Análise de Identificação e Estimação das Regiões de Faltas em MT: Uma Contribuição a Plataforma SmartLVGrid

Daniel Sousa da Silva*
Lennon Brandão Freitas do Nascimento**
Rubens de Andrade Fernandes**
Raimundo Cláudio Souza Gomes** Israel Gondres Torné**

* Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, SC (e-mails: dass.eng@uea.edu.br)

 ** HUB:Inovação e tecnologia, Universidade do Estado do Amazonas, AM

 $(e\text{-}mail:lbfn.eng@uea.edu.br,rdafr.eng@uea.edu.br,rsgomes@uea.edu.br\\,igondrest@gmail.com)$

Abstract: This article aims at analyzing the implementation of the identification and estimation of the faults regions in medium voltage in order to contribute to the SmartLVGrid platform. For this purpose the system architecture for an unbalanced distribution system is elaborated and the results are represented with an human machine interface. Through the communication provided it is a high infrastructure capable of monitoring the proposed system for the identification of faults through the reference voltage of each branch and the decision making of the estimation is made with the help of the system's smart circuits. The architecture validation is done through a simulation that applies a three-phase fault to identify and estimate the medium voltage fault regions.

Resumo: Este artigo tem o objetivo de analisar a implementação da identificação e estimação das regiões de faltas em média tensão com objetivo de contribuir para a plataforma SmartLV-Grid. Para isso é elaborado a arquitetura para um sistema de distribuição desequilibrado e os resultados são representandos com uma interface homem máquina. Através da comunicação proporcionado é uma alta infraestrutura capaz de monitorar o sistema proposta para a identificação de faltas por meio da tensão de referência de cada ramo e a tomada de decisão da estimação é feito com o auxílio dos smart circuits do sistema. A validação da arquitetura é feita através de uma simulação que aplica uma falta trifásica para identificação e estimação das regiões de faltas em média tensão.

Keywords: Identification; estimation; faults regions; média tensão; humam machine interface; smart circuits; SmartLVGrid.

Palavras-chaves: Identificação; estimação; região de falta; medium voltage; interface homem máquina; circuitos inteligentes; SmartLVGrid.

1. INTRODUÇÃO

A convectividade entre os vários equipamentos do Sistema Elétrico de Potência (SEP) possibilitada pelos adventos da quarta revolução industrial, torna viável a realização de redes inteligentes ou *smart grids*, de modo a agregar tecnologias, ferramentas e técnicas para a rede elétrica existente (Singh,2016). Isto possibilita melhor desempenho do sistema com automação, processamento computacional distribuído, comunicação e controle eletrônico (Nascimento,2019). Por conta deste contexto, há necessidade de inserir estas funcionalidades nas redes de distribuição, porém grande parte do sistema atualmente não possui conexão com a internet. Mais da metade dos dispositivos do sistema não se comunicam dados entre si ou com as tecnologias de armazenamento (Al-Fuqaha et al.,2015). Devido a complexidade do sistema elétrico atual, é ne-

cessária a utilização de uma ferramenta para que essas tecnologias citadas se integrem ao mesmo. Para contornar essa problemática, a plataforma SmartLVGrid descreve uma estratégia, uma estrutura e um conjunto de protocolos aplicados à convergência Smart Grid da rede de distribuição de baixa tensão a partir da adaptação dos circuitos legados que a compõem e também através da técnica do retrofit proposta pelo modelo (Souza Gomes et al.,2017a). Apesar do estado da arte conter diversos estudos relacionados a aplicação de medidores inteligentes (smart meters) para isso, muito deles limitam-se na utilização de medidores em pontos específicos junto com indicadores de faltas para propor a identificação e localização da falta de forma eficiente. Entre eles, Vizzotto (2019) utiliza indicadores de faltas na MT com rede de comunicação de longo alcance como forma de melhorar índices de confiabilidade do sistema, enquanto Vieira (2018) também utiliza de

indicadores de faltas e uma medição próxima a subestação elétrica (SE) de fornecimento para encontrar o desvio de tensão durante a falta para identificar o local da falta. Porém, estes trabalhos não abrangem ou compõem um modelo maior para outras aplicações essenciais e possíveis num contexto de SmartGrids, sendo soluções específicas. Ao observar essa limitação, verifica-se a necessidade de trabalhos que busquem aproveitar aspectos destas pesquisas para modelos mais completos. Desta forma, busca-se contribuir com uma abordagem para detecção de regiões de falta da MT a partir de recursos disponibilizados pelo SmartLVGrid. Essa abordagem se torna uma alternativa para métodos que propõem dispositivos específicos de indicadores de faltas, já que o modelo SmartLVGrid engloba pontos físicos que possibilitam a aquisição de informações e atuações no sistema e favorecimento dessas detecções (Souza Gomes et al.,2017b).

Neste artigo, propõe-se a elaboração de um sistema composto por uma alta infraestrutura que trata a comunicação e coordenação dos *smart circuits* para detectar e estimar as regiões de faltas permanentes em Média Tensão (MT). A alta infraestrutura permite a análise pós-operativa das faltas e, consequentemente, identificação dos ramos prejudicados e estimativa das regiões das faltas. Esta arquitetura é validada por meio de uma simulação em um sistema teste de distribuição para verificar propostas de seu funcionamento. Nesta simulação, usa-se as maiores variações de tensão de cada ramificação do circuito para identificar as regiões de falta. Outras técnicas podem ser consideradas por ser tratar de arquitetura conceitual (Abrão, 2020). Isto é realizado com o intuito de utilizar uma funcionalidade do modelo SmartLVGrid para que possa se aproveitar as camadas por ele propostas. Portanto, a proposta é elaborar uma arquitetura através de meios de comunicação e identificação de faltas em MT para aplicação da plataforma SmartLVGrid utilizando alguns de seus recursos. Conjuntamente, é realizado a validação da arquitetura em uma simulação das funcionalidades plataforma em relação a identificação e localização de faltas na MT em redes elétricas de distribuição.

2. SMARTLVGRID

O momento atual em que os avanços tecnológicos ocorrem com grande velocidade, verifica-se que os sistemas existentes de diversas especialidades se tornam obsoletos rapidamente. Tendo isso em vista, surge a necessidade, na maioria dos casos, uma mudança ou troca integral dos deles. Em muitos casos isso é uma maneira viável para atualização e melhora dos recursos que os integram. Todavia, isso nem sempre é possível. O Sistema elétrico é um exemplo evidente onde há a impossibilidade de substituição integral. Souza Gomes et al. (2017a) Visando suplantar esse problema, o framework SmartLVGrid - SmartLowVoltageGrid é um modelo que descreve a forma, a hierarquia e um conjunto de protocolos para convergência tecnológica de uma rede de distribuição de baixa tensão para uma SmartGrid, a partir da adaptação dos circuitos legados que estão em sua composição. Para realizar isso, o framework utiliza a técnica de retrofit que é parte fundamental de sua concepção e o torna implementável (Nascimento, 2019).

A Figura 1 mostra a estrutura em camadas do framework que conta com um nível local e um nível central. O nível

central é fisicamente a região nas proximidades da concessionária de energia elétrica em contraponto ao nível local que está próximo ao consumidor final. Haja vista a distância geográfica, esses níveis realizam a troca de informações por meio de uma Interface de Rede Metropolitana (IRM).

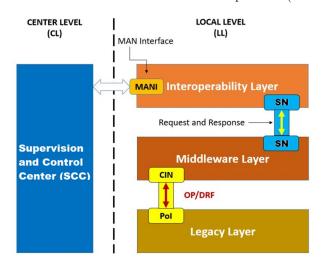


Figura 1. A pilha SmartLVGrid

No Nível Local há pontos considerados fundamentais para o framework. Eles são denominados de pontos de interface (PoI) que são estritamente físicos, estão sob a estrutura legada e possuem a finalidade de conectar o sistema existente com as camadas da pilha SmartLVGrid. A partir disso, é possível a aquisição de informações e as atuações sobre o sistema.

2.1 SmartLVGrid - Camada de Middleware

A visão em camadas de um sistema possui um fator fundamental que consiste na interface entre os diferentes níveis. Para o framework SmartLVGrid não é diferente. Para o entendimento do camada de middleware, é necessário entender o sua ligação com a camada logo abaixo que é a camada legada. A camada Legada representa toda a estrutura existente por esse motivo o nome Legada. Para os sistemas de baixa tensão são os transformadores e a própria rede de distribuição. Nessa camada legada existem pontos de interfaces estratégicos para a realização da intervenção por parte do sistema. O transformador é um exemplo de um ponto de interface. A partir desse ponto de interface a camada de *middleware* pode ser acoplada no sistema legado. Nessa camada estão os processos com nível mais baixo da plataforma que são realizados por um dispositivo compostos por sensores e atuadores de acordo com suas aplicações. Esses dispositivos são denominados Automation and Comunication Unit (ACU) e suas funcionalidades são chamadas de Primitivas Operacionais que dependerão da camada legada que será acoplada.

A Figura 2 mostra representação do diagrama de blocos do modelo genérico de ACU. Como características de entrada e saída, podem ser observadas as portas mais à esquerda: In/Out, Get e Run; Em adição à isso, observa-se a composição interna de um ACU que por sua vez, enseja atuação, sensoriamento, armazenamento, processamento e comunicação. A comunicação pode ocorrer em uma escala local caracterizando uma Local Area Network (LAN) ou uma

Metropolitan Area Network (MAN). Esses componentes internos dependem tanto do domínio de associação e nível de controle/monitoramento quanto da função designada a ela na camada de interopelabilidade (Souza Gomes et al., 2017a; Nascimento, 2019).

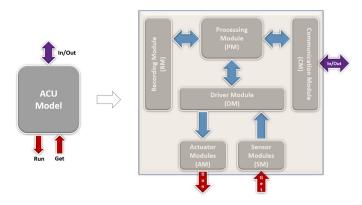


Figura 2. Estrutura e composição da ACU

A cerca das funções a serem desempenhadas pelas portas supracitadas, a porta Get realiza a leitura de variáveis definidas de acordo com a localidade de sua instalação, com a finalidade de medição dos respectivos valores e detecção de violações dos limites de operação ou quaisquer eventos em disparidade com o esperado, enquanto a porta Run é utilizada para atuação no sistema.

2.2 SmartLVGrid - Camada de Interoperabilidade

A camada de interoperabilidade utiliza recursos e se relaciona com a camada localizada logo abaixo que é a de middleware. As ACUs localizados nessa camada citada são dispositivos que estão espalhados pelo sistema com funcionalidades que estão de acordo com o local onde estão instaladas. Dessa forma, existem ACUs com diferentes recursos que devem obedecer uma hierarquia para o correto funcionamento do sistema. Tendo isso em vista, a camada de Interoperabilidade realiza essa organização lógica onde regras, critérios e infraestrutura são estipulados para que essa conexão sistemática ocorra entre as ACUs. Isso possibilita que os serviços e interações entre objetos propostos pela plataforma de forma eficiente. A figura 3 ilustra a forma que ocorre essa estruturação.

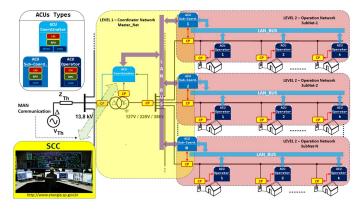


Figura 3. Estrutura e composição da ACU

Posto isso, o modelo estipula redes de duas naturezas: puramente operacional e de coordenação. Como é observado

na figura 3, a rede puramente operacional é composta pelos operadores ou operators e seu respectivo subcoordenador ou sub-coordinator. Em razão da natureza operacional essa rede é também denominada de Rede Escrava, do inglês Slave Net. Essa rede é a responsável pela atuação direta no sistema por meio das primitivas operacionais. O coordenador, ou coordinator, em conjunto com os subcoordenadores, formam outra rede cuja finalidade é a coordenação e, por essa razão é chamada de Rede Mestre ou Master Net. A Mestre monitora e supervisiona todos os outros elementos do sistema. A Rede Escrava localiza-se hierarquicamente abaixo da Rede Mestre, sendo a primeira subordinada à segunda. Vale ressaltar que apesar de existir uma rede hierárquica no sistema, os operators podem atuar com seus serviços de forma independente. Entretanto, podem executar operações de controle de acordo com a necessidade de hierarquias maiores.

3. METODOLOGIA

A arquitetura é elaborada dentro da plataforma SmartLVGrid para a identificação e localização das regiões de faltas na MT. Nisto, é estabelecido a estrutura e regras de comunicação entre os $smarts\ circuits$.

A simulação para validar o método é feita através do sistema teste de distribuição com determinadas técnicas e tecnologias especificadas para validação do *framework* conceitual. Assim analisa-se determinados casos pós-operativos de faltas permanentes e a coordenação entre os *smarts circuits* no auxílio identificação e localização das regiões de faltas.

Os recursos disponibilizados para a simulação por meio do framework SmartLVGrid consistem na estrutura de comunicação proposta entre os postos transformadores e as medições de parâmetros elétricos neles realizadas. O modelo do sistema de distribuição e as faltas simuladas foram realizadas no software ATP (Alternative Transient Program) para posteriormente o processamento dos dados no software MatLab, o método de identificação de faltas e determinação da região de localização de falta baseia-se na variação da tensão de referência RMS (Root Mean Square), ou seja, considerando para uma operação padrão da tensão são analisados os valores RMS para determinação de uma ocorrência de falta, basicamente a partir da análise a tomada de decisão da estimação da região de falta é muito próximo ao método da árvores de possibilidades. O cálculo da tensão RMS utilizado corresponde a Equação 1 para 4 ciclos.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} V_n^2}$$
 (1)

Enquanto, os resultados da comunicação provenientes da coordenação e troca informação entre os *smarts circuits* são apresentados numa Interface Homem Maquina (IHM) realizada no software $Lab\,View$. A partir desta simulação, busca-se analisar e explanar possibilidades das comunicações dos *smarts circuits* para aplicações de localizações das regiões da faltas na MT.

3.1 Sistema de distribuição da simulação

O sistema de distribuição teste UFSC-16 nós (Bolacell et al.,2018) utilizado na simulação, é adaptado conforme a Figura 4 para a utilização dos *smarts circuits* para as funcionalidades do *framework* conceitual. Este sistema teste apresenta configuração próxima de um sistema real por conta da organização das cargas serem desbalanceadas e seus trechos variam de monofásico até trifásico. Para o estudo exclui-se o regulador de tensão no ramo 3-10 e acrescentou-se transformadores para distribuição em todos os ramos secundários para tensões americanas padrões, no caso a relação dos trafos é 24900D/480Y.

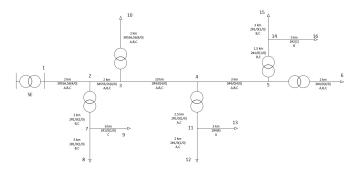


Figura 4. Sistema UFSC-16 nós

Os dados e a modelagem das cargas são dados conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Cargas do Sistema UFSC-16.

| | | Fase A | | Fase B | | Fase C | |
|----|--------|--------|-------|--------|------|--------|------|
| Nó | Modelo | kW | kVAR | kW | kVAR | kW | kVAR |
| 6 | Y-PQ | 80 | 30 | 105 | 75 | 90 | 54,5 |
| 8 | D-Z | 0 | 0 | 10 | 5,8 | 0 | 0 |
| 9 | Y-I | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,50 | 1,45 |
| 10 | D-PQ | 275 | 174,5 | 237 | 130 | 230 | 120 |
| 12 | Y-Z | 5 | 2 | 0 | 0 | 10 | 6 |
| 13 | Y-Z | 5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | Y-I | 0 | 0 | 20 | 13 | 9,5 | 4,6 |
| 16 | Y-PQ | 0 | 0 | 3,5 | 2 | 0 | 0 |

3.2 Simulação

Na simulação, a falta simulada é considerada interrupções sustentas, ou seja a duração maior que 1 min para a variação da magnitude de tensão tende a zero conforme Bolacell et al. (2018) para resistência de falta usada é 5 Ω . O intuito da simulação consiste em demonstrar que a partir da alta infraestrutura torna-se possível analisar as consequência dos ramos de um sistema de distribuição para a identificação e localização das regiões de falta proposta pela pesquisa.

4. COMPOSIÇÃO E FUNCIONALIDADES DA ARQUITETURA

A arquitetura tem o objetivo de especificar características essenciais para a implementação de um sistema de distribuição de média tensão que se utiliza de recurso do framework SmartLVGrid. A arquitetura exporá que a união da distribuição na média com o referido framework possibilitará detecção e estimação das regiões de faltas.

Para isto são estabelecidas características de comunicação para o auxílio desta funcionalidades. A figura 5 mostra em linhas gerais a utilização do *SmartLVGrid* para a aquisição e a disponibilização desses dados para um centro supervisório.

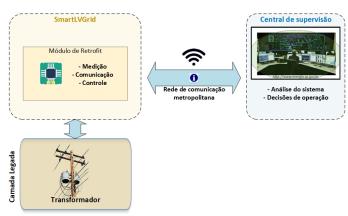


Figura 5. SmartLVGrid como estrutura de informação para Média Tensão

As medições dos parâmetros elétricos nesse sistema serão realizados na BT conforme descrito nas seções anteriores. Ao observar a figura 5, nota-se que elas ocorrerão nos terminais do transformador correspondente ao Pontos de Interfaces que receberão os módulos de retrofit preconizadas pelo framework. Por meio desse ponto de medição é possível obter dados de tensão e corrente e a partir da relação de transformação do transformador, obtém-se a medição referente a MT em tempo real. Tendo isso em vista, percebe-se que as informações adquiridas na BT pelo SmartLVGrid possibilitam recursos à MT.

Em adição, também visualizado na 5 esses módulos de retrofit capazes adquirir dados do sistema legado, traz em sua composição também o aspecto da comunicação em rede. Isso possibilita com que as informações dos transformadores cheguem até o sistema supervisório auxiliando nas tomadas de decisão por parte da concessionaria de energia. A descrição supracitada mostra a camada legada e a camada de *middleware* conforme direciona o *SmartLV-Grid*.

Ao se tratar da camada lógica que corresponde à interoperabilidade, é possível classificar esses transformadores em coordenadores ou coordinators, visto que para a arquitetura proposta, foi considerado que o transformador já consta como elemento mais próximo do consumidor final, não havendo a necessidade de subcoordenadores ou subcoordinators. Dessa forma, o coordenador assume o papel de supervisionar e monitorar todos os elementos localizados hierarquicamente abaixo denominados operadores ou operators. A figura 6 já mostra a arquitetura final proposta nesse trabalho tomando como referência a análise da perspectiva do lado da Média.

A partir dessa estrutura dotada sistema de aquisição de dados e comunicação em rede, torna-se possível analisar as variações de tensões e correntes que caracterizam faltas no sistema. A caracterização das faltas é feito para variações de tensão e corrente em referências a condição de normalidade para uma carga fixa.

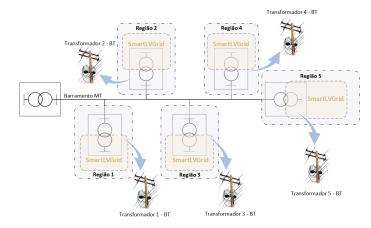


Figura 6. Arquitetura do sistema

Então são estabelecidas as regiões, conforme visto na figura 6, de monitoramento que corresponde a cada ramo lateral. Desta forma pela comunicação de todos os coordenadores (transformadores) com o sistema supervisório visualizado na figura 7, é possível o gerenciamento centralizado de faltas na arquitetura. Isso possibilita análise do fator de impacto ao estado normal do sistema por detecção da falha em cada nó da rede (Moridi et al.,2020). Devido às ocorrências em cada nó que representa um ramo lateral do sistema radial, cada nó envia o dado e a oscilografia resultante da medição, determina-se qual ramo foi mais atingido e logo tem-se a região (ou ramo lateral) de ocorrência da falta, sendo eventual a identificação da ocorrência em ramos centrais por conta das condições dos ramos laterais, já que a alta infraestrutura da arquitetura tem monitoramento completo do sistema.

5. SIMULAÇÃO

Na simulação é aplicada uma falta trifásica simétrica de 5 Ω nos terminais de MT da região 5. A partir disto a IHM representada pela Figura 7 identifica uma região de falta simbolizada conforme a sua legenda e referenciando seus valores de tensão e corrente medidos. E no auxílio e maior visualização dos dados a interface exibe em gráficos as oscilografias da tensão e corrente, porém para melhor visualização nesta pesquisa são exibidas em figuras separadas.

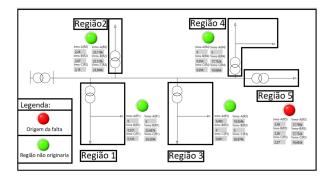


Figura 7. Interface.

A identificação da região de falta é feita a partir das condições padrões de operação de cada região. A referência para a identificação da falta é feita principalmente a partir da tensão de linha que no momento do curto ocorre a diminuição desta referência e assim há ocorrência da falta. Corresponde a tensão de linha de 24900 VRMS como referência para a identificação.

Devido aos pontos de medições estarem localizados na BT dos trafos, com o acontecimento de uma falta na MT, haverá a diminuição da tensão e corrente mensurados, pois a referência aferida está localizada após o acontecimento do evento. Assim, basicamente por conta desse princípio, torna-se factível a ocorrência do evento para a identificação da falta. No entanto, observa-se que está análise é válida para faltas sustentadas, pois para falta momentâneas não é possível identificar tal evento apenas com a tensão medida do ramo, já que maior parte desse tipo de ocorrência motivadas por faltas de alta impedância, são feitas através da análise de técnicas de processamento como transformada wavelet de Souza (2019).

Como também, a resistência da falta tem fator bastante importante nesta análise. Ou seja, quanto menor a resistência de falta, mais próximo de um curto ideal é a falta, já que menor será a queda de tensão no circuito equivalente da falta. E quanto maior a resistência de falta, maior será a queda de tensão e a tensão medida, logo dificultando a identificação do evento. Desta forma, ao invés de usar um valor mais próximo de um caso ideal que é a resistência de falta próximo de zero, utilizou-se o valor intermediário de 5 Ω que também não corresponde ao caso de falta de alta impedância, sendo possível a identificação da falta sustentada apenas pela variação RMS de tensão.

As regiões que maior apresentam diminuição da tensão são a 4 e 5. Especificamente a ocorrência não poderia ser na 4, pois caso fosse a fase A da região 5 não teria diminuição tão acentuada como ocorreu. Desta forma, a tomada de decisão é que a ocorrência é trifásica na região 5, já que todas as fases obtiveram redução efetiva da tensão de referência. E outro aspecto que tem grande influência na decisão é a relação da ocorrência de faltas em determinados ramos para outros, na análise em questão, isto deve-se, principalmente, aos valores tensão nas regiões 1 e 2 estarem mais próximo das tensões de referência, assim pode determina-se a região de ocorrência mais provável corresponde a região 5. Vale ressaltar que esta estimação torna-se válida devido a coordenação de dados dos PoI, já que se pode avaliar os outros ramos do sistema. Além disso, é interessante destacar também que caso a ocorrência fosse múltipla nessa situação tanto na região 4 como na região 5, as outras regiões teriam maior diminuição do Vrms.

Esta análise torna-se válida para faltas simples, a execução de múltiplas faltas em diferentes ramos faria e seria necessários métodos mais complexos para determinar a localização da região de falta. Pois, apesar da análise ser efetiva para este caso, sistemas de distribuição desequilibrados como esse não tem comportamento tão simples para múltiplas faltas. No entanto, há varias situações que o método aplicado pode ser utilizado, por exemplo, uma falta aplicada no ramo principal, já que pelas medições e comunicação realizadas nos ramos laterais poderia ser facilmente localizado a região que ocorreu a falta no ramo principal.

Conforme a Tabela 2, descrita anteriormente, a região 5 de falta é a região mais afetada, pois apresenta a

maior variação nas três fases em relação a outra regiões para a falta trifásica aplicada, sendo 21,58% e 22,08%, respectivamente, para as fases A e B e 20,50 % para a fase C. Já a fase menos afetada que é a região 1 que é a mais distante do ponto de origem da falta, apresenta 2,79 % para a fase B e 2,74 % para a fase C.

Tabela 2. Variações devido a falta na MT da região 5.

| Região | $\Delta V_A(V)$ | $\Delta V_B(V)$ | $\Delta V_C(V)$ | $\Delta V_A(\%)$ | $\Delta V_B(\%)$ | $\Delta V_C(\%)$ |
|--------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | - | 1232,96 | 570,80 | - | 2,79 | 2,74 |
| 2 | 1784,23 | 2775,25 | 1310,93 | 4,85 | 6,26 | 6,39 |
| 3 | 5975,65 | - | 4025,70 | 16,05 | - | 17,39 |
| 4 | - | 7167,82 | 5214,06 | - | $21,\!58$ | 22,06 |
| 5 | $7101,\!41$ | 7168,05 | 5214,73 | 20,50 | $21,\!58$ | 22,07 |

A IHM conforme mencionado anteriormente, também possibilita a visualização das oscilografia das ocorrências, porém em interfaces diferentes. A análise das características da falta para melhor elucidação é feitas pelas Figuras 8, 9 e 10. Por conta das oscilografias, observa-se que não houve perda de fase ou variação de frequência, pois a corrente de falta e corrente do sistema estão em fase devido a falta ser puramente resistiva.

A região 1 conforme a Figura 8 representa comportamento pouco afetado pela falta trifásica da região 5. Pela oscilografia desta figura, observa-se que não houve redução acentuada na amplitude da tensão e corrente. É evidente que está região encontra-se distante do evento.

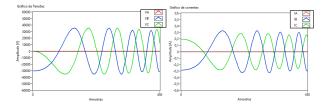


Figura 8. Oscilografia da região 1.

A Figura 9 diferente da Figura 10, já mostra que a região 4 foi bastante afetada por conta da distância próxima da falta. Isto é comprovado pelo formato dos sinais das oscilografia tanto da tensão quanto da corrente, já que houve diminuição por conta da impedância da falta. Como também, pelo sistema do estudo não ser equilibrado em relação ao carregamento, tem-se que as fases tem alterações e assim apesar do falta aplicada ser simétrica, as fases continuam a ter comportamento desequilibrado. Desta forma, observa-se conforme a Figura 9 que a fase B foi mais afeta que a fase A no ramo bifásico da região 4.

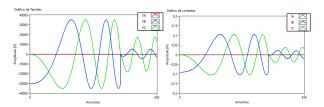


Figura 9. Oscilografia da região 4.

A oscilografia da Figura 10 apesar do comportamento semelhante quanto fases B e C da Figura 10, isto é visível as variações conforme a Tabela 2, por conta da distância

próxima desses ramos e tendo análise análogas, a diferença deve-se ao ramo representado por essa figura ser trifásico.

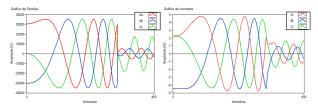


Figura 10. Oscilografia da região 5.

As oscilografias possibilitaram uma análise mais ampla da real ocorrência do evento diferente da IHM que representa apenas o valor numérico dos dados adquiridos do sistema. É interessante ter esse auxílio, pois possibilita a aplicação de diversas técnicas e algoritmo, já que há toda a descrição do sistema com essa infraestrutura.

6. CONCLUSÃO

Por conta da metodologia foi possível aplicar à plataforma SmartLVGrid para uma arquitetura num sistema de distribuição desequilibrado e com isso identificar e localizar regiões de faltas na MT para o caso de faltas simples. A partir disto, realizou-se uma arquitetura para a utilização do SmartLVGrid e assim destacando suas funcionalidades que podem ser aplicadas tanto na BT quanto na MT.

A simulação conseguiu demonstrar um breve funcionamento das potencialidades da plataforma SmartLVGrid com a execução de um método simples para a identificação e localização das regiões de faltas. É evidente que sua grande vantagem deve-se a alta infraestrutura necessário para a convergência de uma rede elétrica para um sistema smart. Por conta disso é possível haver comunicação entre os módulos de medição através uma central e assim trazendo perspectivas para elaboração de métodos mais eficientes e complexos para o problema do estudo. No caso, a simulação mostrou que a técnica da solução utilizada é eficiente para os casos retratados que são faltas simples e sustentadas, no entanto mais estudos devem ser feitos para a inserção de faltas múltiplas já devem se ter mais critérios de avaliação e valores limiares para isto.

Ademais, verificou-se também que o contexto de aplicação da plataforma na concepção se restringe à rede de baixa tensão. Isso se deve ao fato de que todas as medições e atuações realizados por ela ocorrem exatamente no secundário do transformador. Todavia, na plataforma não existe o aproveitamento dos recursos por elas disponibilizadas para aplicações na média tensão. Com esse estudo, notou-se que esse aproveitamento é possível, visto que nos parâmetro acerca de níveis de tensão e corrente da baixa tensão se reflete na média tensão, ensejando aplicações fora do escopo da plataforma. Logo o trabalho traz como principal contribuição ao SmartLVGrid, a detecção de regiões de falta na média tensão por meio de informações por ele disponibilizadas. Portanto, a plataforma SmartLVGrid mostrou-se interessante no método proposto da pesquisa. No entanto, vale-se destacar que para a localização de faltas na MT com maior precisão que busquem um ponto específico devido ao evento, é necessário desenvolvimento de técnicas e métodos específicos que se enquadrem especificamente a plataforma por conta dos pontos específicos de medição.

7. TRABALHOS FUTUROS

Aplicação de mais simulações para casos de múltiplas faltas e também avaliação de técnicas computacionais para a identificação da falta, entre eles, redes neurais principalmente casos de múltiplas faltas que é necessário maior complexidade para a identificação. Como também, estudo da plataforma SmartLVGrid para a localização específica do ponto de ocorrência da falta para um sistema de distribuição apenas com os pontos de medição proposto pela plataforma. Todas essas são estudos que podem ser aplicados para um algoritmo iterativo e assim a elaboração de um framework para a arquitetura.

REFERÊNCIAS

- Abrão, A.T. (2020). Faults in smart grid systems: Monitoring, detection and classification. *Electric Power Systems Research*, 189, 106602. doi: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106602. URL http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779620304065.
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., and Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 17(4), 2347– 2376. doi:10.1109/COMST.2015.2444095.
- Bolacell, G.S., Venturini, L.F., and da Rosa, M.A. (2018). Distribution system reliability evaluation considering power quality effects. In 2018 IEEE International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), 1–6. doi:10.1109/PMAPS.2018. 8440396.
- de Souza, F.P. (2019). Identificação de Faltas de Alta Impedância por Análise de Características Cicloestacionárias. Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Moridi, E., Haghparast, M., Hosseinzadeh, M., and Jassbi, S.J. (2020). Fault management frameworks in wireless sensor networks: A survey. *Computer Communications*, 155, 205 226. doi:https://doi.org/10.1016/j.comcom. 2020.03.011. URL http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366419312150.
- Nascimento, L.B.F. (2019). Desenvolvimento de Solução de Inteligência Artificial Aplicada a Implementação de Smart Buildings com Base no Framework SmartLVGrid. Master's thesis, Universidade do Estado do Amazonas.
- Singh, P.B.A. (2016). Smart metering in smart grid framework: A review. In 2016 Fourth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC), 174–176. doi:10.1109/PDGC.2016.7913139.
- Souza Gomes, R.C., Tavares da Costa, C., Silva, J.R., and Nunes da Silva, P.R. (2017a). Automation metasystem applied to smart grid convergence of low voltage distribution legacy grids. In 2017 IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE), 400–413. doi:10.1109/SEGE.2017.8052833.
- Souza Gomes, R.C., Tavares da Costa, C., Silva, J.R., and Nunes da Silva, P.R. (2017b). Automation metasystem applied to smart grid convergence of low voltage distribution legacy grids. In 2017 IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE), 400–413.

- Vieira, V.D.P.J.C.M. (2018). Fault location using modern fault indicators in the presence of distributed generation. In 2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE), 1–6. doi:10.1109/SBSE.2018.8395733.
- Vizzotto, F.G.R.M.S.C.H.B.F.G.L.M.W.D. (2019). Fault indication in distribution systems using an lpwan network. In 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America), 1–6. doi:10.1109/ISGT-LA.2019.8895460.