Essa alteração da corrente pode causar problemas de coordenação dos relés, religadores e demais equipamentos de proteção (Moore, 2008).

As propriedades fundamentais para se obter um bom desempenho requerem a combinação de um sistema no qual possua seletividade, sensibilidade e confiabilidade, sendo possível identificar o defeito e isolar do sistema apenas a zona defeituosa, cumprindo com segurança e exatidão as suas funções.

Dessa maneira, o estudo dos impactos da inserção das fontes renováveis no sistema elétrico, que segue uma tendência mundial, é evidente, de modo a possibilitar o desenvolvimento de funções de proteção cada vez mais confiáveis e que proporcionem maior segurança de operação para o sistema elétrico.

A fim de realizar estas análises, buscou-se avaliar o desempenho de funções de proteção tradicionais no que tange à identificação de zonas de atuação da proteção, bem como da estimação do local de curtos-circuitos com e sem a inserção da GD.

1.1 Justificativa

A partir da necessidade de formas menos poluentes de geração energia elétrica e dos avanços tecnológicos em fontes de energia renováveis, além do uso eficiente da energia elétrica, com perdas minimizadas, o aumento da geração distribuída conectadas às redes de transmissão e distribuição foi impulsionado, levantando

questionamentos importantes sobre os impactos desta na estabilidade e na proteção dos sistemas.

Tipicamente, com a adição de GD no sistema elétrico, o fluxo de potência passa a ser bidirecional, podendo comprometer, desta forma, a atuação correta dos dispositivos de proteção, uma vez que, basicamente, os estudos necessários para parametrização de seus ajustes eram realizados considerando uma topologia do sistema elétrico tradicional, isto é, com fluxo de potência unidirecional.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho consiste na avaliação do desempenho de funções de proteção de distância e localização de faltas devido a inserção de GD em um sistema elétrico, cujos objetivos específicos são:

- Implementar um sistema elétrico de potência de 230 kV no *Alternative Transients Program* (ATP);
- Implementar um algoritmo de estimação fasorial;
- Implementar a função de proteção de distância mho auto-polarizada;
- Implementar uma rotina para estimar o local do curto-circuito;
- Realizar uma análise comparativa entre os desempenhos das funções de proteção em cenários com e sem a inserção de GD, aferindo os erros obtidos em cada processo.

1.3 Organização do Trabalho

Para alcançar esses objetivos, o trabalho está dividido em seis capítulos, incluindo este introdutório, conforme:

- No capítulo 2, será apresentada uma fundamentação teórica sobre a geração distribuída, proteção de distância, localização de curtos-circuitos e os impactos da inserção da GD.
- O capítulo 3 abordará uma revisão bibliográfica sobre os principais trabalhos estudados e suas análises.

- No capítulo 4, será apresentado os dados utilizados para modelagem do sistema teste a ser analisado e os resultados obtidos da comparação do desempenho das funções de proteção implementadas com e sem a GD.
- Por fim, no capítulo 5 serão abordadas as conclusões e os possíveis trabalhos futuros que este estudo proporcionará.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o desenvolvimento do trabalho, alguns fundamentos acerca de geração distribuída, proteção de distância, estimação de fasores e localização de curtos-circuitos se fazem necessários, os quais são descritos a seguir.

2.1 Geração Distribuída

Em geral, o conceito de geração distribuída é baseado na inserção de novas fontes geradoras de energia, de forma distribuída, no sistema elétrico (ANEEL, 2019), (Lopes, 2015).

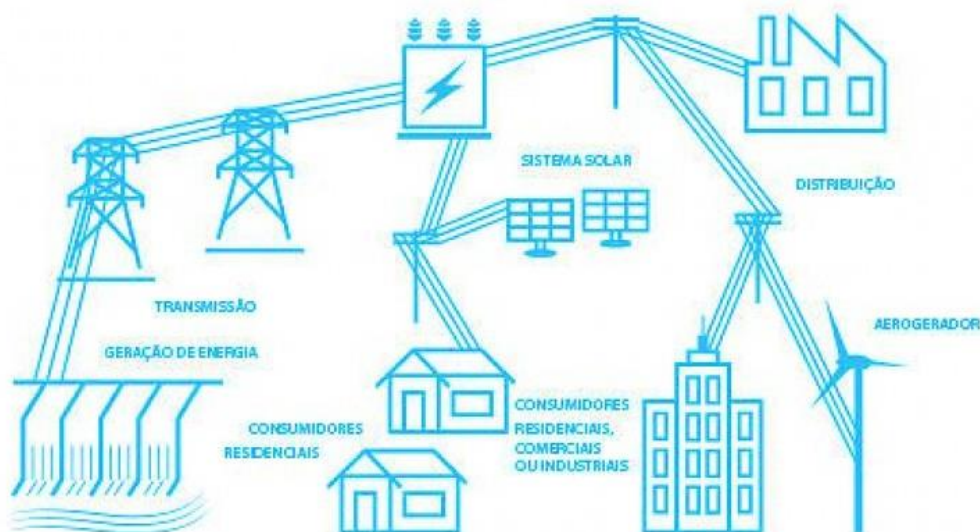
Tipicamente, o fluxo de potência de um sistema elétrico se dava de forma unidirecional, conforme ilustrado na Figura 1, sendo seu sentido: geração - transmissão - distribuição. Com a inserção das energias renováveis, as gerações são descentralizadas, conforme apresentado na Figura 2, em que diferentes fontes de geração de energia são conectadas nos mais variados pontos do sistema elétrico, podendo contribuir, dessa forma, para que o fluxo de potência se torne bidirecional.

Figura 1: Sistema Elétrico de Potência Convencional.



Fonte: Benedito, 2011.

Figura 2: Sistema Elétrico de Potência com Geração Distribuída.

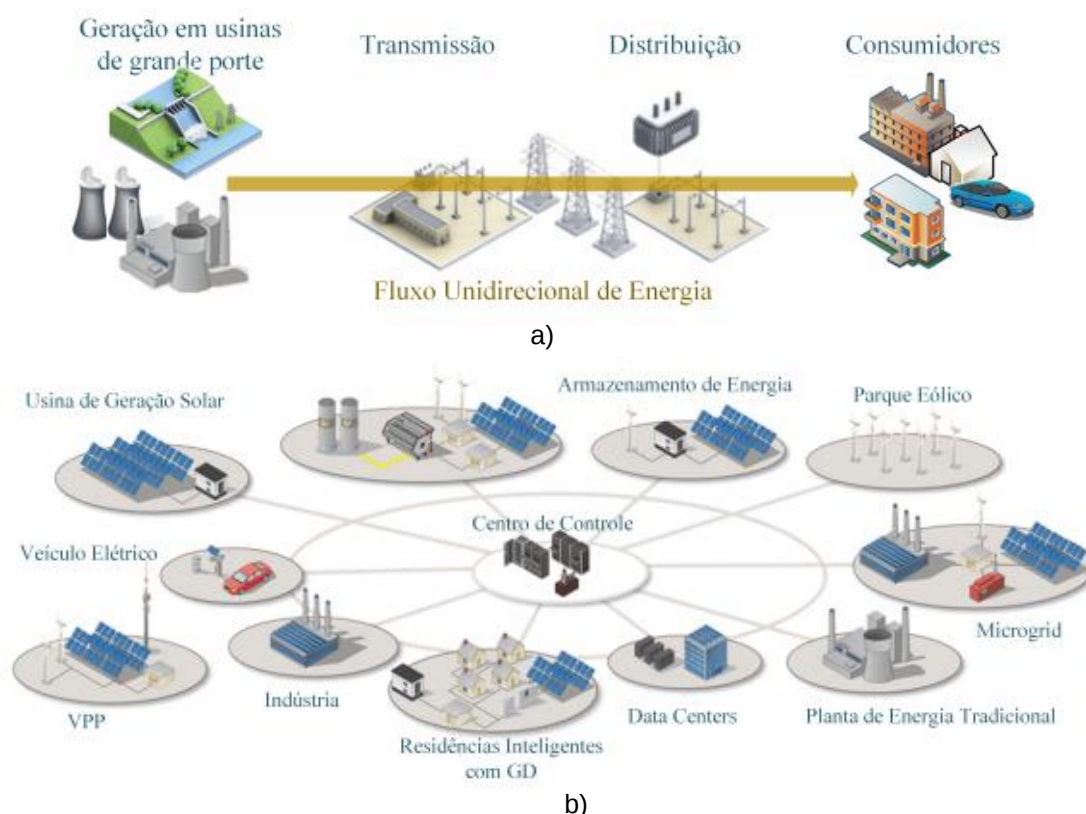


Fonte: INEE, 2016.

Antigamente, a geração em centrais de grande porte era mais barata, diminuindo o interesse dos consumidores na construção de fontes renováveis. Porém, com a crise do petróleo na década de 90, a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) e do Golfo Pérsico embargaram a distribuição para os Estados Unidos da América (EUA) e os países europeus (CELI, 2019), afetando irreversivelmente esse panorama, permitindo a competição para usufruto de outros potenciais elétricos a taxas mais atraentes (INEE, 2016).

Os dispositivos de medição tradicionais instalados nas redes elétricas provavelmente não apresentam recursos suficientes para suportar as mudanças de um sistema inteligente, que são ilustrados na Figura 3. Como o sistema atual foi projetado para funcionar com base em um fluxo de potência unidirecional, subestações para elevar ou abaixar a tensão até os consumidores são utilizadas, o que torna improvável que a conexão da GD com essa rede seja realizada sem algumas mudanças. Outro ponto importante é o controle e gerenciamento, que deverá ser muito mais efetivos e precisarão abranger todos os componentes na rede inteligente (Lo; Ansari, 2012).

Figura 3: a) Sistema Elétrico Convencional; b) Rede Elétrica Inteligente.



Fonte: LOPES, 2015.

A alteração da topologia da rede elétrica tende a influenciar as correntes de curto-circuito (Santos *et al*, 2018), afetando o tempo de coordenação dos relés e atuação dos dispositivos para seccionar o trecho defeituoso. A operação incorreta dos dispositivos de proteção pode fazer com que as fontes de GD permaneçam alimentando o curto-circuito, mesmo após a atuação desses equipamentos, de modo que o sistema pode vir a operar como blocos de cargas isoladas, fato este denominado ilhamento.

Um Ilhamento não-intencional ocorre de forma não programada, por exemplo, quando alguma função de proteção é sensibilizada e retira uma parte do sistema de operação, isolando o bloco de consumidores do SIN, muito embora haja ainda possibilidade de que a falta permaneça no sistema sendo alimentada pela GD, a depender dos ajustes do sistema de proteção (Ashwini; Jadhav, 2015).

Um Ilhamento intencional, por sua vez, ocorre de forma programada, permitindo o controle da operação ilhada, o que pode trazer benefícios ao sistema ao prover a confiabilidade para suas cargas (Santos, 2018), a exemplo de evitar perda de carga para situações previsíveis, como manutenção ou reparos na rede (Karnikowski, 2016).

2.2 Proteção de Distância

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) conta com dispositivos de proteção para preservar a operação do sistema, garantindo a segurança do mesmo e das pessoas na sua proximidade (SIEPE, 2017). A fim de manter um bom desempenho no sistema de transmissão e distribuição, a proteção deve atuar de forma a garantir a confiabilidade, sensibilidade e seletividade entre os dispositivos de proteção, assegurando a interoperabilidade do sistema.

Compreende-se por confiabilidade, a propriedade do elemento de proteção cumprir com segurança e exatidão as funções para quais foram destinadas. Já a sensibilidade, a capacidade do elemento de proteção reconhecer com exatidão a faixa e os valores indicados para a sua operação e não operação (Mamede, 2016). E seletividade, por sua vez, a capacidade do sistema de proteção mais próximo da falta (proteção primária) desconectar a parte defeituosa do SEP, independente da natureza do distúrbio ser temporária ou permanente (Vieira Júnior, 2006).

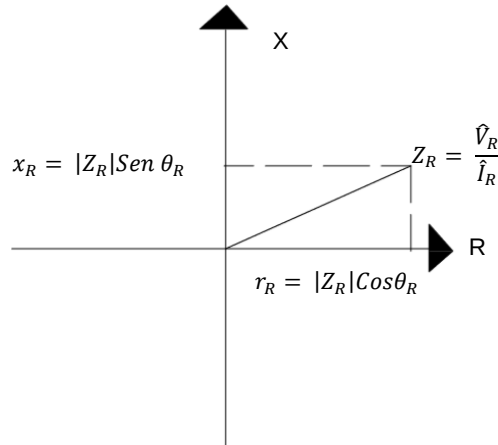
Inicialmente, os sistemas de transmissão eram tradicionalmente protegidos por relés de sobrecorrente, cuja grandeza de atuação é a corrente elétrica medida pelos dispositivos de proteção durante a ocorrência de curtos-circuitos. No entanto, há restrições quanto às suas operações, como: o tempo de atuação do relé ao ser sensibilizado pela falta, além de serem afetados por variações na geração de energia e na topologia do sistema (Antunes, 2016). Por conta dessas dificuldades, os relés de distância surgiram como mais robustos nestas aplicações, cujo tempo de atuação é proporcional à distância entre o ponto de instalação do relé e o ponto do defeito (Mamede, 2016), sendo um tipo de proteção que relaciona os fasores de tensão e corrente medidos nos terminais monitorados da linha de transmissão (Santos, 2007).

Embora o alcance de um elemento de distância não seja afetado devido a conexão de GD à rede, as medições de tensão e corrente vistas pelo relé podem ser, fazendo com que a exatidão das funções seja comprometida (Sujo *et al.*, 2013).

A característica básica de um relé de distância é dada no plano R-X, sendo o funcionamento da sua função de proteção dada conforme: quando da ocorrência de um curto-circuito, os fasores de tensão e corrente referente a falta são estimados a partir das medições vistas pelo relé, sendo a impedância calculada por meio da relação entre os referidos fasores, cuja coordenadas no diagrama são $r_R = |Z_R| \cos \theta_R$

e $x_R = |Z_R| \text{Sen } \theta_R$, sendo θ_R o ângulo da impedância estimada, cujo diagrama é apresentado na Figura 4.

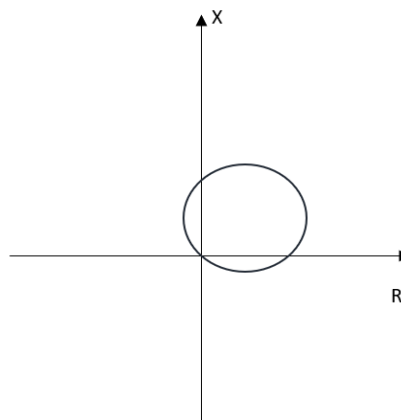
Figura 4: Diagrama R-X.



Fonte: Autor, 2019.

Diversas figuras geométricas são utilizadas dependendo do comportamento do sistema a ser protegido, em que, neste trabalho, foi utilizada a proteção de distância com o elemento de admitância (mho), representado na Figura 5, cujo esquema mais simples é denominado de característica mho auto-polarizada.

Figura 5: Característica do relé de distância mho.



Fonte: Autor, 2019.

Tal característica foi empregada e estudada por vários anos e ainda hoje é embarcada em muitos relés numéricos, cujos fundamentos são descritos na seção 2.3.

A denominação auto-polarizada se deve ao fato de que a grandeza de polarização utilizada nos comparadores é a própria tensão de entrada do relé. Caso a

impedância calculada pelo equipamento esteja dentro do círculo, o relé atua, emitindo um sinal de comando para o disjuntor operar. Por outro lado, caso o seu valor se encontre fora da característica de operação, o relé não atua; ou seja, a área delimitada pelo círculo corresponde a zona de operação do relé (SILVA, 2009).

A depender do tipo do curto-circuito, diferentes unidades do relé são sensibilizadas, as quais devem ser capazes de medir a impedância de sequência positiva do trecho da linha entre o relé e o local do distúrbio (SILVA, 2009). Por exemplo, para uma falta envolvendo as fases A e B, a impedância estimada pelo relé consiste na relação entre o fasor de tensão das fases A e B pelo fazer de corrente das fases A e B. Deste modo, as diferentes unidades de impedância medidas pelo relé são apresentadas na Tabela 1. Cabe ressaltar que, neste trabalho, o tipo de falta aplicado já é conhecido, de modo que algoritmos de classificação de curtos-circuitos não foram utilizados.

Tabela 1: Unidades do Relé que devem operar para cada tipo de falha.

Tipo de Falta		Unidade do Relé					
		Z_{AT}	Z_{BT}	Z_{CT}	Z_{AB}	Z_{BC}	Z_{CA}
Monofásica	AT	x					
	BT		x				
	CT			x			
Bifásica	AB				x		
	BC					x	
	CA						x
Bifásica para Terra	ABT	x	x		x		
	BCT		x	x		x	
	CAT	x		x			x
Trifásica	ABC	x	x	x	x	x	x

Fonte: Autor, 2019.

2.3 Estimação Fasorial

A representação fasorial de um sinal senoidal pode ser considerada como um processo de estimação, já que se admite, *a priori*, que não são conhecidos os valores reais da amplitude e fase do sinal avaliado (SILVA, 2009).

Os relés digitais utilizam algoritmos computacionais que se baseiam no cálculo das componentes de frequência fundamental das tensões e correntes, que, por sua vez, são calculadas pelos métodos de estimação fasorial. Um dos métodos de estimação fasorial mais reportados para aplicações de proteção é baseado na Transformada de Fourier (Campos, 2016).

Um sinal periódico qualquer $x(t)$ pode ser representado pela série de Fourier, segundo Phadke (2008):

$$x(t) = \frac{Y_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} Y_{cn} \cos(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} Y_{sn} \sin(2\pi nft), \quad (2.1)$$

onde f é a frequência fundamental do sinal e n a n -ésima harmônica do sinal $x(t)$. Os coeficientes da série de Fourier são determinados segundo:

$$Y_0 = \int_t^{t+T} x(t) dt, \quad (2.2)$$

$$Y_{cn} = \int_t^{t+T} x(t) \cos n\omega t dt, \quad (2.3)$$

$$Y_{sn} = \int_t^{t+T} x(t) \sin n\omega t dt, \quad (2.4)$$

em que T representa o período do sinal e ω a frequência angular ($\omega = 2\pi f$).

A Equação (2.1) pode ser reescrita combinando os coeficientes à mesma frequência harmônica, conforme:

$$x(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \sin(n\omega t + \varphi_n), \quad (2.5)$$

de modo que:

$$A_0 = \frac{Y_0}{2}, \quad (2.6)$$

$$\varphi_0 = 0,$$

resultando em:

$$A_n = \sqrt{Y_{cn}^2 + Y_{sn}^2}, \quad (2.7)$$

$$\varphi_n = \tan^{-1} \left(\frac{Y_{sn}}{Y_{cn}} \right). \quad (2.8)$$

Nesta pesquisa, o algoritmo de Fourier de um ciclo reportado em Phadke, (2008) foi utilizado, o qual consiste em extrair a componente de frequência fundamental de um sinal $x(t)$, a partir do produto de um ciclo deste sinal com as funções seno e cosseno. As equações que representam o processo de filtragem digital do algoritmo Fourier de um ciclo são descritas segundo:

$$Y_{c1} = \sum_{k=0}^{N-1} x_k h_{ck}, \quad (2.9a)$$

$$Y_{s1} = \sum_{k=0}^{N-1} x_k h_{sk}, \quad (2.9b)$$

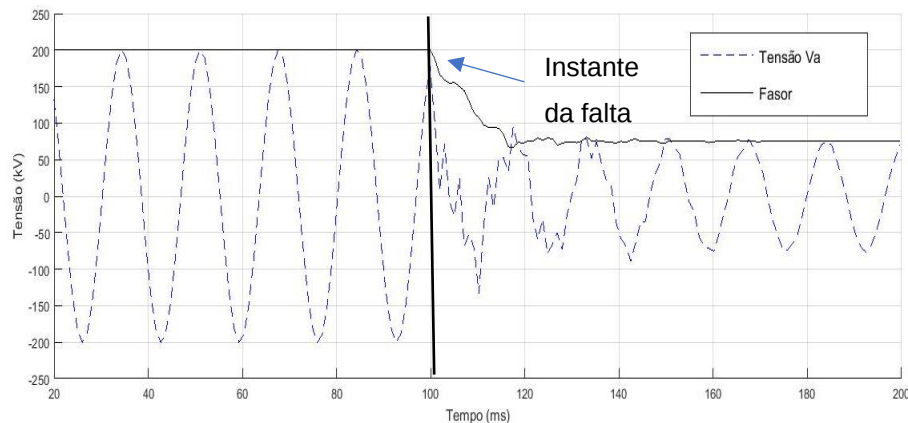
em que h_{ck} e h_{sk} são, respectivamente, os coeficientes dos filtros de Fourier de um ciclo, que são descritos nas Equações (2.10) e (2.11), segundo:

$$h_{ck} = \frac{2}{N} [\cos \omega t_0 \cos \omega t_1 \dots \cos \omega t_{N-1}], \quad (2.10)$$

$$h_{sk} = \frac{2}{N} [\sin \omega t_0 \sin \omega t_1 \dots \sin \omega t_{N-1}]. \quad (2.11)$$

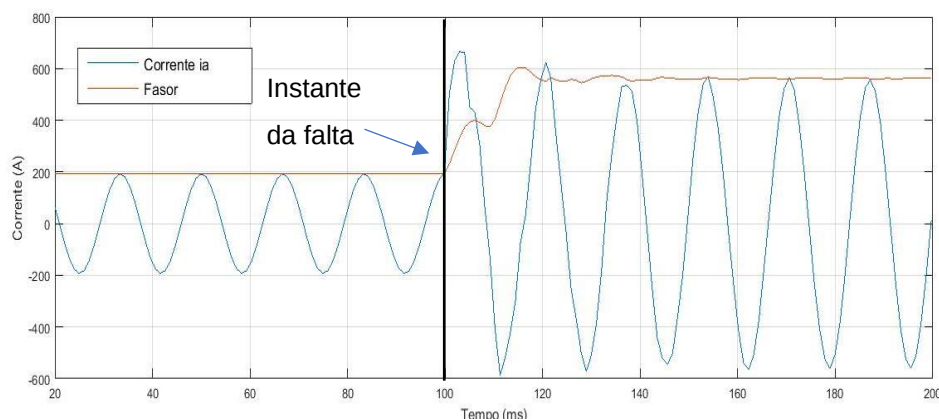
A amplitude e a fase na frequência fundamental podem ser calculadas de acordo com as Equações (2.7) e (2.8), respectivamente. Para ilustrar um exemplo de aplicação do algoritmo de estimação fasorial, um curto-circuito monofásico foi aplicado no SEP descrito no capítulo 4, cujos sinais de tensão e corrente da fase A são apresentados nas Figuras 6 e 7, respectivamente, bem como os seus fasores associados.

Figura 6: Sinal de Tensão da Fase A e seu respectivo fasor.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 7: Sinal de corrente da fase A e seu respectivo fasor.



Fonte: Autor, 2019.

Conforme ilustrado nas Figuras 6 e 7, os fasores estimados apresentam amplitudes constantes durante regime permanente. Todavia, após a incidência da falta, oscilações nas suas amplitudes são perceptíveis devido à redução na amplitude dos sinais de tensão, bem como elevação da amplitude dos sinais de corrente, assim como dos transitórios induzidos pelo curto-circuito. Após os transitórios serem amortecidos, as oscilações nos fasores estimados são significativamente reduzidas.

Estes fasores estimados pelo relé são utilizados em algoritmos de localização de distúrbios implementados em relés numéricos, cujos fundamentos são descritos na seção 2.4.

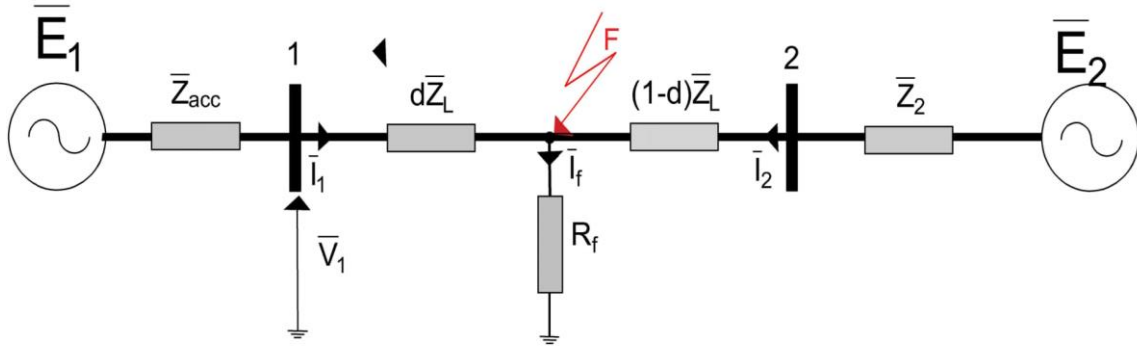
2.4 Localização do Curto-Circuito

Em um sistema de transmissão de energia elétrica, a localização da falta é fundamental, a fim de identificar os pontos da rede que necessitam de manutenção ou reforço, evitando maiores problemas futuros, além de possibilitar a execução de atividades de manutenção de forma mais rápida por parte das concessionárias de geração e transmissão de energia (SAHA, *et. al.*, 2010).

A partir de um dispositivo eletrônico inteligente (IED) instalado no terminal monitorado da linha, as formas de onda de tensão e corrente durante a ocorrência de um curto-circuito são obtidas, as quais são usadas para estimar a impedância aparente entre o equipamento e a localização do defeito.

Para se estimar o local do curto-circuito, considere o SEP ilustrado na Figura 8, em que a tensão medida na barra 1 ($\hat{V}_1$) pode ser dada, a partir da Lei de Kirchhoff das tensões, por (Swagata Das, *et al.*, 2014):

Figura 8: Diagrama do circuito afetado por uma falta.



Fonte: Autor, 2019.

$$\hat{V}_1 = dZ_L \hat{I}_1 + R_f \hat{I}_f, \quad (2.12)$$

em que d é distância do dispositivo até o local da falta; $\hat{V}_1$ e $\hat{I}_1$ são os fasores de tensão e corrente medida na barra 1, respectivamente; Z_L é a impedância da linha de transmissão; R_f e $\hat{I}_f$ são a resistência e o fasor da corrente de falta.

Dividindo equação (2.12) por $\hat{I}_1$, obtém-se a impedância aparente do curto-circuito vista pelo relé, conforme:

$$Z_{acc} = \frac{\hat{V}_1}{\hat{I}_1} = dZ_L + R_f \frac{\hat{I}_f}{\hat{I}_1} \quad (2.13)$$

A fim de eliminar a influência das incógnitas R_f e $\hat{I}_f$ na equação (2.13), considera-se que as correntes $\hat{I}_1$ e $\hat{I}_f$ estão em fase, assim como que a impedância de falta é puramente resistiva. Deste modo, aplicando-se os valores imaginários em ambos os lados da equação (2.13), tem-se (SAHA, et. al., 2010):

$$\text{img} \left(\frac{\hat{V}_1}{\hat{I}_1} \right) = d \text{img}(Z_L), \quad (2.14)$$

em que o valor imaginário da parcela correspondente a $R_f (\hat{I}_f / \hat{I}_1)$ é nulo, uma vez que se trata de um número real.

Para encontrar o local da falta, multiplica-se a Equação (2.14) pelo comprimento total da linha (L), segundo:

$$d = Loc_{falta} = \frac{\text{img} \left(\frac{\hat{V}_1}{\hat{I}_1} \right)}{\text{img}(Z_L)} \times L \quad (2.15)$$

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Giuliani (2018) verificou que uma GD é capaz de reduzir as perdas, promovendo um alívio do carregamento da linha devido à aproximação aos consumidores. Basicamente, ao identificar a variação nas correntes de curtos-circuitos, o limitador de correntes de falta irá alterar a impedância da linha de modo que possa limitar os valores de corrente de defeito.

O limitador de corrente de curto-circuito, ao detectar tais efeitos, acrescenta uma impedância de aproximadamente três vezes a impedância original do trecho, ou seja, a medida que ocorre a variação na corrente de falta, um valor de impedância é adicionada no trecho original da linha, fazendo com que o sistema de proteção opere de forma coordenada e seletiva, eliminando, assim, de maneira rápida e correta o distúrbio existente. Porém, esses eventos dependeram de alguns fatores, como: topologia da rede, localização da GD, nível de geração e demanda da carga.

Com a inserção de fontes de geração distribuída, o sistema de distribuição perde sua característica radial (Yamauti *et al.*, 2015), trazendo desafios ao sistema de proteção atual. A corrente de falta é modificada por conta da conexão da GD que altera a topologia da rede, de forma que os níveis crescentes da corrente de curto-circuito podem exceder os parâmetros estabelecidos dos equipamentos de proteção, conforme reportado por Hadjsaid (1999).

O impacto da GD em SEP foi avaliado por Rahman e Das (2017), em que os autores apresentaram os principais problemas baseados na alteração da corrente de curto-circuito devido a inserção das fontes. Outro problema reportado consiste na alimentação do curto-circuito pela GD após a operação da proteção, causando a descoordenação do sistema de proteção. Todavia, apenas estudos voltados para sistemas de distribuição foram realizados.

Quando ocorre uma falha no sistema elétrico, é fundamental localizar rapidamente o defeito e isolar do sistema o trecho defeituoso (Zayandehroodi, 2009). Porém, a sua atuação indevida pode fazer com que ocorra operação ilhada (Dulau, 2013). Dessa forma, além dos problemas técnicos quanto a operação correta dos equipamentos, há preocupação quanto a segurança dos operadores os quais fazem a manutenção da rede.

Com o intuito de analisar a influência da GD no sistema de proteção, Hussain *et al.* (2013), Rahman e DAS. (2017), Coster *et al.* (2010) e Zayandehroodi *et al.* (2011)

simularam diferentes tipos de faltas em sistemas elétricos, representando seus impactos na detecção da falta e sua localização até encontrar um ponto de equilíbrio nas zonas para o alcance da proteção, com e sem GD. Para tal objetivo, decidiu reduzir o alcance da zona de proteção do dispositivo para 40% da proteção primária e 80% da secundária do equipamento de proteção, com a intenção de demonstrar a influência em uma configuração com alcance menor. Os resultados obtidos demonstraram que em determinadas faltas simuladas em primeira zona, a identificação foi exata, no entanto, para faltas em segunda zona, tanto monofásica como trifásica, o alcance do relé reduziu significativamente.

Segundo Carvalho Júnior (2017), alguns erros podem influenciar a atuação da proteção de distância, como: a saturação dos transformadores de medição, já que ocorre variação na corrente de curto-circuito; o balanço de potência devido a oscilações eletromecânicas; o efeito *infeed*, no qual corresponde ao afundamento da tensão medida pelos equipamentos devido à GD; e a mudança da resistência de falta vista pelo relé, de modo que o local da falta pode ser estimado de forma incorreta.

Todavia, da maioria dos trabalhos avaliados, raramente são investigados o impacto da inserção de GD em funções de proteção de sistemas de transmissão, de modo que análises neste tipo de SEP se fazem necessárias. Sendo assim, estudos iniciais sobre o desempenho de funções de proteção e localização de curtos-circuitos em sistema de transmissão de energia elétrica são realizados neste trabalho.

4 ANÁLISES E RESULTADOS

As ferramentas básicas utilizadas neste trabalho foram: o *software* ATP (Leuven, 1987) para a implementação de um sistema teste de transmissão; e o *software* de simulação matemática Matlab®, sendo ambos aplicados tanto nas indústrias como em pesquisas acadêmicas.

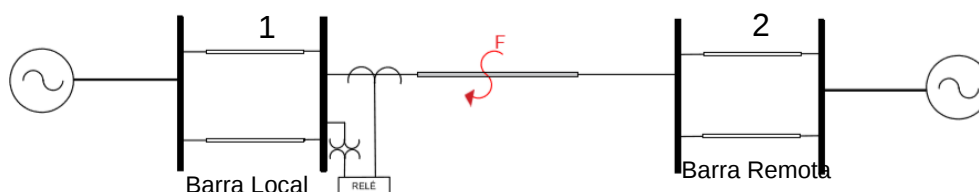
A metodologia proposta segue algumas etapas, que são:

- Implementar um sistema elétrico de 230 kV no ATP;
- Geração dos registros oscilográficos para cada curto-circuito simulado, os quais foram externados para utilização no Matlab® por meio da linguagem Models do ATP;
- Leitura dos registros oscilográficos gerados pelo ATP com informações dos distúrbios no Matlab®;
- Implementação do algoritmo de estimação fasorial;
- Implementação da rotina de localização de falta;
- Comparação dos resultados obtidos para os casos com e sem a inserção de GD.

O sistema elétrico simplificado de 230 kV ilustrado na Figura 9 foi implementado, cuja linha de transmissão apresenta um comprimento de 200 km. Os sinais de entrada para o modelo do relé de distância são as tensões e correntes na barra 1 do sistema, os quais são obtidos por meio de transformador de potencial capacitivo (TPC) e transformador de corrente (TC) ideais.

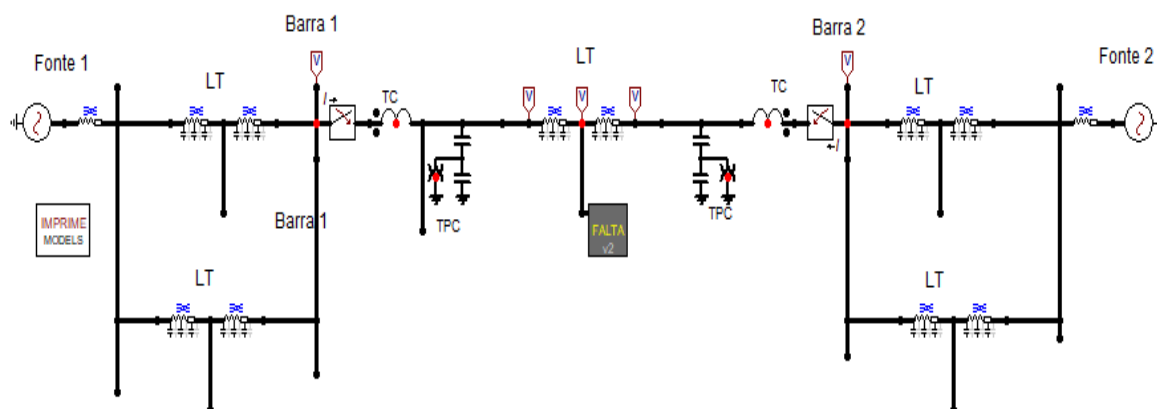
O sistema considerado apresenta a topologia reportada em Guzmán *et al.* (2018), cujos os parâmetros do SEP foram adaptados de sistemas pertencentes ao SIN. O sistema modelado por meio do ATPDraw é ilustrado na Figura 10.

Figura 9: Modelo do Sistema Elétrico simplificado utilizado na simulação das faltas.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 10: Sistema Implementado ATPDraw.

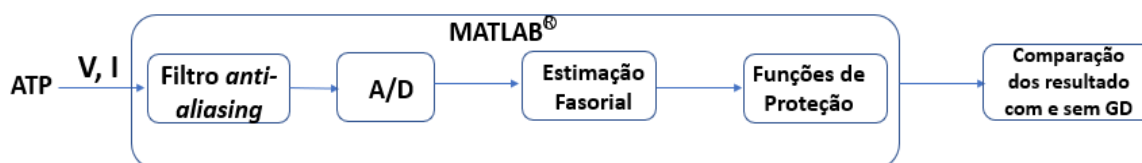


Fonte: Autor, 2019.

Os dados da MODELS são obtidos com um passo de $5 \mu s$, cujos sinais são subamostrados por meio de uma conversão analógica-digital com uma frequência de 960 Hz, frequência esta tipicamente utilizada em relés com funções baseadas em fasores. Antes de realizar a amostragem para utilização pelas funções de proteção, os sinais foram filtrados utilizando um filtro Butterworth passa-baixas *anti-aliasing* de terceira ordem e frequência de corte igual a 380 Hz, cujo tipo de filtro é utilizado em dispositivos de proteção para evitar os efeitos decorrentes de uma sobreposição de espectros.

O fluxograma utilizado durante as análises realizadas neste trabalho é ilustrado na Figura 11.

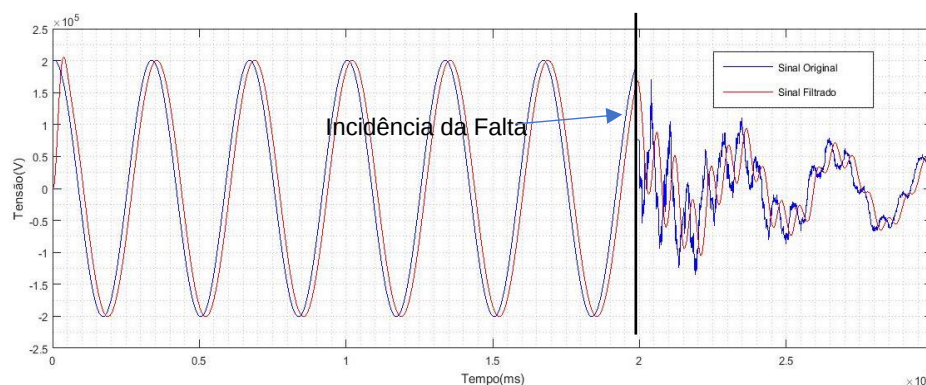
Figura 11: Etapas de Metodologia.



Fonte: Autor, 2019.

Para ilustrar o funcionamento do filtro, apresenta-se, na Figura 12, a tensão da fase A antes e depois da filtragem passa-baixas, em que o sinal filtrado apresenta atenuações das componentes de alta frequência, porém com um pequeno atraso em relação ao sinal original.

Figura 12: Tensão antes e depois da filtragem.



Fonte: Autor, 2019.

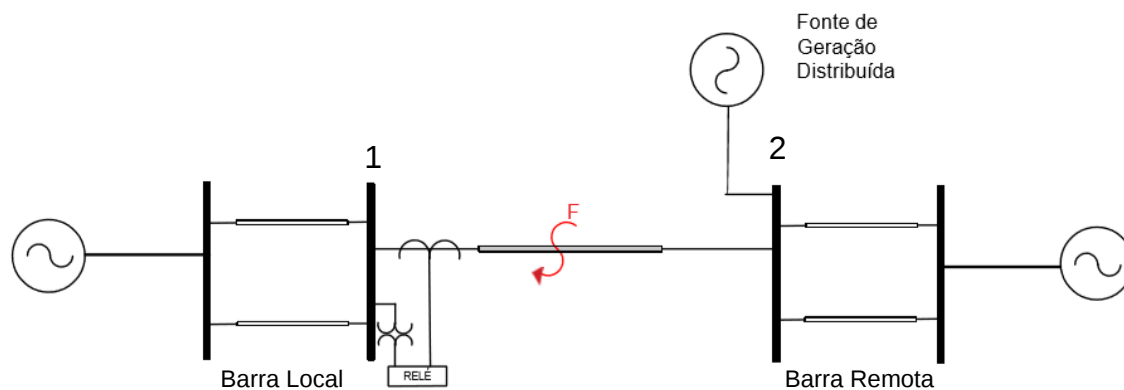
Após a discretização do sinal, os fasores das tensões e correntes das linhas são estimados a partir do algoritmo de Fourier de um ciclo, onde, em seguida, o local do distúrbio bem como a zona de atuação da proteção é estimado.

A análise do sistema foi realizada em duas etapas, a primeira sem a inserção da GD, conforme ilustrado na Figura 9, e em seguida, conforme o modelo ilustrado na Figura 13 e modelado de acordo com a Figura 14, onde foi adicionada à GD à barra 2. Deste modo, análises acerca do desempenho da função de distância e do algoritmo de localização de faltas sem e com a presença de GD são realizadas.

Deve ser ressaltado que, embora a GD seja usualmente retratada por fontes renováveis, que envolvem circuitos mais complexos, incluindo conversores e seus dispositivos associados, o objetivo desse trabalho se configura em analisar como a instalação de uma fonte ao longo do SEP pode afetar o desempenho de funções de proteção, caso seus ajustes não sejam revisados.

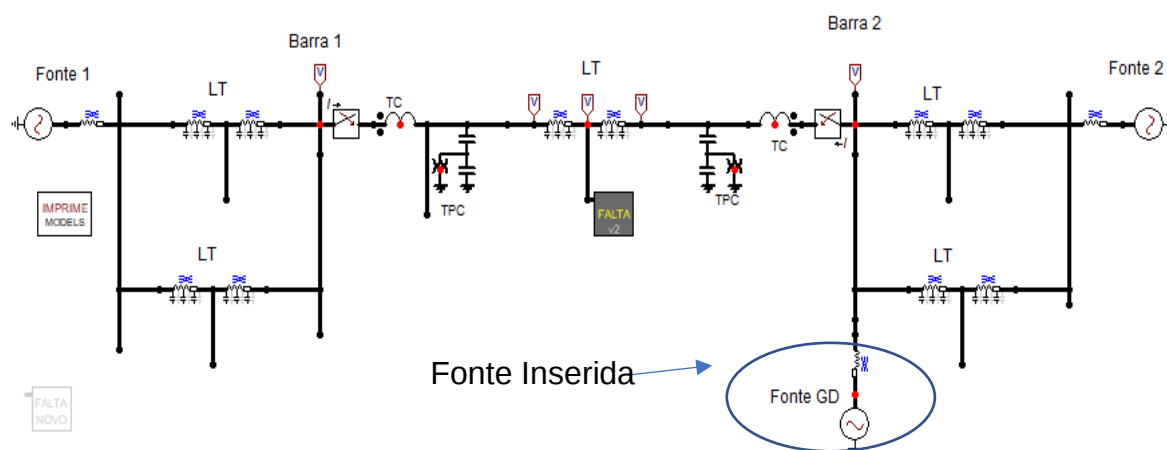
Sendo assim, optou-se por representar os modelos de fonte de GD por circuitos equivalentes de Thévenin, de forma semelhante as outras fontes presentes no SEP considerado, conforme parâmetros apresentados na Tabela 2, onde foi considerado os mesmos parâmetros da impedância de Thévenin das fontes 1 e 2, porém com uma defasem de 60° em relação à fonte 1, e de 45° em relação à fonte 2, bem como 0,95 pu, cujos valores foram utilizados apenas para possibilitar a simulação da fonte GD alterando as condições de carregamento do SEP. Os parâmetros da linha de transmissão são dispostos na Tabela 3.

Figura 13: Modelo do Sistema Elétrico simplificado com a presença de GD utilizado na simulação das faltas.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 14: Sistema Implementado no ATPDraw com Geração Distribuída.



Fonte: Autor, 2019.

Tabela 2 :Dados das Fontes de Geração de Energia Elétrica

	pu	Fasor	Frequência	R_0	X_0	R_1	X_1
Fonte 1	1	0°	60 Hz	$0,4177 \, \Omega$	$1,5238 \, \Omega$	$0,0346 \, \Omega$	$0,3005 \, \Omega$
Fonte 2	0,98	-15°	60 Hz	$0,4177 \, \Omega$	$1,5238 \, \Omega$	$0,0346 \, \Omega$	$0,3005 \, \Omega$
Fonte GD	0,95	-60°	60 Hz	$0,4177 \, \Omega$	$1,5238 \, \Omega$	$0,0346 \, \Omega$	$0,3005 \, \Omega$

Fonte: Autor, 2019

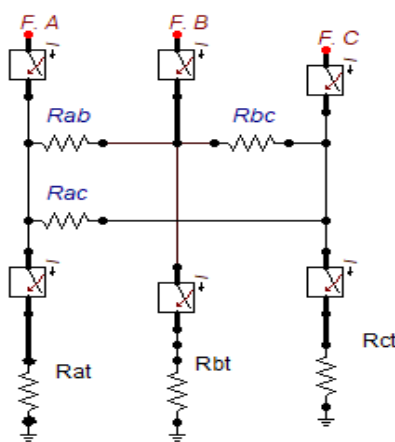
Tabela 3: Dados da Linha de Transmissão

Comprimento	$R_0 (\Omega/\text{km})$	$X_0 (\Omega/\text{km})$	$R_1 (\Omega/\text{km})$	$X_1 (\Omega/\text{km})$	$Y_0 (\text{S}/\text{km})$	$Y_1 (\Omega/\text{km})$
200 km	0,522	1,432	0,098	0,53	$2,293 \mu$	$3,252 \mu$

Fonte: Autor, 2019

O modelo utilizado para simular as faltas no sistema elétrico é representado na Figura 15, sendo os valores utilizados de resistência (R) para simular um circuito aberto igual a $10^{12} \Omega$, assim como o valor de $10^{-9} \Omega$ para simular um curto-circuito franco. Em cada simulação de falta, variam-se as chaves são fechadas a depender do tipo de distúrbio. Por exemplo, para simular uma falta envolvendo a fase A e a terra, as chaves ilustradas na Figura 15 conectadas ao ponto FA e à resistência R_{at} são fechadas.

Figura 15: Modelo de Falta Utilizado nas Simulações

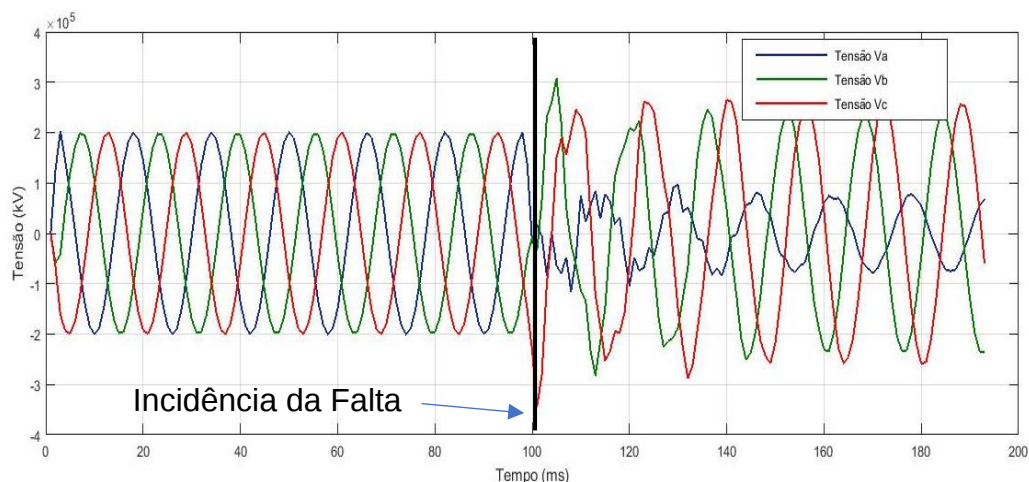


Fonte: Autor, 2019

Para se avaliar o desempenho dos dispositivos de proteção na localização das faltas, faz-se necessário simular a ocorrência de vários tipos de curtos-circuitos em diferentes pontos na rede de transmissão, sendo os ajustes da proteção de distância do dispositivo de primeira e segunda zonas definidos em 80% e 120% da linha, respectivamente, valores estes tipicamente utilizados em estudos de proteção (SILVA, 2009).

A primeira análise é realizada com uma falta do tipo AT a 78% da linha (156 km), isto é, próximo ao limiar da zona de alcance do dispositivo, onde é ilustrado na Figura 16 as formas de ondas de tensão.

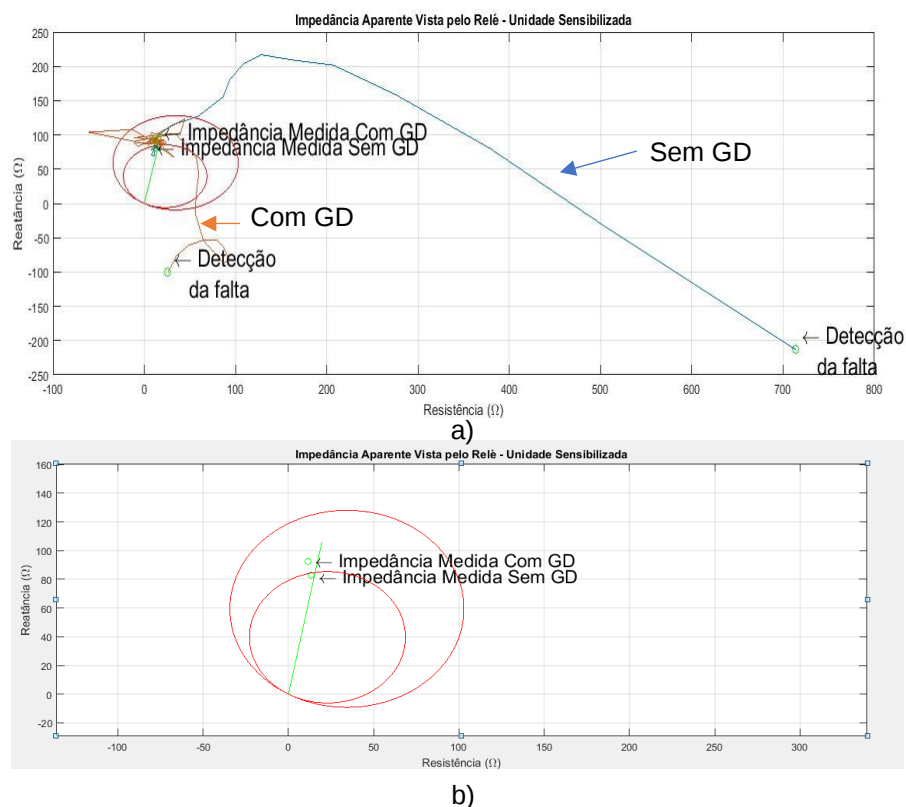
Figura 16: Formas de onda das Tensões das Fases A, B e C.



Fonte: Autor, 2019.

A trajetória da impedância vista pelo relé, desde o instante de detecção da falta, até a sua entrada na característica de operação é ilustrada da Figura 17a, em que um “zoom” é aplicado para possibilitar uma melhor visualização da impedância estimada pelo relé, conforme apresentado na Figura 17b. O valor da impedância após a detecção oscila até a sua estabilidade no regime permanente de falta, representados pela linha azul para o caso sem GD, e laranja, para o cenário com GD.

Figura 17:Falta Monofásica AT: a) Impedância medida; b) zoom.



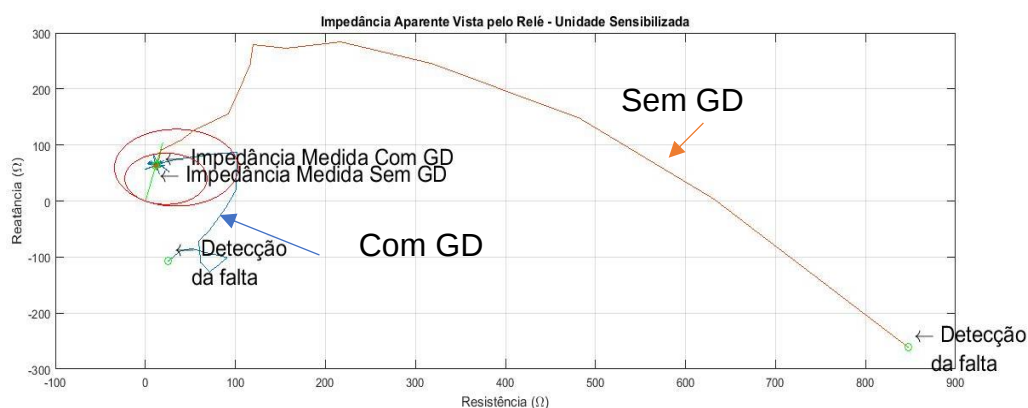
Fonte: Autor, 2019.

Das Figuras 17a e 17b, sem a presença da fonte de GD, o relé foi sensibilizado a 154,28 km da barra 1, fazendo a proteção atuar em primeira zona. Já com a presença da GD, o relé foi sensibilizado a 174,47 km da barra 1, atuando com a proteção de segunda zona.

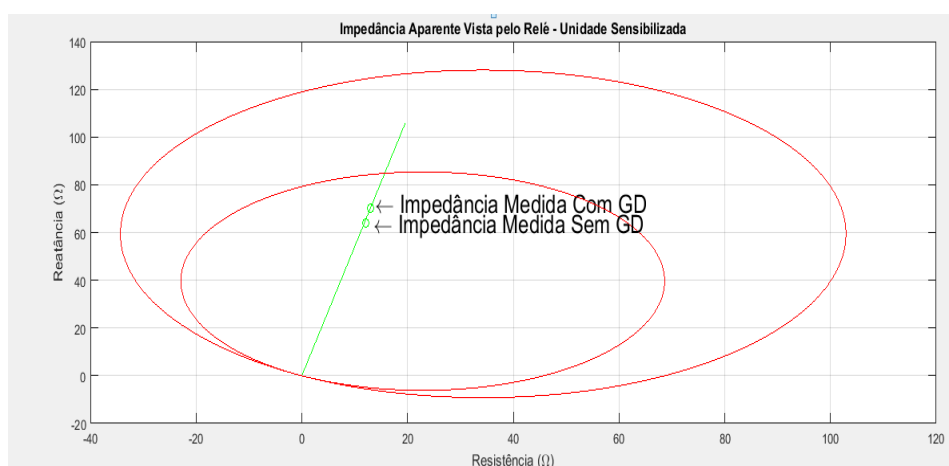
A informação incorreta da localização da falta se deve ao fato de que o relé mede uma corrente menor que no caso sem GD, fazendo com que a impedância aparente seja maior e, conseqüentemente, o curto-circuito seja estimado mais distante do terminal monitorado.

Uma segunda análise foi realizada com uma falta bifásica AC a 60% da linha de transmissão, correspondente a 120 km da barra 1, sendo os resultados obtidos dispostos na Figura 18.

Figura 18: Falta Bifásica AC: a) Impedância medida; b) zoom.



a)



b)

Fonte: Autor, 2019.

Dos resultados apresentados na Figura 18, o relé identificou a falta corretamente em primeira zona, porém o local estimado sem a presença da fonte de geração distribuída foi a 122,64 km da barra 1, enquanto que o sistema com a geração distribuída foi a 132,36 km da barra 1. Deste modo, embora a identificação da zona de atuação da proteção tenha sido estimada de forma correta em ambos os casos, o erro do processo de localização do distúrbio foi significativamente maior quando a GD foi considerada.

De modo a investigar uma maior quantidade de casos, diferentes locais de ocorrência do distúrbio foram considerados. Os cenários avaliados levam em consideração cinco locais para a incidência da falha, a 20%, 40%, 50%, 60% e 80% da linha. Para cada local de curto-circuito foi analisado o impacto de inclusão da GD em relação a localização da falta. Os casos avaliados são:

- **Caso 1:** falta AT, 40km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 2:** falta BT, 40km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 3:** falta CT, 40km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 4:** falta AB, 40km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 5:** falta BC, 40km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 6:** falta CA, 40km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 7:** falta ABT, 40km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 8:** falta BCT, 40km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 9:** falta CAT, 40km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 10:** falta ABC, 40km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 11:** falta AT, 80km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 12:** falta BT, 80km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 13:** falta CT, 80km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 14:** falta AB, 80km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 15:** falta BC, 80km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 16:** falta CA, 80km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 17:** falta ABT, 80km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 18:** falta BCT, 80km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 19:** falta CAT, 80km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 20:** falta ABC, 80km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;
- **Caso 21:** falta AT, 100km da barra 1, $R: 10^{-9} \Omega$;

- **Caso 22:** falta BT, 100km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 23:** falta CT, 100km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 24:** falta AB, 100km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 25:** falta BC, 100km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 26:** falta CA, 100km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 27:** falta ABT, 100km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 28:** falta BCT, 100km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 29:** falta CAT, 100km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 30:** falta ABC, 100km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 31:** falta AT, 120km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 32:** falta BT, 120km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 33:** falta CT, 120km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 34:** falta AB, 120km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 35:** falta BC, 120km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 36:** falta CA, 120km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 37:** falta ABT, 120km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 38:** falta BCT, 120km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 39:** falta CAT, 120km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 40:** falta ABC, 120km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 41:** falta AT, 160km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 42:** falta BT, 160km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 43:** falta CT, 160km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 44:** falta AB, 160km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 45:** falta BC, 160km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 46:** falta CA, 160km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 47:** falta ABT, 160km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 48:** falta BCT, 160km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 48:** falta CAT, 160km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;
- **Caso 50:** falta ABC, 160km da barra 1, R: $10^{-9} \Omega$;

Os resultados obtidos para cada caso são apresentados nas Tabelas 4 e 5, em que é possível observar a diferença da localização do curto-circuito em sistemas com e sem a inserção de GD, bem como o erro percentual em relação ao local da falta, que é calculado conforme disposto na Equação (5.1):

$$e(\%) = \frac{(Local\ Real - Local\ Estimado)}{Comprimento\ total\ da\ linha} \times 100 \quad (5.1)$$

Tabela 4: Alcance da proteção nos sistemas simulados a 20%, 40% e 50%.

Caso		Incidência do Curto-Circuito	Zona de Atuação		Local da Falta (km)		Erro em relação ao local da falta (%)	
	Tipo de Falta		Sem GD	Com GD	Sem GD	Com GD	Sem GD	Com GD
1	AT	20%	1°	1°	39,25	40,69	0,375	0,345
2	BT	20%	1°	1°	39,23	40,64	0,385	0,32
3	CT	20%	1°	1°	39,6	40,6	0,2	0,3
4	AB	20%	1°	1°	40,55	40,78	0,275	0,39
5	BC	20%	1°	1°	40,04	40,19	0,02	0,095
6	CA	20%	1°	1°	40,5	41,2	0,25	0,6
7	ABT	20%	1°	1°	40,52	40,93	0,26	0,465
8	BCT	20%	1°	1°	39,98	40,3	0,01	0,15
9	CAT	20%	1°	1°	41,5	42,3	0,75	1,15
10	ABC	20%	1°	1°	39,9	40,5	0,05	0,25
11	AT	40%	1°	1°	80,19	83,35	0,095	1,67
12	BT	40%	1°	1°	80,03	82,87	0,015	1,432
13	CT	40%	1°	1°	79,97	82,86	0,015	1,43
14	AB	40%	1°	1°	79,9	80,7	0,05	0,35
15	BC	40%	1°	1°	79,53	80,80	0,235	0,4
16	CA	40%	1°	1°	80,57	80,7	0,285	0,35
17	ABT	40%	1°	1°	80,07	81,27	0,035	0,635
18	BCT	40%	1°	1°	79,53	82,4	0,235	1,2
19	CAT	40%	1°	1°	79,99	82,9	0,005	1,45
20	ABC	40%	1°	1°	79,33	81,9	0,335	0,95
21	AT	50%	1°	1°	99,8	105,5	0,1	2,75
22	BT	50%	1°	1°	99,9	105,6	0,05	2,8
23	CT	50%	1°	1°	100,2	105,2	0,1	2,6
24	AB	50%	1°	1°	100,43	104,79	0,215	2,395
25	BC	50%	1°	1°	102,3	107,2	1,15	3,6
26	CA	50%	1°	1°	98,87	99,39	0,565	0,305
27	ABT	50%	1°	1°	100,8	104,2	0,4	2,1
28	BCT	50%	1°	1°	100,91	101,19	0,455	0,595
29	CAT	50%	1°	1°	99,13	101,96	0,435	0,98
30	ABC	50%	1°	1°	100,9	103,5	0,45	1,75

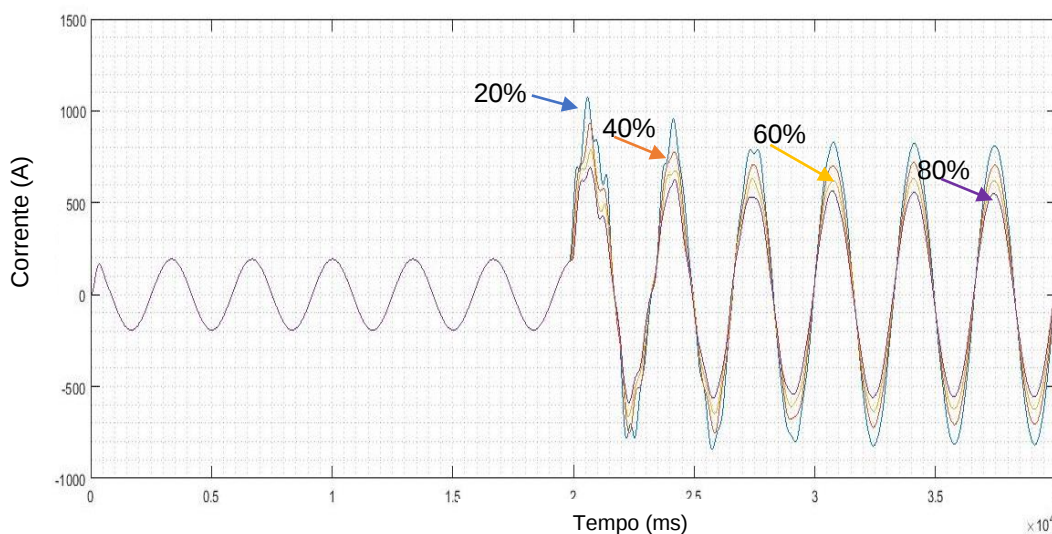
Tabela 5: Alcance da proteção nos sistemas simulados a 60% e 80%

Caso		Incidência do Curto-Circuito	Zona de Atuação		Local da Falta (km)		Erro em relação ao local da falta (%)	
	Tipo de falta		Sem GD	Com GD	Sem GD	Com GD	Sem GD	Com GD
31	AT	60%	1°	1°	117,8	130	1,1	5
32	BT	60%	1°	1°	119,14	129,59	0,43	4,79
33	CT	60%	1°	1°	120,48	128,68	0,24	4,34
34	AB	60%	1°	1°	118,98	125,63	0,51	2,81
35	BC	60%	1°	1°	121,7	122,9	0,85	1,45
36	CA	60%	Analisado conforme ilustrado na Figura 18					
37	ABT	60%	1°	1°	123,3	127,4	1,65	3,7
38	BCT	60%	1°	1°	122,22	128,2	1,11	4,1
39	CAT	60%	1°	1°	120,64	127,34	0,32	3,67
40	ABC	60%	1°	1°	121,93	125,3	0,965	2,65
41	AT	80%	1°	2°	158,5	181,02	0,75	10,51
42	BT	80%	1°	2°	157,8	181,1	1,1	10,55
43	CT	80%	1°	2°	153,53	179,81	3,235	11,9
44	AB	80%	2°	2°	162	163,7	1,1	1,85
45	BC	80%	1°	2°	159,8	163,4	0,1	1,7
46	CA	80%	1°	2°	158,2	164,1	0,9	2,05
47	ABT	80%	2°	2°	163,5	170,7	1,75	5,35
48	BCT	80%	1°	1°	158,18	157,63	0,91	1,185
49	CAT	80%	2°	2°	160,1	161,9	0,05	0,95
50	ABC	80%	2°	2°	162	167,2	1	3,6

Fonte: Autor, 2019

Dos resultados obtidos e apresentados nas Tabelas 4 e 5, é possível verificar que em todos os casos simulados, os locais da falta foram estimados com maiores erros provenientes da inserção da GD. Basicamente, os erros variam de 0,1% a 1,15% sem a inserção da GD, e de 0,15% a 11,9% com a GD. Os diferentes erros ocorrem devido ao nível da corrente medida pelo equipamento ser diferente do caso sem GD, no qual influencia diretamente ao valor da impedância aparente do curto-circuito vista pelo relé. Para ilustrar este cenário, apresenta-se, a Figura 19, os sinais de correntes para uma falta AT situada a 20%, 40%, 60% e 80% da linha (casos 1, 11, 31 e 41, respectivamente).

Figura 19: Correntes medidas pelo relé para os casos sem GD.



Fonte: Autor, 2019.

Na maioria dos casos, conforme apresentado nas Tabelas 4 e 5, as zonas de atuação da proteção foram estimadas de maneira correta, embora o algoritmo de localização tenha afetado a exatidão do local do curto-circuito.

Os casos 41, 42 e 43, que correspondem as faltas monofásicas, simuladas a 80% da linha, sofreram maiores impactos, visto que suas proteções atuaram em zonas de proteção distintas. Mesmo se tratando de um local instável quanto a atuação do relé, a diferença entre a localização do curto-circuito estimado ao local correto apresentou um erro acima de 10%, podendo comprometer os demais equipamentos do SEP devido a atuação incorreta da proteção, como por exemplo, a segunda zona operando de maneira temporizada, fazendo com que o distúrbio permaneça por mais tempo no SEP, podendo comprometer, assim, a integridade dos equipamentos. Além disso, o erro considerável na localização estimada pode fazer com que equipes de manutenção das empresas sejam deslocadas para pontos distantes de onde a falta realmente ocorreu, levando-se, dessa forma, mais tempo para realização de manutenções da área defeituosa.

Portanto, conforme apresentado ao longo deste trabalho, a GD surgiu da necessidade do crescimento na geração de energia elétrica, porém, uma análise criteriosa a respeito dos impactos no sistema de proteção se faz necessária, afim de tornar o SEP mais eficiente, evitando, desta forma, interrupções desnecessárias do fornecimento de energia. Sendo assim, fica evidente que a inserção de GD ao longo de um SEP pode vir a afetar o desempenho de funções de proteção e localização de

faltas, de modo que estudos minuciosos acerca de sua implantação devem ser realizados previamente, indicando a necessidade de revisões nos parâmetros do sistema de proteção em relação aos esquemas convencionais, caso os mesmos já se encontrem instalados nas subestações.

5 CONCLUSÕES

Com o crescimento do consumo de energia elétrica, as fontes de energia renováveis vêm recebendo cada vez mais destaques. Apesar das vantagens da conexão da GD no sistema elétrico, essa forma de geração traz grandes desafios, principalmente relacionados à proteção do SEP. O novo cenário afeta a topologia do sistema elétrico, pois o fluxo de potência deixa de ser unidirecional e passa a ser bidirecional, podendo afetar, deste modo, os dispositivos de proteção utilizados.

Nesse trabalho foram estudados os impactos relacionados ao desempenho de funções de proteção devido a inserção de GD ao longo de sistemas elétricos. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o desempenho da função de proteção de distância pode ser afetado na presença da geração distribuída, levando a erros maiores também por parte da função de localização de faltas, devido as alterações nas amplitudes dos sinais medidos.

Os casos mais críticos foram obtidos para faltas situadas próximas ao limite de primeira zona de proteção, de modo que diferentes zonas de atuação foram estimadas com a presença de GD, além de erros consideráveis na etapa de localização de distúrbios, que pode vir a retardar possíveis atividades de manutenção por parte das equipes das concessionárias de energia.

Portanto, com o aumento da conexão da GD, faz-se necessário revisões nos ajustes dos parâmetros de dispositivos de proteção, a fim de cumprir os requisitos básicos do sistema elétrico de proteção, tais como: confiabilidade, seletividade, segurança, sensibilidade e rapidez.

Para a realização de trabalhos futuros na área é proposto:

- Análises similares às investigadas neste trabalho, porém levando-se em consideração modelos reais da GD com fontes renováveis;
- Utilização de um sistema com maior número de barras;
- Avaliar o desempenho de diferentes algoritmos de localização de curtos-circuitos, inclusive com o uso de dados de dois terminais monitorados da linha de transmissão;
- Avaliar o desempenho da função de proteção de distância polarizada, uma vez que a mesma apresenta uma característica que varia dinamicamente.

REFERÊNCIAS

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica **Geração Distribuída**. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>> Acesso em: 28/06/2019.

Antonova, G.; Nardi, M.; Scott, A.; and Pesin, M. "**Distributed generation and its impact on power grids and microgrids protection**," *2012 65th Annual Conference for Protective Relay Engineers*, 2012, pp. 152-161, doi: 10.1109/CPRE.2012.6201229. Disponível em: https://na.eventscloud.com/file_uploads/7033cd282e2d665d28de7c0ea24d451a_ant_pap.pdf Acesso em: 16/06/2019.

ANTUNES, Vitor. **Análise do Impacto da Inserção da Geração Distribuída na qualidade da Energia Elétrica em uma Microrrede de Baixa Tensão**. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Engenharia de Energia – Universidade de Santa Catarina, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/171515>. Acesso em: 20/06/2019

Artritt R. F. and Dugan, R. C. "**Distributed generation interconnection transformer and grounding selection**," *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 2008, pp. 1-7, doi: 10.1109/PES.2008.4596772. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4596772?denied=>. Acesso em: 10/06/2019

ASHWINI. D. Udgave and. Jadhav, H. T "**A review on Distribution Network protection with penetration of Distributed Generation**," *2015 IEEE 9th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)*, 2015, pp. 1-4, doi: 10.1109/ISCO.2015.7282387. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7282387>. Acesso em: 10/09/2019

BENEDITO, R. A. S. **Apostila: Gestão de Energia e Operação de Sistemas Elétricos de Potência**. Disponível em <<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/raphaelbenedito>>. Acesso em: 15/06/2019.

BORÉM, Luiz Eduardo de Paula; VASCONCELOS, Rafael Andrade. **Análise do Impacto da Geração Distribuída na Estabilidade Transitória**. 62f Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, 2016. Disponível em: <https://fga.unb.br/articles/6872/TCCultversaoLuizeRafael.pdf>. Acesso em: 20/06/2019

CAMPOS, Alana Kelly Xavier Santos. **Um Método Preciso de Estimação Fasorial: Uso na Proteção de Distância**. 173f. Tese (Doutorado)- Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande, 2016. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/371234713/Um-Metodo-Preciso-de-Estimacao-Fasorial-Uso-na-Protecao-de-Distancia>. Acesso em: 19/06/2019

CARVALHO JÚNIOR, Edvaldo. **Geração Distribuída: Uma Revisão Bibliográfica das Formas de Acesso e dos Impactos na Proteção**. 67f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2017. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/3712458/Geracap-Distribuida-Uma-Revisao-Bibliografica-das-Formas-de-Acesso-e-dos-Impactos-na-Protecao>. Acesso em: 15/06/2019

CELI, Renata. **Crise do Petróleo: o que foi, fases e consequências**. Disponível em: < <https://www.stoodi.com.br/blog/2019/04/16/crise-do-petroleo-o-que-foi/> > Acesso em: 28/06/2019.

COSTER, E.; MYRZIK, J.; KLING, W. **Effect of DG on distribution grid protection**. [S.l.]: INTECH Open Access Publisher, 2010.

DULAU, Lucian Ioan. **Effects of Distributed Generation on Electric Power Systems**. In: **The 7º International Conference Interdisciplinarity in Engineering**, 2013, Romania. Disponível em: <https://pdf.sciencedirectassets.com/282073/1-s2.0-S2212017314X00022/1-s2.0-S2212017313007342/main.pdf>. Acesso: 15/06/2019

GIULIANI, Eduardo. **Análise da Influência da Geração Distribuída na Proteção de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. 48f. Trabalho de Conclusão de

Curso (Graduação)- Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/16011>. Acesso: 20/06/2019

GUZMÁN, A.; KASZTENNY, B.; TONG, Y.; MYNAM, M. V. **Accurate and economical traveling-wave fault locating without communications**. *In: 2018 71st Annual Conference for Protective Relay Engineers (CPRE)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–18. ISSN 2474-9753. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8349768> . Acesso: 20/06/2019

HADJSAID, N.; CANARD, J. F.; DUMAS, F. **Dispersed generation impact on distribution networks**. *In: IEEE Computer Application in Power*, v. 12, p. 22–28, 1999, New York. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/755642>. Acesso: 20/06/2019

HUSSAIN, B.; SHARKH, S. M.; HUSSAIN, S.; ABUSSARA, M. A. **An adaptive relaying scheme for fuse saving in distribution networks with distribution generation**. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 28, p. 1–9, 2013. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6450138>. Acesso: 20/06/2019

INEE- Instituto Nacional de Eficiência Energética. **O que é Geração Distribuída**. Disponível em: < http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp > Acesso em: 28/06/2019.

SAHA, M. M.; IZYKOWSKI, J.; ROSOLOWSKI, E.; **Fault Location on Power Networks**. Polônia: Springer, 2010. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=CCE8Bm5kpKIC&printsec=frontcover&source=gbs_vpt_read#v=onepage&q&f=false. Acesso: 23/06/2019

KARNIKOWSKI, Douglas de Castro. **Análise da Estabilidade de Pequenas Centrais Hidrelétricas em Operação Isolada**. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)- Universidade de Santa Maria, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/8588>. Acesso: 20/06/2019

LEITÃO, J.J. A. L.; REIS, R. L. A.; LIRA, M. M. S.; BRASIL, D. O. C.; RIBEIRO, P. F. **Challenges with New Renewable Energies Integrated to a Hydroelectric-Based System Under a Large Disturbance Event - The Brazilian Northeast Case.** *In:* Symposium Aalborg, 2019, Denmark. Disponível em: https://e-cigre.org/publication/SYMP_AAL_2019-symposium-aalborg-2019. Acesso: 16/06/2019

LEUVEN EMTP CENTER, **ATP - Alternative Transients Program: Rule Book.** Heverlee, Belgium, July 1987. Disponível em: [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjct55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=67302](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjct55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=67302). Acesso: 15/06/2019.

LO, C.-H.; ANSARI, N. (2012). **The progressive smart grid system from both power and communications aspects.** *In: IEEE Communications Surveys Tutorials*, 14(3):799–821. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5989902>. Acesso: 20/06/2019.

LOPES, Yona; FERNANDES, N. C.; MUCHALUAT – SAADE, D. C. **Geração Distribuída de Energia: Desafios e Perspectivas em Redes de Comunicação.** 55f Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica)- Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal Fluminense, 2015. Disponível em: <https://sbrc2015.ufes.br/wp-content/uploads/Ch2.pdf>. Acesso: 20/06/2019

MAMEDE, João Filho. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência.** Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MOORE, Andrew T. **Distributed Generation (DG) Protection Overview.** *In: Xplore IEEE EEEIC18 and I&CPS Europe*, 2008, Italy. Disponível em: <https://www.eng.uwo.ca/people/tsidhu/Documents/DG%20Protection%20V4.pdf>. Acesso: 20/06/2019

NUNES, Mauro Teixeira Lemos. **Impacto da Localização de Geração Distribuída nos Dispositivos de Proteção de um Sistema Elétrico.** 56f. Trabalho de

Conclusão de Curso (Graduação)-Engenharia de Energia. Universidade Federal do Pampa, 2017. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/handle/riu/2711>. Acesso: 15/06/2019

ONS- Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Geração de Energia**. Disponível em:<http://ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx > Acesso em: 03/07/2019.

PESSOA, L. L. da S. **Impactos Provocados pelos Afundamentos de Tensão em Redes Elétricas com Geração Distribuída**. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Elétrica) -Universidade Federal de Pernambuco, 2016.Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/27851>. Acesso: 15/06/2019.

PHADKE, Arun G.; HOROWITZ, Stanley H..**Power System Relaying**. New York: Wiley, 2008.

RAHMAN, Shah; DAS, Byomakesh. **Impact of Distributed Generation on Power System Protection**. *In: 2017 International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)*, 2017, India. Disponível em: https://www.academia.edu/34371167/Impact_of_Distributed_Generation_on_Power_System_Protection. Acesso:15/06/2019

RIBEIRO, Jean Marcos de Souza. **Apostila :Sistema de Distribuição**. Disponível em:<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaelettrica/apostila_sdee_01.pdf> Acesso em: 03/07/2019.

SANTOS, Gabriel B.; LOPES, F. V.; REIS, A. **Review of Technical Impacts and Concerns Caused by Distributed Generation in Distribution Systems Protection**. *In: Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE)*, 2018, Niteroi, Brasil. Disponível em: <http://toc.proceedings.com/39830webtoc.pdf>. Acesso:15/06/2019.

SANTOS, Vanessa Alves dos. **Proteção de Distância Aplicada a Linhas de Transmissão em Circuito Duplo**. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Pós-Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2007092602.pdf>. Acesso: 10/06/2019.

SIEPE- SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO- **Impactos no Sistema de Proteção Causados pela Inserção de Geração Distribuída**. Fronteira da Paz, 2017. Disponível em: https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/14117/seer_14117.pdf. Acesso: 10/06/2019

SILVA, Kleber Melo. **Estimação de Fasores Baseada na Transformada Wavelet para Uso na Proteção de Distância de Linhas de Transmissão**. 203f. Tese (Doutorado)- Departamento de Pós-Graduação, Universidade Federal de Campina Grande, 2009. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/3267>. Acesso: 15/06/2019

SUJO, G.; ASHOK, S.; BANDYOPADHYAY, M. N. **Impact of Distributed Generation on Protective Relays**. In: **International Conference on Renewable Energy and Sustainable Energy**, 2013, India.

SWAGATA DAS; SANTOSO, S.; GAIKWAD, A.; PATEL, M.. **Impedance-Based Fault Location in Transmission Networks: Theory and Application**. IEEE Access 2169-3536, v. 2, n 14347724, maio/2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333856242_Impact_of_Distributed_PV_Generation_on_Relay_Coordination_and_Power_Quality Acesso: 15/06/2019

VIEIRA JÚNIOR, C. M. **Metodologias para ajuste e avaliação do desempenho de relés de proteção anti-ilhamento de geradores síncronos distribuídos**. 207f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/260506>. Acesso: 15/06/2019

YAMAUTI, K.; BAZZO, F.; DONADON, A. R.; CAMARGO, J. C.; TEIXEIRA, M. D.; BLOCK, P. A. B.; LÓPEZ- SALAMANCA, H. L. **Impactos da Conexão de Sistemas Fotovoltaicos na Proteção de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica.** CPFL, 2015. Disponível em: <https://docplayer.com.br/57309426-Impactos-da-conexao-de-sistemas-fotovoltaicos-na-protecao-de-sistemas-de-distribuicao-de-energia-eletrica.html>. Acesso: 10/06/2019

ZAYANDEHROODI H; MOHAMED, A.; SHAREEF, H.; MOHAMMADJAFARI, M. **An Overview of Protection Coordination Methods in Distribution Network with DGs.** *In: International conference electrical energy and industrial electronic systems*, 2009, Malaysia. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/235698107_An_Overview_of_Protection_Coordination_Methods_in_Distribution_Network_with_DGs. Acesso: 15/06/2019.

ZAYANDEHROODI, Hadi; MOHAMED, A.; SHAREEF, H.; MOHAMMADSJAFARI, M.. **Impact of distributed generations on power system protection performance.** *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 6(16), pp. 3999-4007, 18 August, 2011. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/IJPS/article-full-text-pdf/335A23D25503>. Acesso em: 10/06/2019