

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**  
**ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**LARISSA CARDOSO FRADE**

**PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS: Estudo de caso e análise da seletividade na**  
**Subestação Três Corações**

**Varginha**  
**2016**

**LARISSA CARDOSO FRADE**

**PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS: Estudo de caso e análise da seletividade na  
Subestação Três Corações**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica, sob orientação do Prof. Me.Hugo Rodrigues Vieira.

**Varginha  
2016**

**LARISSA CARDOSO FRADE**

**PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS: Estudo de caso e análise da seletividade na  
Subestação Três Corações**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas- UNIS/MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em     /     /

---

Prof. Me. Hugo Rodrigues Vieira

---

Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes

---

Eng. Especialista Henrique Elisei

OBS.:

Dedico este trabalho à minha avó Maria Nilza Cardoso que me ensinou o significado da palavra saudade.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador Prof. Me. Hugo Rodrigues Vieira por toda a paciência e por ter me acompanhado durante grande período da faculdade. Ao coordenador do curso Prof. Me. Eduardo Henrique Ferroni por todo apoio. Ao meu amigo Arlon Claudino pela presteza, auxílio e disponibilidade durante toda a elaboração do meu trabalho. Ao meu amigo querido Jefferson Mendes Amâncio por toda a disponibilidade e conhecimento que me transmitiu mesmo estando tão longe. Aos meus pais Sandra e Wagner por sempre estarem ao meu lado. Ao meu irmão Walbert pelo companheirismo e ao meu amor Juliano por toda a calma, amor e tranquilidade que me passou durante meus anos de curso que foram essenciais para que tudo desse certo.

“Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, que se sintam humildes.”

Leonardo da Vinci

## RESUMO

O tema deste trabalho é proteção em sistemas elétricos de potência. Com o progresso da humanidade e com os avanços da tecnologia a dependência pela energia elétrica se torna cada vez mais evidente. Quando ocorre uma interrupção de energia os prejuízos são tanto para o consumidor quanto para as concessionárias. Por este motivo, a proteção de equipamentos e sistemas elétricos de potência vem se tornando cada vez mais importante. Tal proteção pode ser feita das mais diversas maneiras e em diferentes pontos do sistema de geração, transmissão e distribuição de energia. Os relés são um dos equipamentos essenciais para que essa proteção seja efetiva. O objetivo deste trabalho é apresentar os principais dispositivos e sistemas de proteção em um sistema elétrico de potência, dando ênfase à rede de distribuição e aos relés de proteção, além de realizar um estudo de caso na Subestação Três Corações que é compartilhada e operada por uma empresa privada, analisando as interrupções ocorridas no período de setembro de 2015 a fevereiro de 2016 através dos dados que foram obtidos pela oscilografia do relé 351-A. Através deste estudo de caso pôde-se concluir que a concentração maior de eventos ocorreu no mês onde o clima era chuvoso, que a seletividade dos relés SEL 351-A encontra-se atuando de forma correta quando necessário, e, por fim, mostrou a importância do registro de dados no momento do evento para evitar falhas futuras e para o restabelecimento mais ágil do fornecimento, através dos ajustes adequados.

**Palavras-chave:** Proteção. Relés De Proteção. Rede De Distribuição.

## **ABSTRACT**

*The subject of this work is about the protection in power electric systems. With the humanity progress and with advances in technology the dependency on the electric power is became more evident. When occurs an power interruption the losses are to consumers and for the concessionaires. For this reason, the protection in equipments of power electric systems is becoming more important. This protection can be done in different ways and in a different parts of the generation system, transmission and power distribution. The relays are one of the essential equipments to make this protection more effective. The objective of this work is to present the main devices and the protection in power electric systems, placing the emphasis in the distribution system and the protection relays, besides of accomplished an case study regard Três Corações substation which is shared and operated by private company company analyzing the interruptions occurred between September 2015 and February 2016. through the data that will be obtained by relay 351-A oscilography. From this study case it was concluded that the biggest concentration of events occurred in the month with rainy weather, it was also concluded that the SEL 351-A relay is acting in the correct way in relation with it's adjustments, finally, it showed the importance of collecting data at the moment of the event to avoid future failures and to an agile re-establish of supply, through the adequate adjustments.*

**Keywords:** *Protection. Protection Relays. Power distribution.*



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Representação simplificada de um SEP.....	15
Figura 02 – Relés estáticos.....	24
Figura 03 – Relés digitais.....	25
Figura 04 – Subestação Três Corações – Saída dos alimentadores.....	29
Figura 05 – Diagrama unifilar da SE Três Corações.....	31
Figura 06 – Cubículos dos alimentadores.....	32
Figura 07 – Relé SEL 351A da SE Três Corações.....	33
Figura 08 – Relé SEL 351A da SE Três Corações.....	34
Figura 09 – Oscilografia do evento 1.....	37
Figura 10 – Oscilografia do evento 2.....	38
Figura 11 – Oscilografia do evento 3.....	39
Figura 12 – Oscilografia do evento 4.....	40
Figura 13 – Oscilografia do evento 5.....	41
Figura 14 – Oscilografia do evento 6.....	42
Figura 15 – Oscilografia do evento 7.....	43
Figura 16 – Oscilografia do evento 8.....	44
Figura 17 – Oscilografia do evento 9.....	45
Figura 18 – Oscilografia do evento no Alimentador Geral.....	46
Figura 19 – Oscilografia do evento no barramento.....	47
Figura 20 – Oscilografia do evento no relé da Empresa 2.....	48

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 ESTRUTURA DOS SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Sistemas Elétricos de Potência.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Sistemas Elétricos de Potência Brasileiro.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Sistema de Distribuição.....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 Tipos de falta.....</b>	<b>16</b>
2.4.1 Falta Permanentes.....	16
2.4.2 Falta Transitórias.....	16
<b>2.5 Proteção de Sistemas Elétricas.....</b>	<b>16</b>
2.5.1 A importância da proteção de Sistemas Elétricos.....	16
2.5.2 Fundamentos de proteção de Sistemas Elétricos.....	17
2.5.3 Características de um Sistema de Proteção.....	18
2.5.4 Sistemas de Proteção: tipos de proteção.....	18
2.5.4.1 Proteção de Transformadores.....	19
2.5.4.2 Proteção de geradores e reatores.....	19
2.5.4.3 Proteção de barramentos.....	19
<b>2.6 Equipamentos de proteção do Sistema de Distribuição.....</b>	<b>20</b>
2.6.1 Chaves fusíveis.....	20
2.6.2 Religador.....	20
2.6.3 Seccionador automático.....	20
<b>2.7 Relés de proteção.....</b>	<b>21</b>
2.7.1 Desenvolvimento histórico dos relés.....	22
2.7.1.1 Relés eletromecânicos.....	23
2.7.1.2 Relés estáticos.....	23
2.7.1.3 Relés digitais.....	23
2.7.2 Classificação dos relés.....	25
2.7.2.1 Função tabela ANSI – 50/50N/51/51N: proteção de sobrecorrente instantâneo e temporizado.....	26
2.7.2.2 Função tabela ANSI – 59: proteção de sobretensão.....	26
2.7.2.3 Função tabela ANSI – 27: proteção de subtensão.....	26
2.7.2.4 Função tabela ANSI – 21: proteção de distância.....	27
2.7.2.5 Função tabela ANSI – 81: proteção de sub/sobrefrequência.....	29
2.7.2.6 Função tabela ANSI – 87: proteção diferencial.....	28
2.7.2.7 Função tabela ANSI – 79: proteção de religamento.....	28
2.7.2.8 Função tabela ANSI – 67: proteção direcional.....	28
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Descrição da linha de distribuição e subestação escolhidas.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 Relé SEL 351A.....</b>	<b>32</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1 Análise dos eventos registrados pelos relés SEL 351 A.....</b>	<b>35</b>
<b>4.2 Análise de seletividade dos relés de proteção da Subestação Três Corações.....</b>	<b>46</b>

**5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....49**

**REFERÊNCIAS.....51**

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento do consumo de energia elétrica está diretamente relacionado ao desenvolvimento da economia, aumento das indústrias, criação de centros comerciais, crescimento da população e desenvolvimento tecnológico. A dependência por esse tipo de energia e todas as vantagens que ela traz é cada vez maior, pois o costume com a presença dela no dia a dia para todos os tipos de tarefas realizadas faz com que a sua falta chegue a ser considerada inadmissível.

Quando uma interrupção no fornecimento ocorre, os prejuízos são tanto para a concessionária quanto para o consumidor. Independente se o consumidor é residencial ou industrial, a falta de energia, no mínimo, gera desconforto e perturbação. Nas residências as interrupções podem causar danos a equipamentos eletrônicos, já a nível industrial os danos causados pela parada forçada da produção são maiores gerando gastos e prejuízos desnecessários.

O sistema elétrico de potência engloba geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Ao ocorrer uma perturbação ou distúrbio em qualquer ponto desse sistema uma interrupção de energia elétrica pode ocorrer.

Vários são os distúrbios que podem causar uma interrupção, como: descargas atmosféricas, queimadas, vandalismo, surtos de tensão, quedas de árvores entre outros. Na tentativa de proteger o sistema desses tipos de perturbações, dispositivos são instalados ao longo de todo o sistema.

A proteção de um sistema elétrico de potência é cada vez mais importante para garantir a continuidade do fornecimento de energia, pois, além de proteger previamente contra distúrbios, quando a falta ocorre, é essa mesma proteção que a identifica e cria mecanismos para desligar todo o circuito de falha do resto do sistema, ou avisa o operador de forma a regularizar a situação e retornar a normalidade o mais rápido possível, causando assim menos prejuízos e desconforto aos consumidores.

Existem as mais diversas formas de proteção, e cada uma delas é aplicada em determinado ponto do sistema de maneira diferente de acordo com a sua necessidade. Os relés, um dos mais importantes dispositivos de um sistema de proteção vêm evoluindo com o tempo e a tecnologia.

Como nas linhas de distribuição a preocupação maior é fornecer uma energia com o menor custo e maior continuidade, os investimentos são menores do que em linhas de transmissão, uma vez que essas percorrem maiores distâncias e abrangem um número maior

de consumidores. Por este motivo, as interrupções são mais frequentes em linhas de distribuição, conforme é abordado neste estudo no qual são analisados os tipos de proteção e as interrupções ocorridas em uma subestação e registradas por um relé de proteção.

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo geral realizar um estudo de caso na Subestação Três Corações-138/13,8 kV, compartilhada e operada por uma empresa privada também do município de Três Corações, que faz parte de uma rede de distribuição que alimenta três indústrias do distrito industrial da cidade de Três Corações, analisando as interrupções ocorridas no período de setembro de 2015 a fevereiro de 2016 de acordo com os dados obtidos através das oscilografias dos relés SEL 351A.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Apresentar os principais dispositivos e sistemas de proteção em um sistema elétrico de potência dando ênfase à rede de distribuição e aos relés de proteção.
- Analisar se ocorre a seletividade dos relés entre os alimentadores de 13,8 kV ou entre os alimentadores e o alimentador geral de 138 kV, através das oscilografias dos mesmos.

O texto deste trabalho de conclusão de curso compõe-se de cinco capítulos organizados da seguinte maneira:

No capítulo 1 é apresentada a introdução do trabalho, assim como a justificativa e objetivo do mesmo.

No capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica englobando sistema elétrico de potência, o sistema elétrico de potência brasileiro, dados sobre a proteção de sistemas elétricos de potência com enfoque nos relés de proteção, seu desenvolvimento histórico e sua classificação, com base em pesquisas acadêmicas.

O capítulo 3 apresenta a metodologia que será utilizada para o estudo de caso na SE Três Corações compartilhada e operada por uma empresa privada com base na oscilografia dos relés SEL 351A.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos durante a coleta de dados nos relés SEL 351A presentes em cada alimentador da Subestação Três Corações analisando suas oscilografias. Além disso, este capítulo contempla um evento onde é possível analisar a atuação da seletividade na Subestação.

Por fim, no capítulo 5 as conclusões obtidas durante o estudo de caso na Subestação Três Corações são apresentadas.

## 2 ESTRUTURA DOS SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

### 2.1 Sistemas elétricos de potência

Um Sistema Elétrico de Potência (SEP) é dividido em três partes principais: as centrais geradoras, as linhas de transmissão e as redes de distribuição. As linhas de transmissão ligam as centrais geradoras às redes de distribuição e conduzem a outros sistemas de potências através de interconexões. Os sistemas de distribuição ligam as cargas individuais às linhas de transmissão nas subestações, subestações essas que farão a função de chaveamento e as transformações de tensões necessárias (STEVENSON JUNIOR, 1986).

O primeiro sistema de distribuição em Corrente Alternada (CA) experimental foi realizado em 1885, quando Willian Stanley alimentou 150 lâmpadas em uma cidade. Já a primeira linha de transmissão em CA foi colocada em operação em 1890 transportando a energia elétrica que era gerada em uma usina hidroelétrica de Willamette Falls até Portland, nos Estados Unidos, a uma distância total de 20 quilômetros. Os sistemas de transmissão de energia elétrica em CA só são viáveis hoje, pois houve a criação de um transformador que eleva os níveis de tensão acima dos valores de geração e distribuição, aumentando a capacidade de transmissão por longos trechos mesmo com as perdas que ocorrem durante o caminho (STEVENSON JUNIOR, 1986).

Como os geradores se encontram a grandes distâncias dos centros consumidores, a energia elétrica tem suas tensões elevadas, nos valores de 138, 230, 345, 440, 500 e 750 kV em circuitos de corrente alternada e 600 kV em correntes contínuas, estas tensões elevadas têm o intuito de diminuir as perdas nas linhas de transmissão até chegarem às subestações onde serão rebaixadas para níveis de 13,8 kV, 25 kV, 69 kV e 138 kV para serem distribuídas (LEME et al, 2013).

As linhas de distribuição podem ser aéreas ou subterrâneas e estão presentes tanto em áreas urbanas quanto rurais, e chegam até os transformadores que rebaixam a tensão para os níveis 127 V e 220 V que são os níveis utilizados pelos consumidores (LEME et al, 2013).

Antigamente os sistemas eram individuais, pois começaram de forma isolada até cobrir todo o país. Somente com o tempo, com o aumento da demanda de grandes potências e da necessidade de confiabilidade dos sistemas é que foram iniciando as interligações. A interligação cresceu tanto que hoje é rotineiro que empresas troquem cargas entre si. Em períodos de estiagem, por exemplo, sistemas que dependem de hidrelétricas só conseguem

garantir a continuidade do fornecimento devido a essas interligações (STEVENSON JUNIOR.; 1986).

## **2.2 Sistema elétrico de potência brasileiro**

A matriz energética brasileira tem como principal característica a geração hidroelétrica, isso faz com que os centros de consumos nem sempre fiquem localizados próximos aos centros de geração, por isso a importância de um SEP que garanta a confiabilidade e continuidade da transmissão e distribuição de energia (LAURENTI, 2008).

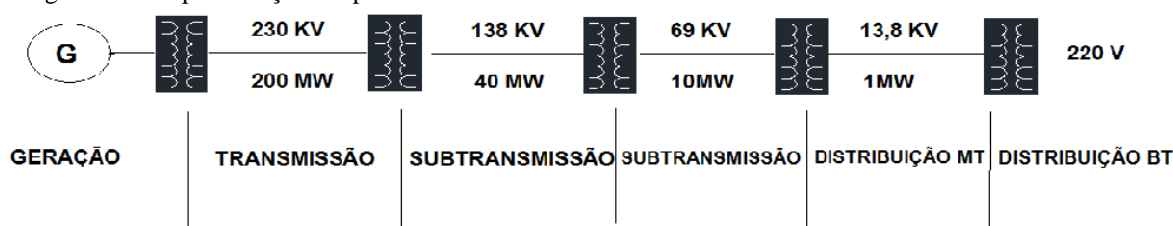
O sistema de produção, transmissão e distribuição de energia no Brasil é chamado de Sistema Interligado Nacional (SIN), o SIN é um sistema hidrotérmico de grande porte onde há a predominância de hidroelétricas, e com muitos proprietários, sendo estes presentes nas regiões Sul, Sudeste, Centro-oeste, Nordeste e parte do Norte, sendo que, de toda energia elétrica demandada pelo Brasil, apenas 1,7% encontra-se fora do SIN, encontrando-se principalmente na região da Amazônia, em sistemas pequenos e isolados (ONS).

O SEP compreende em sua estrutura, conforme pode ser visto na Figura 01, os sistemas de geração, transmissão, e distribuição e suas subestações, sendo estas compostas por transformadores, disjuntores e seccionadores das mais diversas tensões e correntes. O sistema atual de energia elétrica no Brasil é composto por grandes usinas geradoras que transmitem energia através de sistemas de transmissão de alta tensão, até chegar aos centros de distribuição de média e baixa tensão, que é onde se encontram os consumidores (GARCIA; DUZZI JUNIOR. , 2012)

Nos centros de transmissão e subtransmissão, por atenderem a um grande número de consumidores há uma redundância de linhas. Já nos sistemas de distribuição de média (MT) e baixa tensão (BT) não há grandes investimentos das concessionárias uma vez que nesses casos busca-se uma confiabilidade pelo melhor custo, uma vez que os níveis de tensão são menores e o número de consumidores também, não justificando assim altos investimentos (GARCIA; DUZZI JUNIOR. , 2012).

A Figura 01 representa simplificada um SEP com suas potências identificadas em cada uma das suas formas de atuação.

Figura 01 – Representação simplificada de um SEP.



Fonte: (GARCIA; DUZZI JR. , 2012).

A energia elétrica pode ser distribuída de várias maneiras, no Brasil predomina a energia elétrica produzida em usinas hidroelétricas devido a grande quantidade de recursos hídricos disponíveis (LEME, et al., 2013).

### 2.3 Sistema de distribuição

O sistema de distribuição no Brasil é regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A ANEEL, através das normas do Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), acompanha e avalia os serviços prestados pelas distribuidoras através de indicadores de qualidade (LEME et al,2013).

De acordo com o PRODIST existem alguns indicadores de qualidade como: Duração Equivalente de Interrupção por unidade consumidora (DEC), Frequência Equivalente e interrupção por unidade consumidora (FEC), Duração de interrupção individual por unidade consumidora (DIC), Frequência de interrupção individual por unidade consumidora (FIC) e Duração Máxima de interrupção individual por unidade consumidora (DMIC), e, o objetivo das concessionárias é sempre manter esses indicadores dentro dos padrões que a ANEEL estabelece, evitando prejuízos com multas e ressarcimentos aos consumidores que podem ocorrer quando tais padrões não são alcançados (LEME, et al, 2013).

Um SEP que fornece energia elétrica de qualidade apresenta, apesar de não depender só delas, três características importantes: baixo índice de indisponibilidade e alto índice de disponibilidade, a capacidade de se manter funcionando pelo maior tempo possível, diminuindo os efeitos dos desgastes dos equipamentos e a capacidade de voltar ao estado normal de operação após ocorrer uma falha no fornecimento (BRÜGGER, 2008).



## **2.4 Tipos de falta**

Segundo Leme et al. (2013) falta é o nome que utilizado para todo e qualquer fenômeno que ocorre em um SEP impedindo o seu funcionamento normal. Existem dois tipos de faltas de acordo com o seu tempo de duração: as faltas permanentes e as transitórias.

### **2.4.1 Faltas permanentes**

Faltas permanentes são aquelas que necessitam da interferência do homem antes de ocorrer o religamento do sistema. Elas podem ser causadas por quedas de árvores sobre as linhas de distribuição, acidentes de carros com postes ou por atos de vandalismo (LEME, et al, 2013 ; SILVEIRA; GALVANI; SOUZA, 2011).

### **2.4.2 Faltas transitórias**

Faltas transitórias são aquelas que atingem o sistema temporariamente, ou seja, após a atuação do sistema de proteção ele é religado voltando ao funcionamento normal. São responsáveis por 80% das faltas que ocorrem, e podem ser causadas por descargas atmosféricas, abertura de arco elétrico, pelo contato temporário de dois fios condutores, contato de materiais estranhos ou por isolamento insuficiente dos materiais (LEME, et al, 2013 ; SILVEIRA; GALVANI; SOUZA, 2011).

## **2.5 Proteção de sistemas elétricos**

### **2.5.1 A importância da proteção de sistemas elétricos**

A energia elétrica é essencial para o desenvolvimento econômico e para o bem-estar da população. Privar a população da eletricidade reduz as possibilidades de progressos socioeconômicos além de privá-la de benefícios e confortos que somente a energia elétrica pode proporcionar. Da mesma maneira, quando a frequência das interrupções é alta ou quando a duração delas é longa os prejuízos e os danos aos consumidores e a sociedade como um todo são enormes. Por esta razão, é tão importante analisar a continuidade do fornecimento, para tentar evitar ao máximo tais interrupções (PESSANHA, et al, 2007).

Quando ocorre a interrupção de energia, os prejuízos são dos mais diversos níveis, a interrupção na indústria, por exemplo, causa diversos tipos de danos na produção, como danos a equipamentos e instalações, danos à matéria prima, custo para reiniciar a produção, perda da produção, horas extras pagas aos funcionários para compensar o tempo de interrupção, entre outros gastos (BRÜGGER, 2008).

### 2.5.2 Fundamentos de proteção de sistemas elétricos

Basicamente a função principal de um sistema de proteção é garantir a continuidade do fornecimento da melhor forma possível, para isso, ele tem como principal objetivo garantir que na presença de algum distúrbio ou anormalidade no SEP, a falha seja desconectada do restante do sistema fazendo com que a detecção e a resolução dos problemas sejam mais rápidas e fáceis, prejudicando o mínimo possível os consumidores (FERRARO; ARTICO; BIANCO, 2013).

Quando um defeito ocorre, acontece a alteração dos valores de tensão e corrente, portanto, quando houver uma falha o sistema irá perceber a alteração dessas grandezas, e as alterações poderão ser com valores em módulo ou ângulo (GOES, 2013).

Como o sistema elétrico se encontra sujeito aos distúrbios e anormalidades tanto internos quanto externos ao sistema, é importante proteger os equipamentos e manter o fornecimento ao consumidor. Esta proteção é realizada através de um conjunto de equipamentos formados por transformadores de instrumentos (de corrente e de potencial), disjuntores e relés. Os transformadores traduzem para o relé os níveis de corrente e de tensão do sistema, os relés lêem as informações e, através da comparação entre os valores obtidos e os de ajuste identificam o problema do sistema e ativam os disjuntores, que por sua vez desligam o elemento onde houve a falha do resto do sistema até que seja reparado (FERRARO; ARTICO; BIANCO, 2013).

O disjuntor tem como função principal isolar o circuito que está em falta do resto do circuito. Geralmente ele interrompe a corrente quando essa chega próxima de zero. A sua atuação ocorre quando uma fonte independente do sistema faltoso energiza sua bobina. Esta fonte é ativada pelos relés de contato que são ativados pelos relés de proteção (GOES, 2013).

Os transformadores de corrente (TC), como o próprio nome diz, têm a função de isolar o sistema dos altos valores de corrente que passam pelas linhas de transmissão. Esses valores são muito elevados, e o transformador de corrente diminui esses valores para valores

proporcionais (com mesmo ângulo, porém menores), adequando-os aos valores dos equipamentos de proteção, controle e medição (GOES, 2013).

Já os transformadores de potencial (TP) têm como objetivo fornecer uma tensão com as mesmas características, porém, com módulo reduzido, adequando-se também aos valores dos equipamentos de proteção, controle e medição. Esses equipamentos são muito precisos, dessa forma seus erros podem ser ignorados (GOES, 2013).

### 2.5.3 Características de um sistema de proteção

Segundo Goes (2013) existem algumas características que o sistema de proteção deverá atender para agir de forma rápida e precisa.

- Sensibilidade: é a capacidade do sistema operar nas condições anormais com a menor margem de tolerância, sem atuar em condições de carregamento nominal ou sobrecargas de rotina;
- Velocidade: é a rapidez em que o sistema de proteção atua após a falta. Essa é uma das principais características do sistema, pois uma corrente de curto-circuito circulando por um tempo longo pode prejudicar a integridade do isolamento dos equipamentos;
- Confiabilidade: é a probabilidade do sistema operar somente em condições para o qual foi projetado, não atuando em outras circunstâncias;
- Segurança: é a capacidade do sistema não operar para faltas que ocorrem fora de sua zona de proteção;
- Seletividade: é a capacidade do sistema isolar apenas os elementos que estão em falta, garantindo que a menor parte possível do sistema será desligada (GOES, 2013, p. ).

### 2.5.4 Sistemas de proteção: tipos de proteção

De acordo com Goes (2013) existem vários tipos de proteção que são utilizados de diferentes maneiras em vários pontos do sistema, entre eles os mais comuns que são as proteções de sobrecorrente e sobretensão, proteção direcional e proteção de distância.

As proteções de sobrecorrente e de sobretensão analisam o valor do sinal de corrente e tensão que deve estar sempre abaixo do valor de ajuste, caso isso não ocorra, a proteção atua. A proteção direcional supervisiona a proteção de sobrecorrente em sistemas em anel impedindo a atuação indevida da proteção, e a proteção de distância localiza o ponto no sistema onde ocorreu a falta (GOES, 2013).

A proteção de sobrecorrente pode ser utilizada na proteção de transformadores como uma opção mais econômica, porém apresenta baixo nível de confiabilidade pois, o seu relé não é muito sensível (FERRARO; ARTICO; BIANCO, 2013).

Cada uma das proteções é utilizada de maneiras diferentes em cada ponto do sistema.

#### 2.5.4.1 Proteção de transformadores

Os transformadores podem sofrer tanto por faltas internas ou externas. Quando internas geralmente as causas podem ser curtos-circuitos entre os enrolamentos ou entre o enrolamento e a armadura. Quando externas as causas podem ser sobrecargas ou curtos-circuitos que ocorrem externamente ao transformador (FERRARO; ARTICO; BIANCO, 2013).

Nos transformadores de pequeno porte é utilizada a proteção de sobrecorrente através do uso de fusíveis e disjuntores, já em transformadores de grande porte além da proteção de sobrecorrente é utilizada a proteção diferencial proporcional (GOES, 2013).

#### 2.5.4.2 Proteção de geradores e reatores

A proteção de geradores e reatores é bastante semelhante, utilizam a proteção diferencial e os seus transformadores de corrente são ligados no lado de alta tensão e de neutro, e também podem ser adicionados além do relé diferencial o relé de distância (GOES, 2013).

#### 2.5.4.3 Proteção de barramento

A proteção de barramento tem sua importância uma vez que existe grande quantidade de energia nesses locais, e, frente a algum problema poderiam causar sérios danos ao resto do sistema elétrico, além de prejuízos materiais (CAMINHA, 1977).

É utilizada a proteção diferencial, porém as correntes de vários circuitos que chegam a barra são comparadas, e quando não existe falta na barra a soma dessas correntes tem que ser igual a zero ou próximo a isso (GOES, 2013). Podem ser utilizados também relés do tipo impedância nos alimentadores das linhas (CAMINHA, 1977).

## 2.6 Equipamentos de proteção do sistema de distribuição

Uma das principais causas de falhas em linhas de transmissão é o curto-circuito. Os principais equipamentos utilizados nos sistemas de proteção de distribuição são as chaves fusíveis/ elos fusíveis, disjuntores, religadores e seccionadores ( DISTRIBUIÇÃO..., [2015] ; FERRACINI; BELLAN. ZIOLKOWSI, 2014).

Durante as falhas podem ocorrer efeitos mecânicos (deformar e romper condutores e materiais isolantes) e térmicos (aquecimento e deterioração dos equipamentos) que podem ser temporários ou permanentes em equipamentos, além de poder causar danos a pessoas e animais (DISTRIBUIÇÃO..., [2015]).

### 2.6.1 Chaves fusíveis

As chaves fusíveis são dispositivos que são constituídos de um porta-fusíveis para receber o elo fusível que é composto de um elemento sensível completando o circuito entre os contatos de um corta-circuito. Quando ocorre o distúrbio o aquecimento dos elementos faz com que o fusível se funda, interrompendo o circuito (DISTRIBUIÇÃO..., [2015]).

### 2.6.2 Religador

O religador é um equipamento que abre e fecha seus contatos repetidas vezes (vezes essas predeterminadas) quando ocorre uma falha em um elo que está sendo protegido por ele, portanto, ele atua como um religador automático. Quando ocorre a falha ele abre seus contatos e permanece aberto por determinado tempo, tempo este denominado de tempo de religamento, e após esse tempo eles se fecham automaticamente reenergizando a linha. Se a falha continua após o fechamento ele se abre novamente por determinadas vezes consecutivas (de acordo com o ajuste do equipamento), e após essas tentativas os contatos se abrem e ficam travados, sendo o novo religamento podendo ser feito apenas manualmente (DISTRIBUIÇÃO..., [2015]).

### 2.6.3 Seccionador automático

O seccionador automático é um equipamento utilizado para interrupção do circuito. É composto basicamente de um elemento sensor e de um mecanismo que contabiliza os

desligamentos do equipamento de retaguarda. Quando ocorre a falha o seccionador é armado e preparado para a contagem, a contagem vai se iniciar quando a corrente é interrompida ou quando cai abaixo de determinado valor. Após determinadas vezes observadas pela contagem ele abre e permanece na posição aberto e travado, isolando todo o trecho onde se encontra a falha (DISTRIBUIÇÃO ..., [2015]).

## 2.7 Relés de proteção

Relés de proteção são dispositivos construídos para detectar condições faltosas, perigosas ou indesejáveis no sistema, atuando com manobras de chaveamento ou avisando adequadamente (CAMINHA, 1977).

Segundo Silva (2012) os relés de proteção identificam uma situação perigosa ao sistema e equipamento sendo capaz, portanto, de iniciar uma ação de controle adequada. Os relés geralmente são de entrada elétrica, mas podem ser mecânicos, térmicos ou de outras grandezas.

Os relés de proteção são usados em outros setores além da energia elétrica como em áreas comerciais, industriais e no transporte. No SEP existem outros tipos de relé que não fazem diretamente a função de proteção, mas que atuam juntamente com os relés de proteção para complementar o sistema de proteção do sistema (SILVA, 2012).

O funcionamento dos relés é de extrema importância para a proteção de equipamentos ou sistemas elétricos. Para que esse funcionamento ocorra conforme o necessário a confiabilidade dos relés deve ser alta, visando essa alta confiabilidade e a imunidade a erros os relés devem ser rigorosamente testados e avaliados através de ensaios periódicos (SILVA, 2012).

Existem vários tipos de relés para as mais variadas atuações, porém Caminha (1977) os separam didaticamente em alguns grupos de acordo com as seguintes características:

- a) Grandeza física de atuação: elétrica, térmica, ótica, etc;
- b) Natureza da grandeza a que respondem: corrente, tensão, temperatura, pressão, etc ;
- c) Tipo construtivo: eletromecânico, eletrônico, etc.
- d) Função: funções de sobrecorrente, sobretensão, sub/sobre frequência \_ pela tabela do *American National Standards Institute* (ANSI) foram criados códigos para dividir os relés de acordo com as suas funções.
- e) Forma de conexão do elemento sensor: se direto no circuito ou por redutores de medida.
- f) Posicionamento dos contatos: aberto ou fechado;

Os projetos de subestações atuais utilizam da tecnologia dos relés digitais. Os relés utilizados anteriormente, relés mecânicos e de estado sólido, estão sendo substituídos gradativamente por eles (LAURENTI, 2008).

Os relés de proteção são os principais componentes de um sistema de proteção, eles são os responsáveis por identificar a falha que foi indicada pelas informações que foram recebidas dos TC's e TP's, e resolver o problema quando identificado, seja através da abertura de um disjuntor ou enviando informações para o operador (GOES, 2013).

O tempo de atuação do relé é muito importante para a preservação dos equipamentos de um sistema de potência e para a realização coordenada da proteção. A atuação dos relés pode ser instantânea ou temporizada, sendo que os relés digitais permitem a programação deste tempo o que os permitem ser bem mais confiáveis (SOUZA, 2010).

Alguns atributos são essenciais para medir a qualidade do seu desempenho. A velocidade significa que o relé deve responder o mais rápido possível frente a um problema diminuindo o número de danos no sistema. Este atributo entra em confronto com o atributo de confiabilidade sendo necessário um projeto que busque o entrosamento correto deles. O terceiro atributo é de dependência e significa que o relé deve evitar operar em situações para as quais não foi projetado, atuando apenas para o que foi especificado. O último atributo é o de seletividade, ou seja, quando ocorre uma falha o relé só deverá isolar a menor área possível do sistema após uma falha (STEVENSON JUNIOR, 1986).

Ainda segundo Stevenson Junior (1986) os relés apresentam duas funções de proteção a primária e a de retaguarda. A proteção primária é a proteção na qual o dispositivo deverá agir o mais rápido possível frente a falha e isolando a menor porção possível do sistema, porém, algumas vezes o sistema de proteção primária pode deixar de atuar de maneira correta, então surge a proteção de retaguarda que é muito comum e visa garantir a atuação do sistema eliminando a falha.

### 2.7.1 Desenvolvimento histórico dos relés

Entre 1820 e 1830, dois cientistas, Joseph Henry e Michael Faraday, estudavam simultaneamente o eletroímã e a indução eletromagnética. Muitos outros cientistas constataram em seus estudos que eletricidade e magnetismo estavam correlacionados. O uso dos relés eletromagnéticos criados por Henry se intensificou à partir de 1878. Já seu uso comercial iniciou em 1937, através do código Morse, que é considerado o primeiro relé

eletromecânico a ser utilizado, utilizando o campo eletromagnético para se comunicar a longas distâncias (CUNHA, 2009).

Com o desenvolvimento tecnológico foram surgindo outros tipos de relés. Em 1950 foi criado o relé de estado sólido, ou relé estático, que se diferenciava do eletromecânico por não apresentar partes móveis que se movimentavam durante o seu funcionamento, mas sim por ser um equipamento eletrônico que utiliza de componentes elétricos, eletrônicos e óticos para atuar (CUNHA, 2009).

O relé digital, ou relé de terceira geração, surgiu durante o período de 1980 e 1990 e utiliza microcomputadores na sua atuação, o que gera uma vantagem sobre os demais relés uma vez que ele permite a melhor supervisão do sistema e uma maior sensibilidade através das configurações de ajuste que os mesmos apresentam (CUNHA, 2009).

Os primeiros relés a serem desenvolvidos foram os relés de sobrecorrente, porém com o passar do tempo e aumento da complexidade do sistema os relés foram se aprimorando e hoje em dia os relés podem apresentar mais de uma função (SOUZA, 2010).

#### 2.7.1.1 Relés eletromecânicos

Os relés eletromecânicos foram os primeiros relés a serem utilizados, e seu funcionamento utiliza movimentos mecânicos provenientes da atração ou indução eletromagnética. Os relés de atração eletromagnética têm a característica do eletroímã, ou seja, uma corrente elétrica passa pela bobina produzindo um campo elétrico que atrai o êmbolo ou a alavanca. Quando a corrente do TC atinge um valor maior que o valor de ajuste do relé, o campo magnético vence a força da mola que segura o êmbolo ou a alavanca na posição inicial. Isso ocorre instantaneamente e o êmbolo ou a alavanca dispara o circuito do disjuntor (GOES, 2013).

Os relés de indução eletromagnética apresentam o mesmo princípio de funcionamento de um motor elétrico. Ele apresenta um disco que quando está operando funciona como um rotor de um motor elétrico fazendo com que esse giro produza um fechamento do contato que é capaz de ativar o circuito de abertura do disjuntor (GOES, 2013).

#### 2.7.1.2 Relés estáticos

Nos relés estáticos, ilustrados na Figura 02, não existem partes mecânicas, eles são produzidos com equipamentos eletrônicos que apresentam funções de temporização e funções



lógicas específicas para proteção, isso faz com que eles apresentem maior velocidade de operação, baixa carga para os transformadores de corrente e baixa manutenção devido a ausência de partes móveis, entre outras vantagens perante aos relés eletromecânicos (GOES, 2013).

Apesar de não apresentarem partes mecânicas, eles acabam ativando dispositivos mecânicos que irão ativar o circuito de abertura do disjuntor. Os relés estáticos também apresentaram alguns problemas e acabaram sendo novamente substituídos por relés eletromecânicos, pois ficaram com a sensibilidade tão apurada que qualquer alteração normal durante a operação, como por exemplo, um harmônico ou um transitório, já era o suficiente para ele ativar o disjuntor desnecessariamente. Com o avanço da tecnologia digital os relés estáticos também foram substituídos pelos relés microprocessadores (GOES, 2013).

Figura 02- Relé Estático



Fonte: (GOES, 2013)

### 2.7.1.3 Relés digitais

A partir da década de 70 houve um avanço da tecnologia na área digital, com isso, os computadores e microprocessadores aumentaram sua velocidade de processamento e diminuíram seus tamanhos e a quantidade de energia gasta para a sua operação. Isso ajudou muito para o desenvolvimento e implantação dos relés digitais no sistema de proteção. Os relés digitais são gerenciados por microprocessadores e controlados por um software (GOES, 2013).

Os relés digitais, que podem ser vistos na Figura 03, apresentam algumas vantagens segundo Goes (2013): funções de proteção e retaguarda (*backup*), vários grupos e parâmetros de ajuste, diagnóstico interno de falha, medições de grandezas elétricas, registradores de distúrbios, e funções de proteção auxiliares, como continuidade da fiação, etc.

Segundo Leme et al, (2013) os relés digitais são os mais utilizados hoje em dia devido à sua eficácia, e além da função de proteção esse tipo de relé vem com outras funções como medições elétricas, sinalização, controle e gerenciamento, funções de comunicações entre outras funções que são vantajosas em relação as relés mais antigos.

Figura 03- Relés digitais.



Fonte: (GOES, 2013)

## 2.7.2 Classificação dos relés

Visando a padronização das funções dos relés, foi criada uma tabela pelo *American National Standards Institute* (ANSI) com o código da função das proteções. Serão descritas as principais funções dos relés de proteção.

### 2.7.2.1 Função tabela ANSI - 50/ 50N/ 51/ 51N : proteção de sobrecorrente instantâneo e temporizado

Os relés de sobrecorrente são os dispositivos básicos e baratos de um sistema de proteção. Por estar relacionado à corrente que flui no sistema a ser protegido ele é ativado a partir do momento em que a corrente ultrapassa o valor definido através do ajuste (LEME et

al., 2013).

Segundo Stevenson Junior (1986) os relés de sobrecorrente atuam em função da amplitude das correntes de excitação, ou seja, se o valor da corrente for maior do que o valor determinado ajustado ele fechará os contatos. O valor máximo de corrente tolerável é ajustável e tem que ser determinado através de estudos de seletividade e curto circuito. Muitas vezes os relés de sobrecorrente necessitam da implementação do tempo na sua atuação para se tornarem mais abrangentes, dando origem aos relés temporizados.

Os relés de sobrecorrente podem ser de fase ou de terra. Os relés de fase são utilizados para curtos-circuitos que ocorram entre mais de uma fase, como os bifásicos, bifásicos-terra e trifásicos, por exemplo. Já os relés de terra são utilizados para quando a curto-circuito fase-terra (ALMEIDA, 2008).

#### 2.7.2.2 Função tabela ANSI -59: proteção de sobretensão

Os relés de sobretensão têm como função identificar os valores de tensão quando estes se encontram maiores do que os valores ideais para o funcionamento do sistema. Assim como os relés de sobrecorrente sua ação pode ser instantânea ou temporizada de acordo com o ajuste. Ao identificar esses valores acima do permitido eles enviam sinais de alarmes, chaveamento do banco de capacitores e dependendo do sistema também pode ativar a abertura dos disjuntores (SILVA, 2012).

O objetivo principal dos relés de sobretensão é proteger o sistema contra sobretensões de longa duração, pois, para as sobretensões de curta duração existem os pára-raios. Quanto maior a amplitude da onda de tensão menor o tempo tolerado para que ela permaneça nesse estado (ALMEIDA, 2008).

#### 2.7.2.3 Função tabela ANSI- 27 : proteção de subtensão

Assim como os relés de sobretensão, de acordo com Silva (2012), os relés de subtensão ativa a proteção quando os níveis de tensão caem para um número abaixo do desejado para a operação do sistema.

Almeida (2008) afirma que o objetivo do relé de subtensão é manter a situação de baixa tensão o menor tempo possível no sistema. Na tentativa de melhor caracterizar os curtos-circuitos esse tipo de proteção pode, em algumas situações, combinar sua função juntamente com a função de sobrecorrente.

#### 2.7.2.4 Função tabela ANSI-21: proteção de distância

A função deste relé é identificar o local onde se encontra o defeito quando ocorrer faltas permanentes que não foram corrigidas pelas tentativas do religamento, para que seja realizada a sua manutenção o mais rápido possível. Este relé utiliza da comparação de valores de impedância, reatância e admitância dentro da distância entre o próprio relé e o local da falta (SOUZA, 2010).

Um tipo de proteção bastante utilizado e confiável é a proteção que compara a corrente que está entrando no equipamento ou circuito que está sendo protegido com a corrente que está saindo do mesmo, porém, em linhas de transmissão ou sistemas muito grandes, este tipo de proteção não é viável financeiramente, portanto, uma alternativa é comparar a corrente de entrada do equipamento ou circuito em proteção, com a tensão também de entrada do mesmo equipamento. Nessa relação surge um tipo de relé de distância que é o relé de impedância ( $Z = V/I$ ) (CAMINHA, 1977).

A impedância é definida pela relação entre tensão e corrente, gerando sempre como resultado um número complexo com ângulo arbitrário. Como a corrente de carga é geralmente muito menor que a de falha o valor da impedância será muito alto em condições normais de funcionamento do sistema, encontrando-se fora da área de alcance necessária para que ele atue (STEVENSON JUNIOR, 1986).

#### 2.7.2.5 Função tabela ANSI- 81: proteção de Sub/Sobrefrequência

Segundo Caminha (1977) em um sistema elétrico de potência as quedas de frequência não podem ser toleradas por longos períodos. De acordo com Mardergan (2010) os relés de sub/sobrefrequência têm como objetivo principal atuar quando o valor da frequência cai ou se eleva em relação ao valor de frequência ajustado.

A aplicação deste relé se dá em sistemas onde pode ocorrer a perda parcial da geração, principalmente quando esta não pode ser tolerada por muito tempo. Além disso, podem ser utilizados também em sistemas onde há a necessidade de desprezar cargas para recuperar a frequência do sistema (MARDERGAN, 2010).

#### 2.7.2.6 Função tabela ANSI- 87: proteção diferencial

De acordo com Silva (2012) os relés de proteção diferencial são muito utilizados para a proteção de linhas, barras e transformadores. Ele tem como princípio comparar a corrente que entra e sai da área sob proteção, e quando esse valor excede o valor de ajuste, ele é ativado.

#### 2.7.2.7 Função tabela ANSI- 79: proteção de religamento

Dentre os muitos equipamentos de proteção utilizados em uma subestação os relés de religamento são um dos mais importantes, sua função é auxiliar o comando de religamento dos disjuntores na distribuição (LEME, 2013).

A contagem do tempo para o religamento se inicia a partir do momento em que o disjuntor é aberto (SOUZA, 2010).

Os relés de religamento apresentam como objetivo principal reduzir o tempo de interrupção e evitar sobrecargas mantendo a estabilidade das unidades geradoras com o sistema interligado. O religamento acontece através de chaves seletoras e eles também possuem um temporizador que marca o tempo que o disjuntor leva para reestabelecer suas funções dielétricas (ALMEIDA, 2008).

#### 2.7.2.8 Função tabela ANSI- 67: proteção direcional

A função dos relés direcionais está unicamente relacionada à sensibilidade em relação a direção do fluxo, portanto, quando ele é instalado em uma proteção ele deve ser utilizado em conjunto com relés de sobrecorrente ou de distância (SOUZA, 2010).

O relé direcional atua quando o valor da grandeza observada ultrapassa o ajustado ou quando a direção ajustada também sofre alteração, estes relés atuam em apenas uma direção (MARDERGAN, 2010).

### 3 METODOLOGIA

Como os investimentos em proteção de linhas de distribuição são um pouco menores, devido ao fato de que estas atendem a um menor número de consumidores a quantidade de eventos em linhas de distribuição é maior. A proteção em linhas de distribuição é bem menos complexa do que a proteção em linhas de transmissão. Porém, mesmo com o pouco investimento, as concessionárias visam uma maior qualidade de energia pelo menor custo.

Este é um tema importante para o cenário atual da Energia Elétrica no Brasil, uma vez que a cada momento nos tornamos ainda mais dependentes da energia em nosso cotidiano.

Este trabalho conta com uma revisão bibliográfica feita através de livros de Engenharia Elétrica, artigos referentes ao tema em questão, e através da busca em sites de pesquisa acadêmica, além de documentos pertencentes à subestação em estudo.

Além disso, será realizado um estudo de caso analisando as interrupções ocorridas entre o período de setembro de 2015 a fevereiro de 2016 na subestação Três Corações, que, conforme pode ser vista na Figura 4, é compartilhada e operada por uma empresa privada do mesmo município. Esta linha de distribuição apresenta tensão média de 13,8 kV, e os relés utilizados para sua proteção são do modelo *Schweitzer Engineering Laboratories -SEL- 351 A*.

Os eventos serão analisados através dos relatórios emitidos pela própria SE feitos embasados nas oscilografias e das próprias oscilografias dos relés SEL 351-A. À partir da leitura das oscilografias será possível saber a frequência da ocorrência dos eventos e quais as consequências das mesmas, uma vez que serão analisados dados como os valores de corrente, tensão, frequência, além de detalhes do evento como: tempo, duração, amplitude, permitindo observar se os parâmetros ajustados no relé e a sua seletividade estão atuando de maneira correta quando solicitados.

Figura 04 - Subestação SE Três Corações– Saída dos alimentadores



Fonte: o autor.

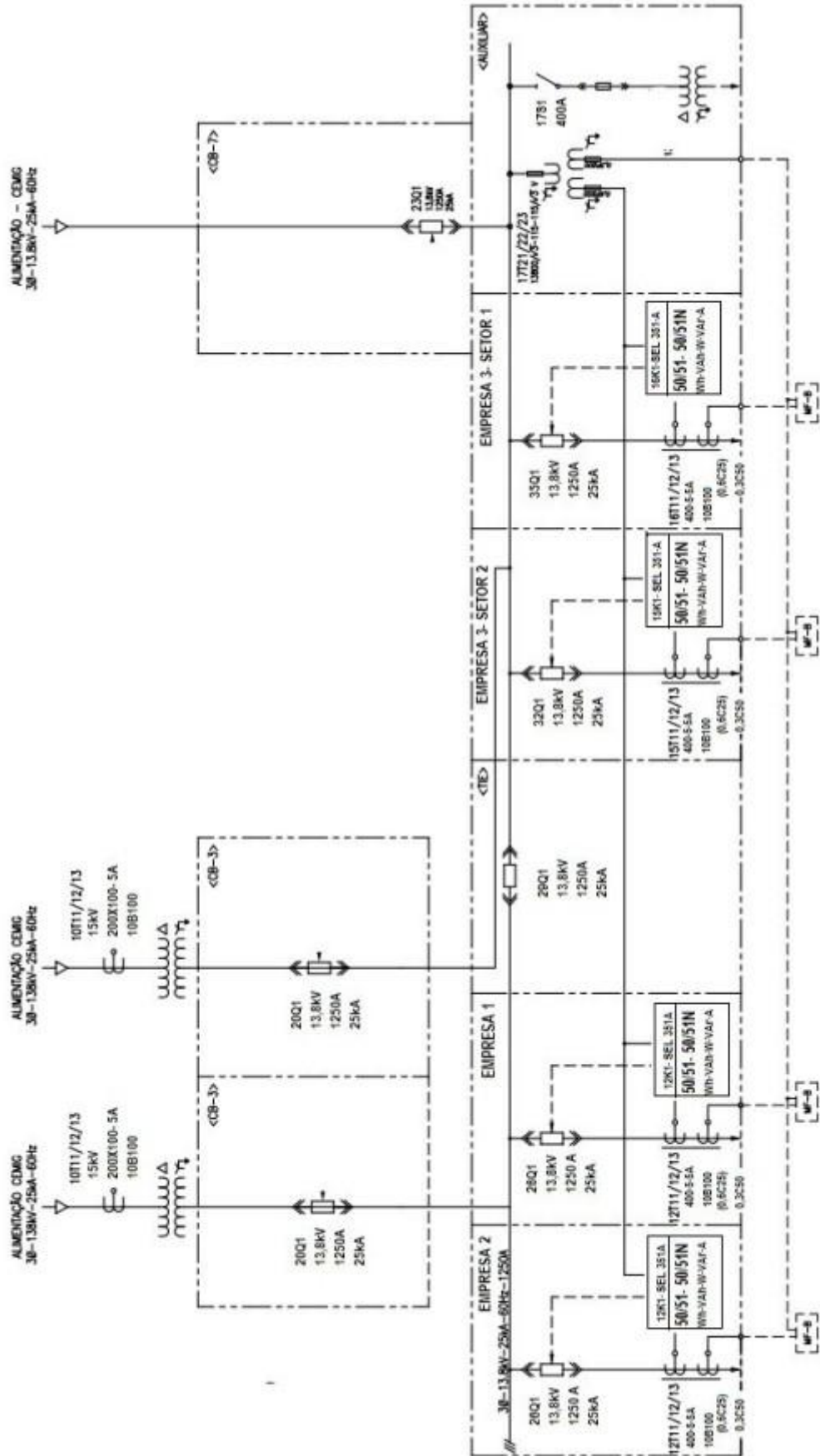
### 3.1 Descrição da linha de distribuição e Subestação escolhidas

A subestação escolhida foi a SE TRÊS CORAÇÕES, compartilhada e operada pela por uma empresa privada do município de Três Corações. A SE TRÊS CORAÇÕES é uma subestação de 138 kV, e alimenta, conforme o diagrama unifilar da Figura 05, através de linhas de distribuição de 13,8 kV, três empresas do distrito industrial da cidade de Três Corações-MG. A alimentação da Concessionária, Cemig, é realizada através de 3 alimentadores. Dois dos alimentadores alimentam os 4 ramais que realizam a distribuição para as empresas, e estes ramais são ligados entre si através de um barramento (*Tie*). O primeiro alimentador alimenta as empresas 1 e 2 e o outro alimenta os dois setores da empresa 3. Cada um dos cubículos dos alimentadores possui um relé modelo SEL 351-A que faz as leituras dos dados e envia ao disjuntor os comandos de operação quando necessário.

Foram considerados os seguintes dados:

- Distância entre a subestação e as indústrias alimentadas por ela:
  - 1ª empresa- 100 metros
  - 2ª empresa- 183 metros
  - 3ª empresa (setor 1) – 220 metros
  - 3ª empresa (setor 2) – 355 metros
- A SE Três Corações se encontra a margem da BR-381 Fernão Dias no município de Três Corações.
- Clima: mesotérmico, ameno, com temperaturas médias de 20,8° C
- Altitude: 864m acima do nível do mar
- Solo: argiloso
- Índice pluviométrico: 1554 mm
- Relevo: 70% ondulado

Figura 05- Diagrama unifilar da SE Três Corações



Fonte: SE Três Corações



Os cubículos dos alimentadores que chegam até as empresas consumidoras podem ser vistos na Figura 06.

Figura 06 - cubículos dos alimentadores



Fonte: o autor.

### 3.2 Relé SEL 351 A

Este modelo de relé, que é ilustrado nas Figuras 07 e 08, pode ser utilizado para proteção de alimentadores, linhas de transmissão, transformadores, geradores, e interligações: concessionária x consumidor com ou sem geração de energia.

Suas funções de proteção são as seguintes:

- 50/51 – sobrecorrente de fase instantânea e temporizada
- 50/51 G- sobrecorrente residual instantânea e temporizada
- 50/51 N- sobrecorrente instantânea e temporizada de neutro
- 67/67G/67Q- sobrecorrente direcional de fase, residual e de sequência negativa
- 67 N- sobrecorrente direcional de neutro
- 25- verificação de sincronismo (2 elementos independentes: fechamento manual e

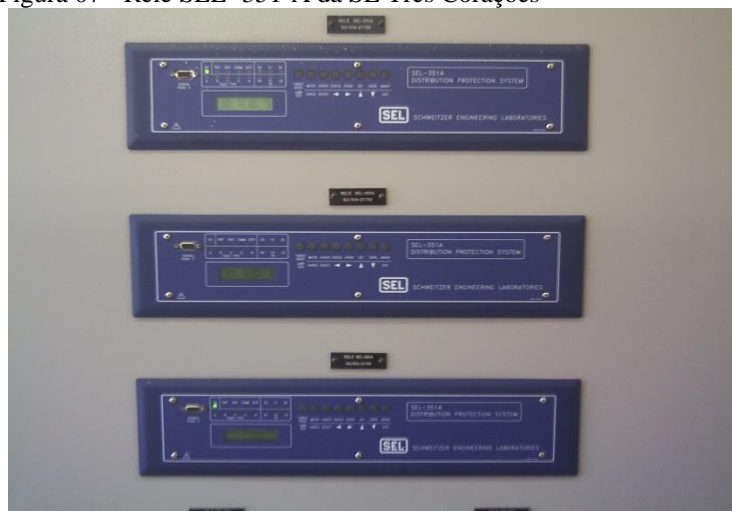
religamento automático)

- 79- religamento automático, até 4 tentativas
- 27/59- subtensão e sobretensão fase-neutro e entre fases
- 59G- sobretensão residual
- 59Q (47)- sobretensão de sequência negativa
- 50/62 BF- falha de disjuntor
- 60- perda de potencial
- 81- sub/sobrefrequência e taxa de variação de frequência
- 51/67 Hz- sobrecorrente direcional de neutro de alta sensibilidade (opcional)

Suas funções de medição incluem medições de correntes de fase, neutro, residual e de sequência, tensões de fase e de sincronismo, potências ativas e reativas por fase e trifásica, fator de potência trifásico e por fase, energia ativa e reativa por fase, frequência, registro de valores máximo e mínimo de grandezas analógicas e medição de fasores.

Além das funções de medição e proteção, ele ainda apresenta funções de monitoramento e controle que podem ser encontradas no seu manual de execução. Demais características importantes incluem a presença de um *software* amigável para parametrização, o AcSELEratorQuickSet®, servidores de *Web*, contatos *Standard* e a sua temperatura de operação é de  $-40^{\circ}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ .

Figura 07 - Relé SEL- 351-A da SE Três Corações



Fonte: o autor.

Figura 08 - relé SEL- 351-A da SE Três Corações



Fonte: o autor.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O relé SEL 351A compila os dados recebidos monitorando os valores de corrente e de tensão em cada fase da linha, além dos valores de frequência e tempo de duração da falta, possibilitando que em qualquer anormalidade ocorra o envio do sinal de desligamento para o disjuntor, comando conhecimento como comando de desligamento, o TRIP.

De acordo com Silva (2008) todas as mudanças e alterações geradas ou indicadas pelo relé são denominadas eventos, eles podem ser causados pelas mais diversas situações, como abertura de um disjuntor, partida dos elementos de proteção, energização do barramento, entre outros. Os relés armazenam as informações de corrente e tensão em cada fase, o que é útil para que se possa entender o funcionamento do sistema em situações críticas.

### 4.1 Análise dos eventos registrados pelos relés SEL 351-A

Conforme pode ser observado no Quadro 1, durante o período de análise e observação da Subestação Três Corações, o relé SEL 351A registrou um total de 10 eventos, sendo 8 ocorridos no mês de fevereiro de 2016, 1 no mês de dezembro de 2015 e, em especial 1 evento no mês de setembro de 2015, evento este que ocorreu tanto no alimentador geral quanto na empresa 2. A 1ª empresa registrou 2 eventos, a 2ª empresa registrou o evento cujo qual será analisado quanto à seletividade, a 3ª empresa apresentou 4 eventos apenas no setor 2, e o alimentador geral registrou 3 eventos.

**Quadro 1 – Frequência dos eventos no período de observação**

<b>Mês</b>	<b>Nº de eventos</b>
Setembro/2015	1
Outubro/2015	0
Novembro/2015	0
Dezembro/2015	1
Janeiro/2016	0
Fevereiro/2016	8

Fonte: o autor

Foi realizada uma análise dos eventos registrados através da oscilografia do relé SEL 351A e eles serão apresentados de acordo com a ordem cronológica na qual ocorreram, os eventos em que a falta se comportou da mesma maneira serão analisados em conjunto. Por último, será analisado o evento registrado em mais de um equipamento, permitindo assim a realização da análise da atuação da seletividade.

Para facilitar a leitura dos gráficos que serão apresentados para ilustrar cada um dos eventos, o Quadro 2 indica as cores que representam cada uma das fases e grandezas medidas.

**Quadro 2 - Legenda do software AcSElarator**

<b>Descrição</b>	<b>Cor</b>
Tensão fase A (Va)	Verde
Tensão fase B (Vb)	Azul
Tensão fase C (Vc)	Vermelho
Corrente fase A (Ia)	Roxo
Corrente fase B (Ib)	Verde Musgo
Corrente fase C (Ic)	Azul Claro
Corrente neutro (In)	Cinza

Fonte: o autor

Vale ressaltar que nessas análises os valores de tensão e corrente citados neste trabalho são os valores nominais (condições pré-falta) e os valores máximos ou mínimos atingidos pelas curvas de corrente e tensão.

Evento 1

Data e hora: 11/12/2015 às 18:22h

Localização: alimentador geral da Subestação Três Corações -138 kVA

Frequência: 60,01 Hz

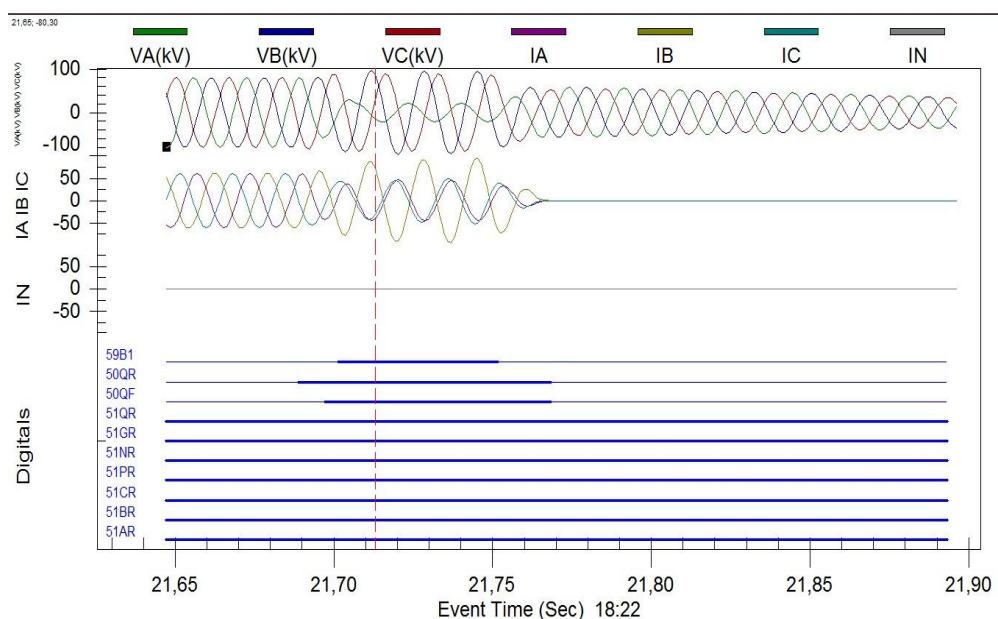
Consequência da falta: sobrecorrente e sobretensão

Correntes: A= 44 A , B= 94 A, C= 52 A , G=0 A, Q= 122 A

Conforme pode ser visto na Figura 09, o evento inicia às 18:22:21,73 h, ocorrem alterações tanto nas tensões quanto nas correntes. Ocorrem sobretensões e sobrecorrentes. A corrente da fase Ib aumenta de 60 para 94 A, enquanto as correntes de fase A e C caem, a primeira de 60 cai para 38 A e a segunda de 61 para 43 A. Isso indica que ocorreu uma falta monofásica no sistema.

Já as tensões sofrem aumento em duas fases e queda em outra. Essa alteração nas tensões são esperadas, pois, conforme pode ser comprovado através da Lei de Ohm, quanto maior a corrente, menor a tensão, ou seja, quando há o aumento do valor de corrente em uma das fases, as fases sãs do sistema reagem, afetando os valores de tensão. A tensão na fase A sofre queda de 80 para 21 V enquanto as tensões da fase B e C aumentam, de 80 para 97 V e de 80 para 87 V respectivamente.

Figura 09 – Oscilografia do Evento 1.



Fonte: Software AcSElarator.

O TRIGGER, indicado no gráfico pela linha tracejada vermelha, é o momento no qual começa a contar o tempo para o restabelecimento do sistema. Caso o restabelecimento não ocorra o relé enviará a mensagem para o disjuntor abrir, ou seja, o comando de desligamento, denominado TRIP. Neste caso o TRIP ocorre às 18:22:21,73h. Às 18:22:21,7661 o circuito se abre por completo, indicando que o relé atuou corretamente. Nesta subestação em estudo, o religamento é feito pelo operador.

Analisando os flags digitais, podemos perceber quais as funções atuaram neste evento. As funções que atuaram foram as 50, 51 e 59, que são, respectivamente funções de sobrecorrente instantâneo, sobrecorrente temporizado e sobretensão.

Após a abertura do disjuntor e a extinção da falta, percebida através da ausência de carga, ao analisar as curvas de tensão pode ser percebida uma queda exponencial dos valores de tensão, isso se dá devido ao amortecimento de cargas, que existe uma vez que as empresas são empresas que apresentam grandes motores.

Os eventos 2 e 3 que serão analisados abaixo, apresentam ondas na oscilografia que se comportam da mesma maneira que no evento 1, causando falta monofásica, aumento da corrente em uma das fases, e aumento da tensão nas fases sãs, e após a abertura do disjuntor, ocorre a queda exponencial do valor da tensão, devido ao amortecimento das cargas. Outra semelhança entre os eventos 1, 2 e 3 está nas funções que atuaram: a sobrecorrente instantânea, sobrecorrente temporizada e a sobretensão. Segue abaixo a leitura das oscilografias dos eventos 2 e 3 para que o comportamento semelhante possa ser observado.

## Evento 2

Data e hora: 07/02/2016 às 21:26h

Localização: alimentador geral da Subestação Três Corações -138 kVA

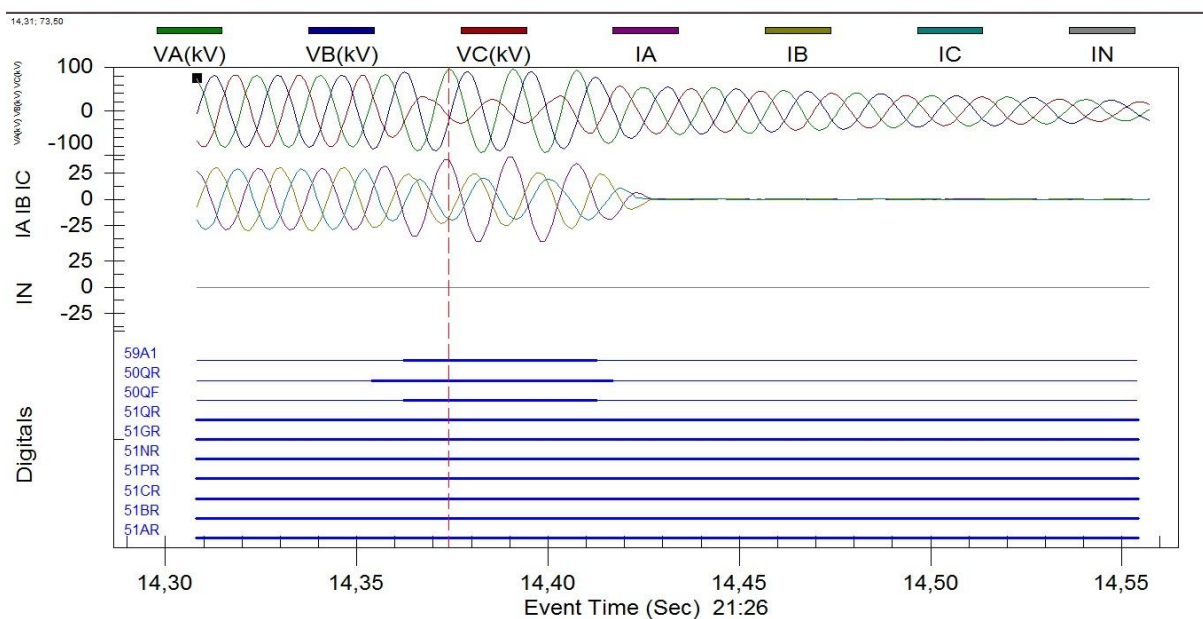
Frequência: 60,00 Hz

Consequência da falta: sobrecorrente e sobretensão.

Correntes: A= 41 A , B= 25 A, C= 20 A , G= 0A, Q= 44 A

Conforme pode ser observado na Figura 10, a primeira alteração começa a ocorrer na tensão de fase C às 21:26:14,3594h. A tensão de fase C sofre queda de 80,76 para 26,9 V, e as tensões da fase A e B sobem de 82,10 para 95,40 V e de 82 para 90,30 V, nesta ordem. Já na corrente, a corrente na fase A sofre um aumento de 29 para 40 A desestabilizando as outras duas correntes que caem de 30 para 24 A e de 29 para 11 A, fase B e C respectivamente.

Figura 10 – Oscilografia Evento 2.



Fonte: Software AcSELarator.

O TRIGGER inicia em 21:26:14374h e o TRIP, com a abertura por completo do circuito ocorre em 21:26:14,4281 indicando novamente que o relé atuou de forma correta.

## Evento 3

Data e hora: 10/02/2016 às 00:30h

Localização: disjuntor geral da Subestação Três Corações -138 kVA

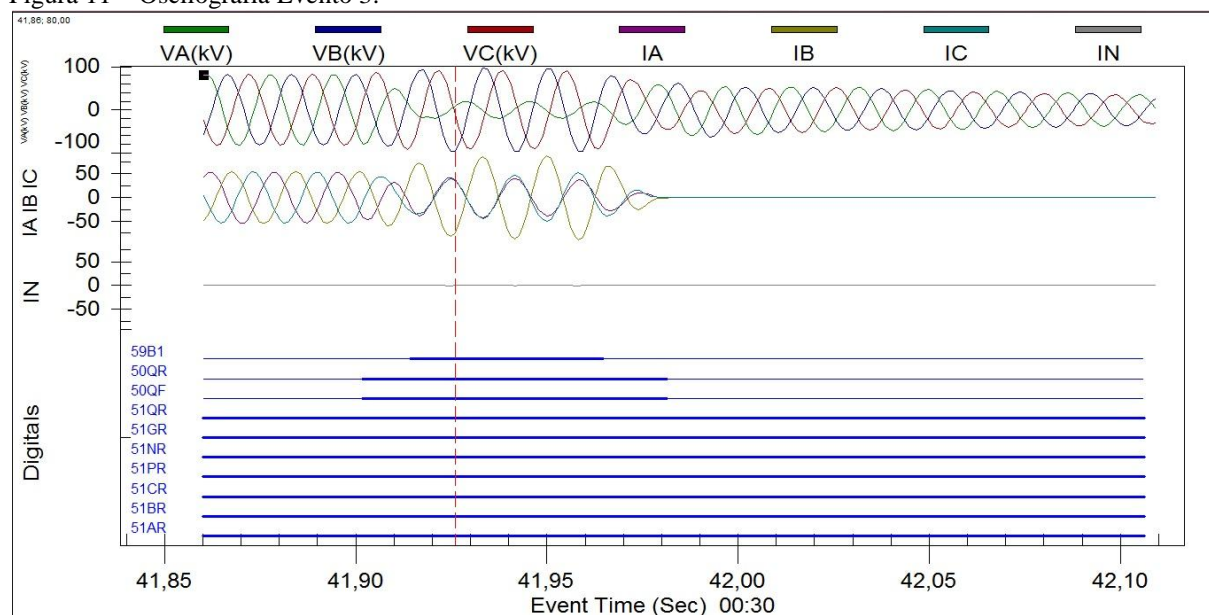
Frequência: 60,01 Hz

Causa da interrupção: sobrecorrente e sobretensão.

Correntes: A= 36 A , B= 89 A, C= 51 A , G= 0A, Q= 127 A

De acordo com a Figura 11, o evento inicia às 00:30:41,90 quando há a queda de corrente da fase C. As correntes das fases A e C sofrem queda, respectivamente de 53 para 10 A e de 54 para 39 A, isso ocorre quando há sobrecorrente na fase B que aumenta de 54 para 88 A. A tensão da fase A sobre queda de 81,30V para 19,20V e as tensões das fases B e C sobem, na fase B de 82,10 para 95,8 V e na fase C de 82 para 91,20 V.

Figura 11 – Oscilografia Evento 3.



Fonte: Software AcSElarator.

O TRIGGER inicia às 00:30:41,926h e a abertura completa do circuito ocorre às 00:30:41,98h, com o relé atuando conforme o previsto.

Os eventos 1, 2 e 3 ocorrem todos no Alimentador Geral da Subestação, indicando que no momento do evento, com a atuação do relé, ocorre a abertura do circuito por completo, interrompendo o fornecimento para todas as 3 empresas. Desta forma, as faltas que acometem tal alimentador são as que merecem maior atenção, uma vez que prejudicam todos os consumidores.

Abaixo seguem as análises das oscilografias dos eventos 4 e 5. Ambos possuem um comportamento diferente dos 3 eventos analisados acima. Ocorre falta monofásica, com sobrecorrente em ambos os eventos na fase A e as tensões não sofrem alteração de onda. Portanto as funções que atuaram foram as funções 50 e 51, relativas a sobrecorrente apenas. Outro comportamento importante que deve ser analisado é que ocorreram dois eventos seguidos em um curto espaço de tempo, tanto que foram registrados na mesma leitura.



Isso pode ser observado em ambas as oscilografias, quando é perceptível que ocorre a sobrecorrente na fase A, ela volta a cair tentando se estabilizar, e logo em seguida há novo pico de corrente elevada na mesma fase. Esse comportamento é um comportamento que indica que ocorreu a falta, houve o TRIP, o disjuntor abriu e em seguida foi fechado sobre a falta, desta forma, a proteção atua novamente, abrindo o disjuntor em seguida novamente, eliminando a falta.

#### Evento 4

Data e hora: 16/02/2016 às 05:29h

Localização: 1ª empresa

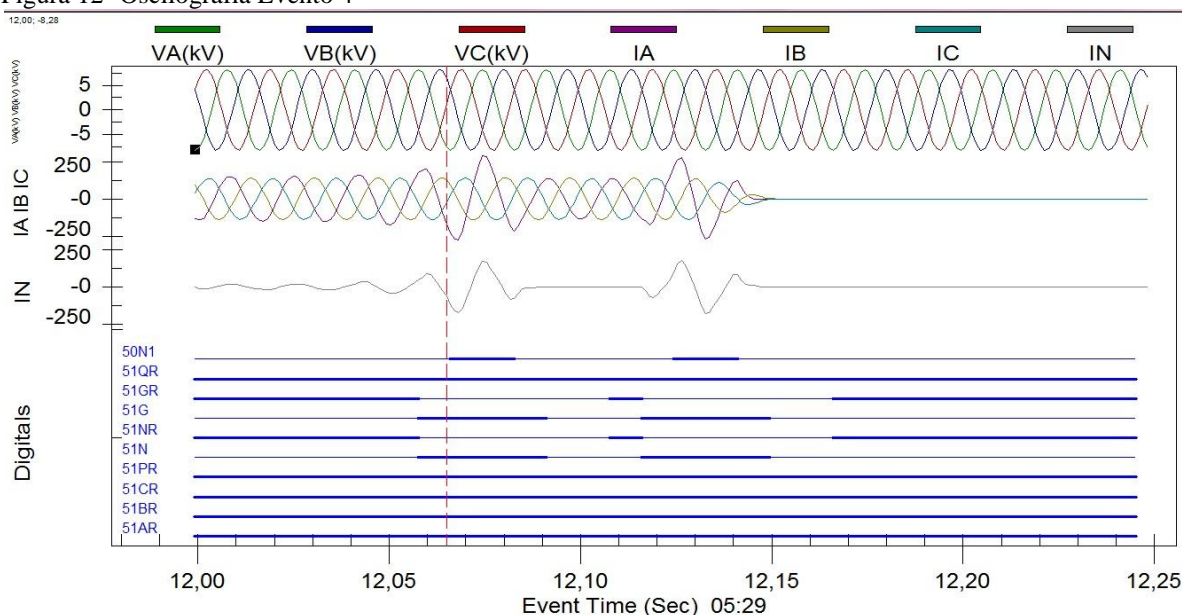
Frequência: 59,98 Hz

Consequência da falta: sobrecorrente.

Correntes: A= 310 A , B= 144A, C= 139 A , G= 191A, Q= 159 A

A Figura 12, mostra que o início do evento se dá às 05:29:12h quando começa a ocorrer alteração na forma de onda da corrente de neutro. Neste evento além da sobrecorrente na fase A, ocorre também sobrecorrente no neutro, está chegando ao seu valor máximo de 178 A. As correntes da fase B e C, mantém o equilíbrio, com pouca alteração, variando de 135 a 142 A, ao mesmo tempo a corrente de fase A sofre aumento de 147 para 289 A.

Figura 12- Oscilografia Evento 4



Fonte: Software AcSElarator.

Neste evento não ocorre alterações de tensão em nenhuma das fases. O TRIGGER inicia às 05:29:12,065, e a abertura do circuito por completo, TRIP, ocorre às 05:29:12,15h.

#### Evento 5

Data e hora: 16/02/2016 às 05:34h

Localização: 1ª empresa

Frequência: 59,98 Hz

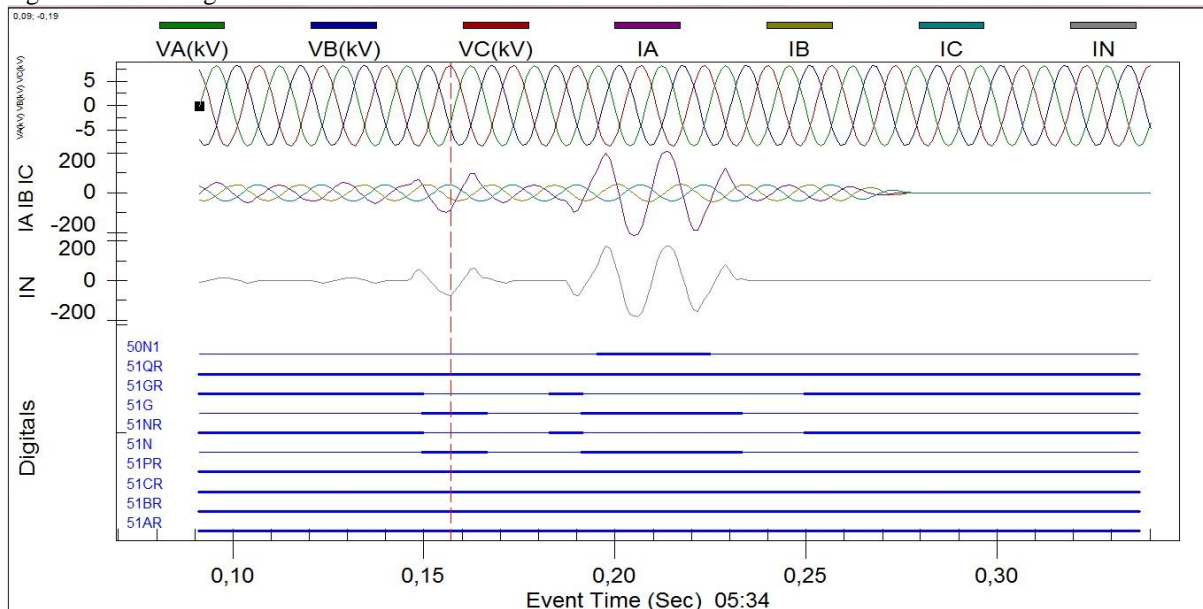
Causa da interrupção: sobrecorrente.

Função ativada: INST 50 – sobrecorrente instantâneo

Correntes: A= 233 A , B= 43 A, C= 40 A , G= 206 A, Q= 210 A

Este 5º evento, conforme a Figura 13 ilustra, é semelhante ao anterior e ocorrido alguns segundos depois, indicando que houve o religamento do circuito e em seguida ocorre novamente o distúrbio. Assim como o 4º evento, este não apresenta alterações na tensão em nenhuma das fases, ocorrendo apenas sobrecorrente na fase A e no neutro. A fase A sobe de 51 para 209 A, enquanto as fases B e C mantêm suas correntes entre 40 e 42 A.

Figura 13 – Oscilografia Evento 5



Fonte: Software AcSELarator.

O início do evento é às 05:34:00,091375 com alteração na onda da corrente de neutro, o TRIGGER inicia às 05:34:00,157h e a abertura completa do circuito interrompendo o fornecimento ocorre às 05:34:00,277833h, com o relé atuando conforme programado.

Os eventos que serão relatados abaixo: 6,7, 8 e 9, ocorreram todos no mesmo dia, com

diferenças pequenas de tempo entre si, indicando alguma falha que só conseguiu ser corrigida após a 4ª interrupção.

#### Evento 6

Data e hora: 22/02/2016 às 05:27h

Localização: 3ª empresa setor 2

Frequência: 59,99 Hz

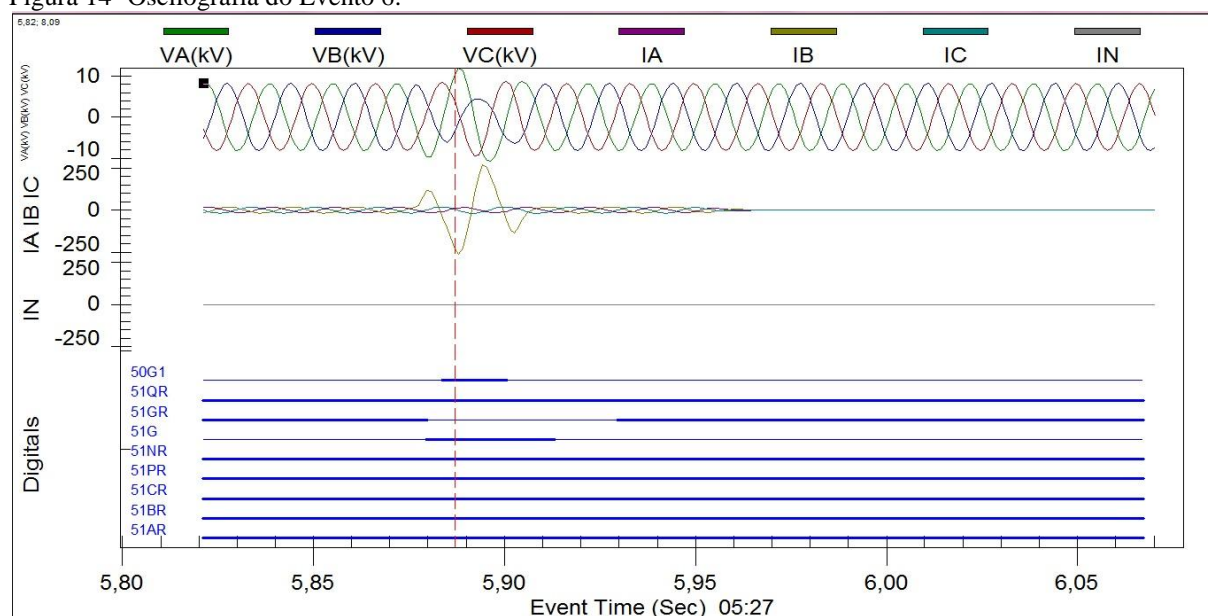
Causa da interrupção: sobrecorrente e sobretensão.

Função ativada: INST 50 – sobrecorrente instantâneo

Correntes: A= 15 A , B= 252 A, C= 19 A , G= 238 A, Q= 263 A

O início do evento ocorre no instante 05:27:05,8765h , conforme pode ser observado na Figura 14, com uma sobrecorrente na fase B. Tal fase varia de 18 para 271 A, enquanto isso as fases A e C permanecem variando baixíssimo entre 15 e 18 A. Neste evento não há alteração na corrente de neutro. Nas tensão também ocorre uma elevação nas fases A e C, que variam de 8 para 11,90 V e de 8,23 para 8,63 V , respectivamente. A fase B sofre uma queda de 8,16 para 4,28 V.

Figura 14- Oscilografia do Evento 6.



Fonte: Software AcSELarator.

O TRIGGER inicia em 05:27:05,887h e a abertura do circuito por completo pela primeira vez ocorre às 05:27:05,964h.

### Evento 7

Data e hora: 22/02/2016 às 06:08h

Localização: 3ª empresa setor 2

Frequência: 60,03 Hz

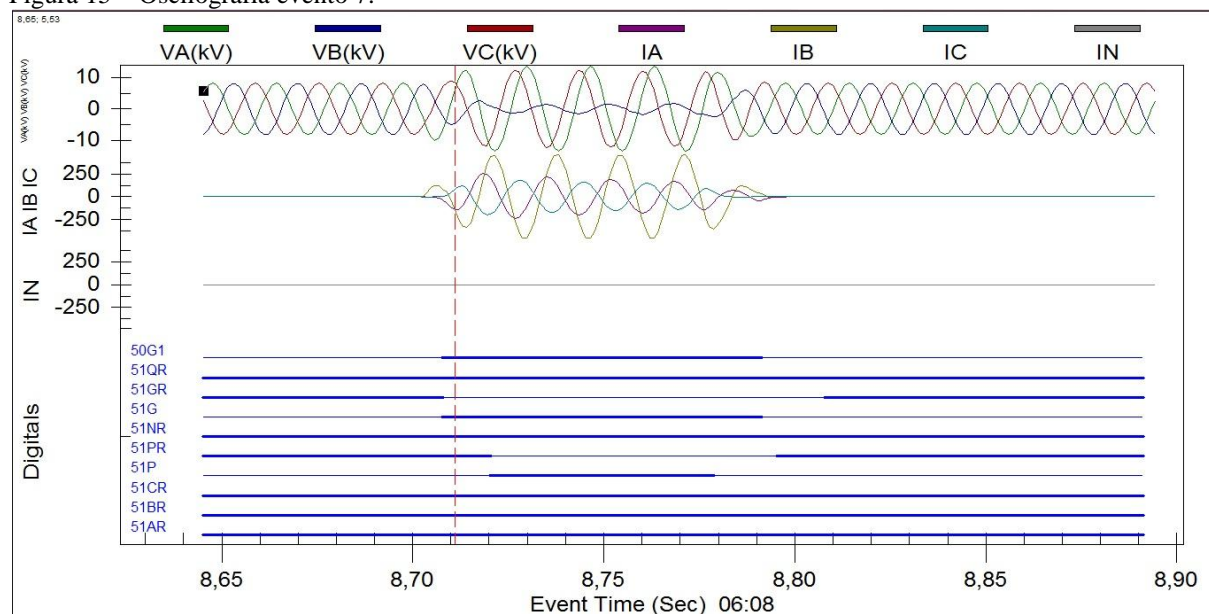
Causa da interrupção: sobrecorrente e sobretensão.

Função ativada: INST 50 – sobrecorrente instantâneo

Correntes: A= 234 A , B= 465 A, C= 184 A , G= 456 A, Q= 315 A

Segundo a Figura 15,este evento teve início às 06:08:08,702667h com uma pequena elevação da corrente na fase Ib. As três correntes de fase, Ia, Ib e Ic, sofreram sobrecorrente, alterando de 142 para 256 A, 123 para 457 A e 116 para 182 respectivamente. Já as tensões começam equilibradas, todas com o valor aproximado de 8,23 V, e no momento do evento as tensões das fases A e C aumentam para 13,50 V e 12,30 V nesta ordem, enquanto a tensão da fase B sofre queda para 1,50 V.

Figura 15 – Oscilografia evento 7.



Fonte: Software AcSElarator.

O TRIGGER ocorreu às 06:08:08,711h e o circuito abriu novamente após o evento 6, às 06:08:08,7985h.

### Evento 8

Data e hora: 22/02/2016 às 06:30:00h

Localização: 3ª empresa setor 2

Frequência: 59,99 Hz

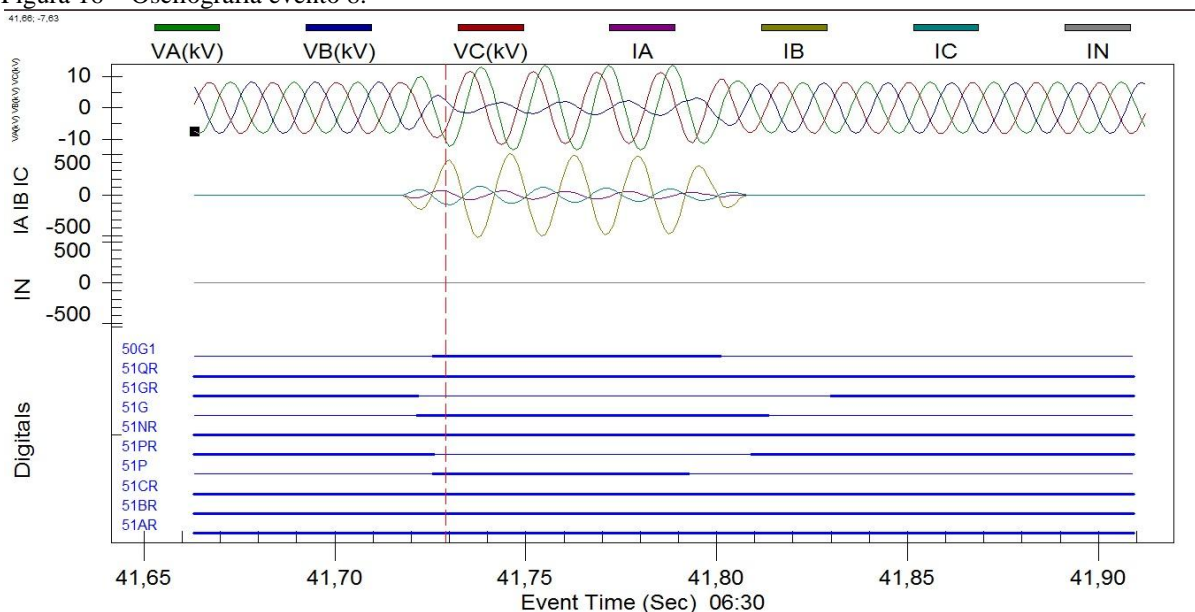
Causa da interrupção: sobrecorrente e sobretensão.

Função ativada: INST 50 – sobrecorrente instantâneo

Correntes: A= 54 A , B= 521 A, C= 110 A , G= 456 A, Q= 510 A

A Figura 16, indica que o início ocorre com alterações das ondas da corrente em todas as fases, às 06:30:41,717542h. As correntes das fases B e C sofrem aumento, com a fase B chegando a um valor de corrente de 508 A e a da fase C alterando seu valor de 64 para 107 A (valor máximo). Já as tensões inicialmente apresentam-se equilibradas, com valores de aproximadamente 8,23 V em todas, sendo que as da fase A e C sofrem aumento e a da fase B queda. Fase A altera seu valor de 8,23 para 13,60 V, a tensão na fase B cai de 8,16 para 1,78 e a da fase C aumenta de 8,12 para 11,70 V.

Figura 16 – Oscilografia evento 8.



Fonte: Software AcSELarator.

As alterações ocorrem até que o circuito se abre por completo às 06:30:41,808167h, poucos milésimos de segundo após o TRIGGER que ocorre às 06:30:41,729h.

Evento 9

Data e hora: 22/02/2016 às 06:35h

Localização: 3ª empresa setor 2

Frequência: 59,99 Hz

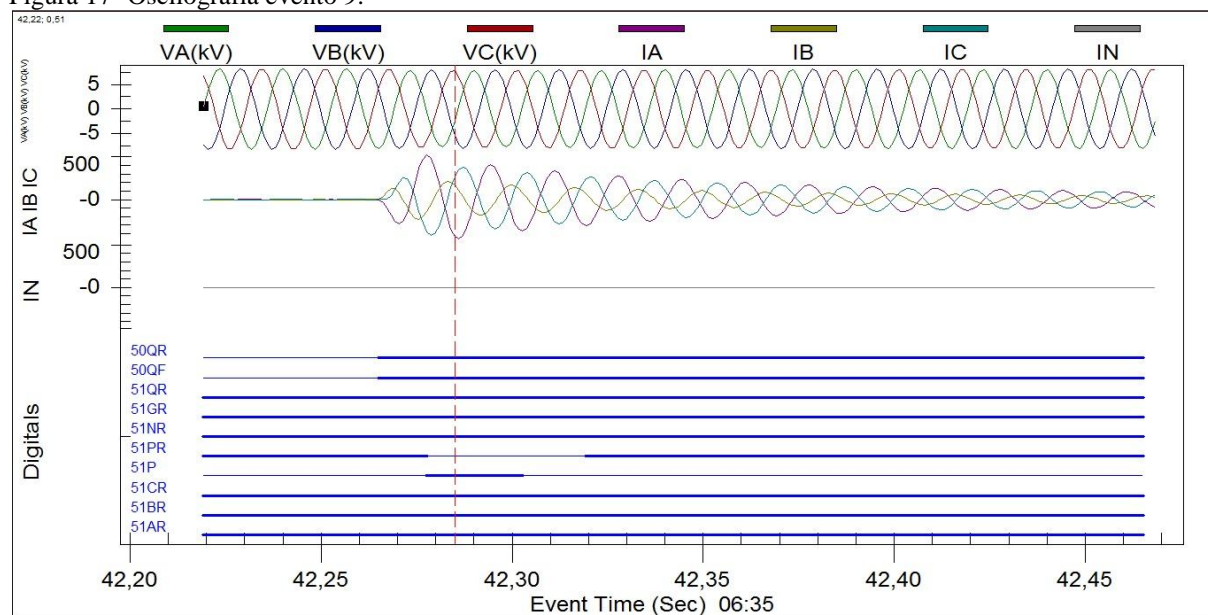
Causa da interrupção: sobrecorrente.

Função ativada: não houve.

Correntes: A= 516 A , B= 230 A, C= 424 A , G= 2 A, Q= 500 A

Este é o último evento que ocorre sucessivamente no mesmo na empresa 3, após ele não houveram outros eventos, indicando que o sistema se reestabeleceu. Este último evento iniciou às 06:35:42,265208h, como mostra a Figura 17, com as alterações nas ondas de corrente em todas as fases. A corrente da fase Ia alcançou um valor máximo de 522 A, a da fase B 211 A e a da fase C 384 A.

Figura 17- Oscilografia evento 9.



Fonte: Software AcSElarator.

Neste evento não houve alterações em nenhuma das fases das tensões. O TRIGGER iniciou as 06:35:42,285h e não houve abertura do circuito por completo, indicando que o sistema foi reestabelecido sozinho e dentro do tempo programado pelo relé SEL- 351 A. A corrente com o tempo foi diminuindo e buscando a sua estabilização.

Os eventos 6, 7, 8 e 9, conforme dito anteriormente, ocorreram no mesmo setor da empresa 3, todos no mesmo dia, e com pouco tempo de intervalo entre eles. Isto causa um efeito que pode ser observado nos eventos 7,8 e 9, onde ao abrir o circuito por completo no evento 6, a empresa permanece sem carga, com correntes nominais em todas as fases com valor zero, até o momento onde começa a ocorrer o distúrbio, causando alterações na onda. No evento 9, inicialmente a empresa também encontra sem carga, o distúrbio ocorre e a partir do milésimo de segundo 42,350 os valores das correntes começam a diminuir e a se equilibrarem, indicando que o sistema conseguiu se restabelecer antes do momento de abertura do circuito pelo disjuntor.

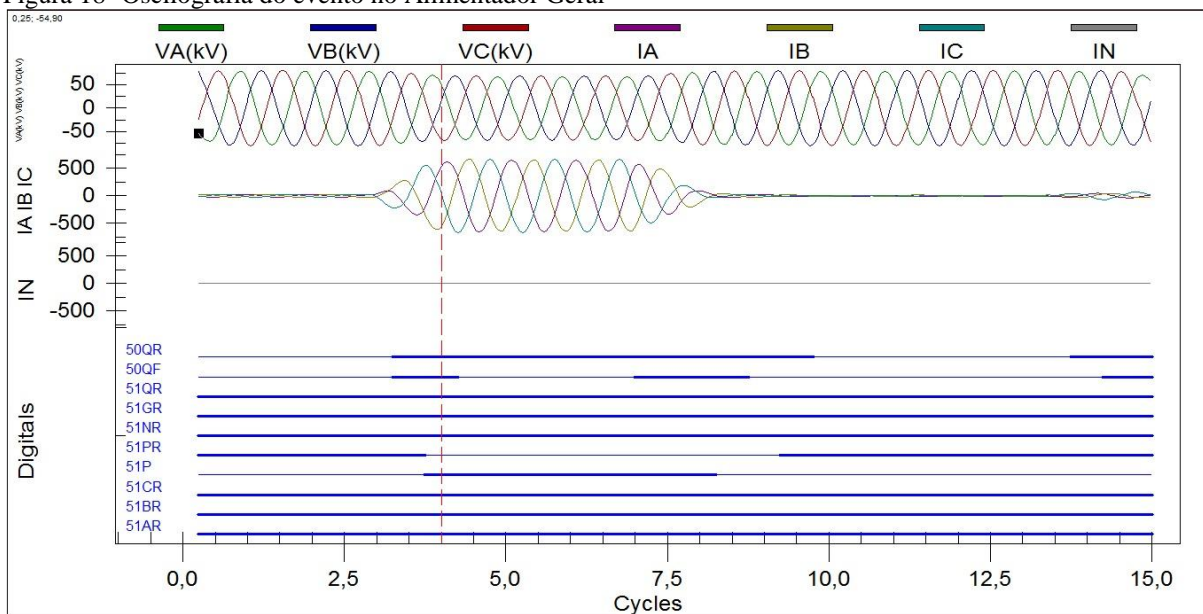


## 4.2 Análise da Seletividade dos relés de proteção da Subestação Três Corações

Os eventos anteriormente descritos ocorreram isoladamente em um dos relés, portanto, não foi possível analisar se a seletividade está atuando na Subestação. Porém, o último evento que será descrito, foi o primeiro evento que ocorreu na ordem cronológica durante o período de observação da subestação, porém será o último a ser descrito devido ao fato de ter sido registrado em 3 relés simultaneamente, permitindo assim que a seletividade seja analisada.

Este evento ocorreu em 30 de setembro de 2016, e foi registrado pelo relé do barramento, pelo relé do alimentador geral e pelo relé da empresa 2. As figuras 18, 19 e 20 apresentam respectivamente as oscilografias em ciclos do Alimentador Geral, do Barramento e do alimentador da Empresa 3.

Figura 18- Oscilografia do evento no Alimentador Geral



Fonte: Software AcSELarator

### Evento no Alimentador Geral

Data e hora: 30/09/2015 às 07:47h

Frequência: 60,00 Hz

Consequência da falta: sobrecorrente.

Houve sobrecorrente em todas as fases e um leve abaixamento de tensão nas 3 fases também, conforme esperado, porém o circuito logo voltou a se comportar de maneira esperada, voltando a se estabilizar e voltando às suas condições iniciais pré-evento (pré-falta).

As funções de sobrecorrente temporizada e instantânea atuaram, porém não houve o comando TRIP, indicando que ao iniciar o TRIGGER outro relé atuou antes da necessidade do disjuntor do alimentador geral receber o comando para abrir.

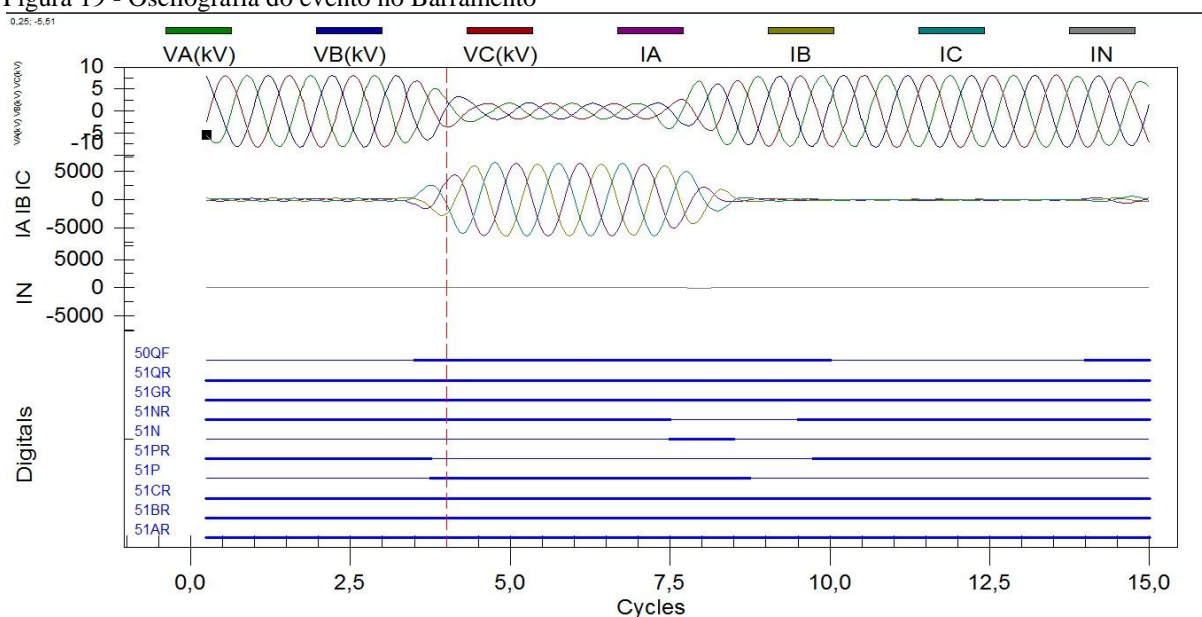
Evento registrado no barramento

Data e hora: 30/09/2015 às 07:47 h

Frequência: 59,99 Hz

Consequência da falta: sobrecorrente e afundamento de tensão.

Figura 19 - Oscilografia do evento no Barramento



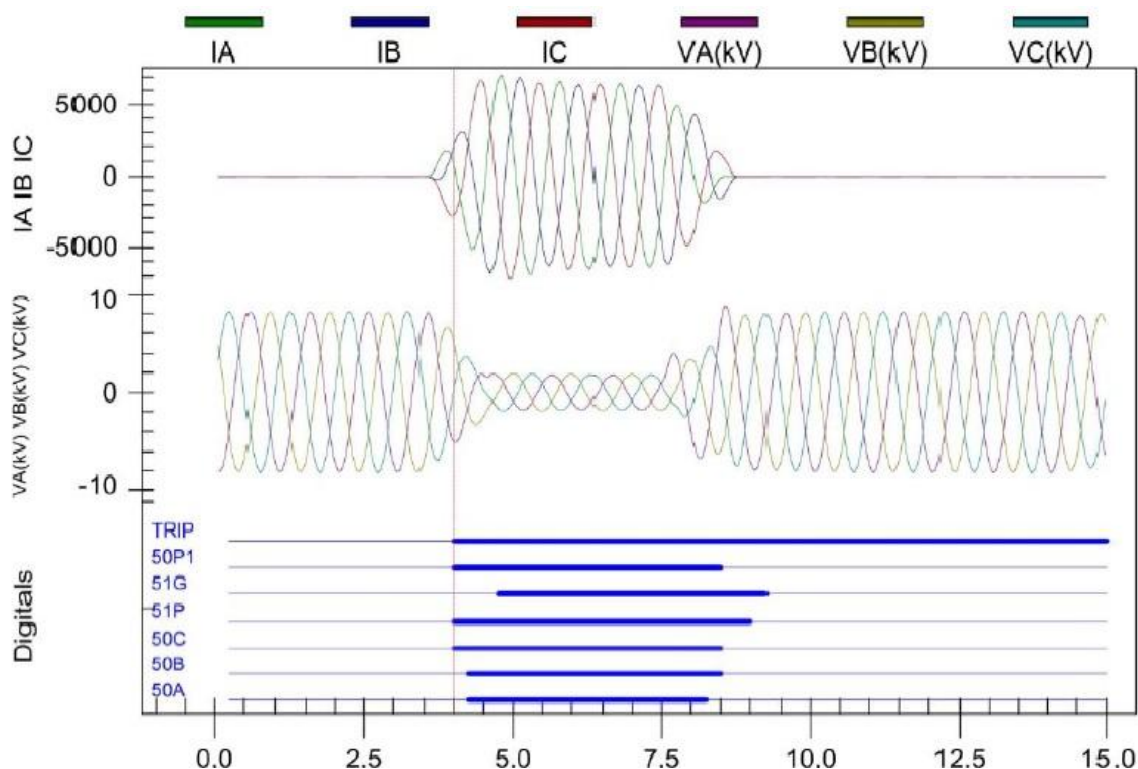
Fonte: Software AcSELarator

O evento registrado no barramento, assim como o evento registrado no alimentador geral ocorreu às 7:47 h, nele também houve sobrecorrente em todas as fases e consequentemente e conforme esperado de acordo com a Lei de Ohm, houve o afundamento da tensão em todas as fases.

As funções que atuaram nesse evento foram as funções de sobrecorrente temporizada e instantânea, o TRIGGER iniciou no ciclo 4, porém, assim como no evento do alimentador geral não houve o comando TRIP, indicando novamente que outra proteção atuou antes do seu disjuntor necessitar ser aberto.



Figura 20 – Oscilografia do evento no relé da Empresa 2



Fonte: Software AcSELarator

O evento iniciou às 07:47h e foi registrado pelos relés que ele abrangia além da Empresa 2, o barramento e o alimentador geral de 138 kV. O TRIGGER iniciou no ciclo 4 ativando as funções de sobrecorrente e sobretensão. Às 07:47:33,910375 h o TRIP do relé de proteção do circuito de média tensão da Empresa 2 atuou, conforme pode ser observado pela Figura 20, próximo ao ciclo 9, abrindo o disjuntor e eliminando a falta. A atuação do relé no alimentador do circuito da Empresa 2 manteve o barramento e o alimentador geral funcionando.

De acordo com o Projeto Unifilar já apresentado neste trabalho, se o disjuntor do alimentador da Empresa 2 não tivesse atuado, a Empresa 1 também seria desligada pois a proteção atuaria abrindo o disjuntor do barramento. Da mesma maneira, se a proteção do barramento não tivesse atuado, a proteção do Alimentador Geral que iria, por sua vez, atuar, o que causaria o desligamento dos 4 alimentadores dos circuitos das 3 empresas.

Como a proteção do relé atuou no disjuntor mais próximo ao local da falta, isolando o circuito afetado e impedindo que a falta atingisse os demais circuitos, conclui-se que o estudo de seletividade da Subestação se encontra atualizado e parametrizado de acordo com as necessidades do sistema.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proteção eficaz e de alta confiabilidade é de extrema importância para que o fornecimento de energia atenda aos requisitos de qualidade. Cada vez mais se torna importante evitar as interrupções de fornecimento ou, quando isso não é possível o ideal é diminuir a frequência delas, afetar o menor número de consumidores possível e restabelecer o fornecimento no menor tempo possível.

Os relés de proteção são elementos importantíssimos nesse sistema de proteção. Eles apresentam as mais variadas funções e são instalados nas redes de transmissão e de distribuição de energia de acordo com a necessidade do local.

Através do estudo de caso na SE Três Corações compartilhada e operada por uma empresa privada do município de Três Corações, foram analisadas as interrupções que ocorreram nas linhas de distribuição que alimentam três empresas do distrito industrial da cidade de Três Corações-MG.

Com o levantamento dos dados através da revisão bibliográfica e do estudo de caso analisando a oscilografia dos relés SEL- 351-A foi possível concluir a importância dos sistemas de proteção em linhas de distribuição para evitar que o sistema sofra com perturbações ou descargas atmosféricas, além disso, com posse de tais dados é possível permitir que o sistema de proteção atue com maior rapidez, facilitando a análise e a identificação de falhas.

Obter dados após um evento é essencial para identificar os problemas e evitar novas faltas ou para que, quando não for possível evitar um evento, na ocorrência de um, facilitar o restabelecimento do sistema o mais breve possível.

Ocorreram 10 eventos nos 6 meses em que foram realizados a análise, sendo que, a maior concentração de eventos foi no mês de fevereiro, mês onde a incidência de chuva foi maior, o que, pode ter causado a incidência de descargas atmosféricas nas linhas de distribuição causando as perturbações e gerando os eventos. A maior parte dos eventos gerou sobrecorrente.

Com a ocorrência de um evento registrado simultaneamente pela proteção do Alimentador Geral, do Barramento e do ramal da Empresa 2, foi possível analisar se a seletividade dos relés da Subestação Três Corações estava atuando de maneira eficiente. Pôde-se concluir através da análise das oscilografias dos três pontos abrangidos que o relé que atuou e enviou o comando TRIP para o disjuntor abrir foi o relé mais próximo ao local da falta.

À partir desta atuação pôde ser evitado que, num primeiro momento outra empresa além da Empresa 2 fosse desligada, e num segundo momento, caso a proteção do Alimentador Geral necessitasse atuar, que todo o sistema fosse desligado, causando interrupção do fornecimento para todas as 3 empresas. Como o relé do ramal de circuito alimentador da Empresa 2 atuou de acordo com a seletividade, ocorreu a interrupção apenas nesse ramal, o restante do sistema foi reestabilizado.

Quando a seletividade ocorre os impactos da interrupção são menores, pois um menor número de consumidores é afetado, o que é uma busca constante das concessionárias de energia.

Pôde-se concluir também que os relés SEL 351-A estão atuando de maneira correta conforme foram ajustados, uma vez que ao ocorrer o TRIGGER, que é o início da contagem para que a mensagem ao disjuntor seja enviada, o relé aguarda o restabelecimento do sistema por si só e quando o mesmo não ocorre, o circuito é aberto por completo, ou seja, o relé analisa as informações, conta o tempo e dispara a mensagem para o disjuntor de maneira eficaz.

Devido ao fato deste trabalho ter utilizado dados reais para o seu desenvolvimento, dados cedidos pela Subestação Três Corações, o mesmo se torna extremamente valioso para o meio acadêmico por ser um exemplo prático.

As informações contidas neste Trabalho de Conclusão de Curso abrem caminhos para outros possíveis trabalhos, como por exemplo:

- Análise da proteção de sistemas elétricos em outra área de abrangência, como por exemplo, em linhas de transmissão.
- Elaboração de um estudo de seletividade para uma linha de distribuição onde a seletividade não ocorre de maneira correta.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A.L.V. **Ajuste e coordenação de relés de sobrecorrente**. Rio de Janeiro: UFRJ, jan. , 2008.
- BRÜGER, R. M. **Modelagem de linhas de transmissão utilizando aplicações computacionais do visual basic**. Aracaju: Faculdade Pio Décimo, 2008.
- CAMINHA, A.C. **Introdução à proteção dos sistemas elétricos**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.
- CUNHA, L. Relés e contatores. **Rev. O setor elétrico**, São Paulo, v. 45, out. 2009.
- DISTRIBUIÇÃO de energia elétrica: Proteção de sistema aéreo de distribuição 2B, São Paulo: UNESP-Departamento de Engenharia elétrica, [2015]. Disponível em: <[http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/2b\\_protacao\\_de\\_sistema\\_aereo\\_de\\_distribuicao.pdf](http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/2b_protacao_de_sistema_aereo_de_distribuicao.pdf)> Acesso em: 20/08/2015.
- FERRACINI, B.Z.; BELLAN, J.C.; ZIOLKOWSI, V. **Norma ND. 62**. Campinas: Elektro Eletricidade e serviços SA 2014.
- FERRARO, A. G.; ARTICO, M.; BIANCO, B. A. **Proteção de sistemas elétricos de potência com ênfase em linhas de transmissão**. Itatiba: Universidade São Francisco, 2013.
- GARCIA, D. A. A. ; DUZZI JR, F. E. Aspectos de sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. **Rev. O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 73, n. 1., 2012.
- GOES, A. R. **Modernização da proteção de sistemas elétricos de potência**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.
- LAURENTI, M.T. **Um algoritmo aplicado à localização digital de faltas em linhas de transmissão utilizando dados de dois terminais**. São Carlos: USP, 2008.
- LEME,D.M. et al. **Sistema de Produção da Rede de Distribuição de Energia**. Itatiba: Universidade São Francisco, 2013.
- MADERGAN, C. .Dispositivos de proteção – Parte II. **Rev. O setor elétrico**, ed. 51. São Paulo,2010.
- ONS- Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2012. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>> Acesso em: 15/08/2015.
- PESSANHA, J.F.M., et al. Um modelo de análise envoltória de dados para o estabelecimento de mteas de continuidade do fornecimento de energia elétrica. **Rev. Pesquisa Operacional**, v.27, n.1, p51-83, Jan a abri, 2007.
- SILVA, M. G. M. **Avaliação de desempenho de relés de proteção digital**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2012.

**SILVA, R. A. Comportamento da função de proteção de sobrecorrente instantânea frente a distorções harmônicas nos relés de proteção numéricos.** São Carlos: Universidade de São Paulo, 2008.

SILVEIRA, F. T. ; GALVANI, G. T. ; SOUZA, E. D. Coordenação entre religador e seccionizador em redes de distribuição. **Rev. E-xacta**, v.4, n.3, p. 219-225. Belo Horizonte: UniBH, 2011.

SOUZA, M.P. de M. G. **Coordenação da proteção se um sistema elétrico de potência interligado utilizando relés de sobrecorrente e de distância.** Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2010.

STEVENSON JUNIOR., W. D.; **Elementos de análise de sistemas de potência.** 2 ed. São Paulo: Mc Graw-Hill, 1986.