



**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

Manuella Martins do Nascimento

**ESTUDO E DIAGNOSTICO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE  
REDES ELETRICAS**

Campina Grande, Paraíba  
Março de 2016

MANUELLA MARTINS DO NASCIMENTO

# ESTUDO E DIAGNOSTICO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE REDES ELETRICAS

*Relatório de Estágio submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Proteção de Redes Elétricas

Orientador:

Professor Franciso Dias Chagas, D.Sc.

Campina Grande, Paraíba.  
Março de 2016

MANUELLA MARTINS DO NASCIMENTO

# ESTUDO E DIAGNOSTICO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE REDES ELETRICAS

*Relatório de Estágio submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Proteção de Redes Elétricas

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**

Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Francisco Chagas, D. Sc.**

Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a Deus, minha família, amigos e a todos aqueles que me acompanharam nesta caminhada.

*“Tudo é vivo e tudo fala ao nosso redor,  
embora com vida e voz que não são humanas,  
mas que podemos aprender a escutar,  
porque muitas vezes essa linguagem secreta  
ajuda a esclarecer o nosso próprio mistério.”*

Cecília Meireles

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela minha vida e por me conceder a oportunidade e o suporte para cursar uma graduação.

Agradeço também aos meus pais, por todo o esforço que tiveram em me proporcionar uma boa educação, que, dentre todas as dificuldades, sempre me ofereceram o melhor estudo possível.

Agradeço ainda a minha irmã, amigos e familiares, pelo incentivo, pelos momentos de alegria e descontração e pela colaboração em minha vida acadêmica.

Reconheço, em especial, ao trabalho do professor Francisco Dias Chagas, que me orientou e cooperou com o trabalho, e regracio-o pela chance e pelo compartilhamento dos seus conhecimentos, os quais foram de extrema importância.

Enfim agradeço a todas as pessoas com as quais tive a oportunidade e o privilégio de conviver durante minha formação, que de alguma forma passaram pela minha vida e contribuíram para a construção do profissional que sou hoje.

## RESUMO

O presente relatório descreve o trabalho desenvolvido durante a minha estadia na equipe de energia na empresa NetCeler, entre 12 de Março e 12 de agosto de 2013.

Este trabalho consistiu na realização de um modulo de um sistema de diagnóstico para proteger redes elétricas (transporte, distribuição), tratando-se de uma extensão do software de potência com um novo módulo funcional. O chamado módulo de diagnóstico do sistema de proteção é capaz de identificar deficiências aparentes na proteção das linhas de transmissão ou distribuição, a partir da análise de uma sequência de eventos real e com base em um conjunto de regras para que se possa alertar os especialistas sobre possíveis falhas na linha.

**Palavras-chave:** sistema de energia, relé, falta.

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, UNIDADES E TERMOS EM INGLÊS

SOE – Sequence of events – Sequência de Eventos

Valence TGV – Estação de Trem em Valence

EITIG – Exchange of Technical Information of General Interest – Troca de informações técnicas de interesse geral

R – Resistência

X – Reatância

RTE – Rede Elétrica de Transporte

EDF – Électricité de France – Maior Produtora e Distribuidora de Energia da França

SAS – Sistema de Alerta e Defesa

AT – Alta Tensão

PSD – Protection Scheme Data - Dados do Sistema de Proteção

Ltg – Leitung – Linha

Events Manager – Gerenciador de Eventos

MPV – Monitoring Protection Vision – Visão do Monitoramento de Proteção

Störschreibungsfunktion – Presença de Dados para a Realizar a Descrição

BRK FAIL – Proteção que não entrou em Funcionamento

Protected Zone Label – Zona Protegida

Protected Object Type – Tipo do Objeto Protegido

Protected Object Name – Nome do Objeto Protegido

Protection Scheme Name – Nome da Proteção de Esquema

Scheme Type – Tipo de esquema

Protection Schemes – Esquemas de Proteção

HS – Proteção Primária

RS – Proteção Secundária

Main – Principal

Forward – Frontal

Backward – Traseira

Any –Qualquer



Device Name – Nome do Dispositivo

kV– Quilovolts

ms – Milisegundos

Monitoring Rule – Regra de Monitoramento

Time – Tempo

Station – Estação

Element – Elemento

Event – Evento

Details – Detalhes

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Edifício da NetCeler localizado em Valence.....	14
Figura 2 – Estrutura hierárquica da NetCeler .....	15
Figura 3 – Estrutura Operacional da NetCeler .....	16
Figura 4 – Representação de zonas de proteção .....	20
Figura 5 – Características de operação da proteção de distância .....	21
Figura 6 – Coordenação da proteção de distância .....	22
Figura 7 – Proteção Diferencial de Corrente .....	23
Figura 8 – Descrição de um Esquema de Proteção.....	35
Figura 9 – Descrição de uma Zona de Proteção .....	36
Figura 10 – Local Protection Function of a Description .....	37
Figura 11 – Protection Rule of a Description. ....	38
Figura 12 – Seqüência de Eventos.....	40

## SUMÁRIO

Agradecimentos .....	6
Resumo.....	7
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, UNIDADES E TERMOS EM INGLÊS .....	8
Lista de Figuras .....	10
Sumário.....	11
1. Introdução .....	12
1.1 Objetivos .....	12
1.2 Estrutura .....	13
2. Apresentação da Empresa.....	13
3. Estudo .....	18
4. Rede de Transmissão Elétrica Francesa .....	28
5. Modelagem do Sistema de Proteção .....	32
6. Descrição das Linhas.....	34
7. Sequência de Eventos .....	40
8. Código do MatLAB.....	42
9. Conclusão .....	43
Referências Bibliográficas .....	44

# 1. INTRODUÇÃO

As linhas de transmissão e distribuição são umas das partes do sistema de potência que precisam de proteção, a qual é feita, normalmente, por relés. Os relés são dispositivos que agem na interrupção da circulação de corrente em caso de condições anormais (falhas). Assim, todas as linhas são compostas por estes dispositivos. Porém, nem sempre eles funcionam como esperado, implicando numa análise e estudo frequente das falhas.

Esta análise de falha gera uma sequência de eventos (SOE - sequence of events) que reporta as atividades que aconteceram nas linhas e a atuação ou não-atuação dos relés nestas linhas.

Assim, os registros das perturbações são usados juntamente com os dados da sequência de eventos (SOE) para mostrar e esclarecer as falhas do sistema de potência e para fazer o *backup* dos dados com o intuito de verificar o comportamento do relé de proteção digital e, assim, evitar maiores e futuros problemas. Assim, no estágio, foi desenvolvido uma parte de um sistema de proteção a qual gera automaticamente informações provenientes de duas fontes: registros de perturbações e sequência de eventos.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo do estágio era desenvolver uma parte da extensão do software IVPower com um novo módulo funcional. Este produto proporciona aos operadores ferramentas de apoio à gestão eficiente da rede elétrica através de:

- análise de falhas e detecção de anomalias;
- monitoramento contínuo de eventos em linhas de transmissão e em equipamentos: proteção, regulação de tensão, disjuntores, controle primário de usinas de energia, fator de potência;
- medida da qualidade do fornecimento: nível de tensão, quedas de tensão, e conformidade com a norma EN50160.

O módulo de diagnóstico dos sistemas de proteção visa identificar falhas aparentes da proteção das redes de transmissão ou de distribuição através da análise de uma sequência de eventos reais com base em um conjunto de regras para alertar especialistas.

## 1.2 ESTRUTURA

Este trabalho está dividido em nove seções. Esta, a primeira, apresenta uma visão geral sobre os temas abordados no trabalho.

Na Segunda será apresentada a empresa, sua estrutura organizacional e seu funcionamento.

Na terceira será feita uma revisão bibliográfica sobre as necessidades de um sistema de energia, bem como a proteção de sistemas elétricos e seus testes.

Na quarta encontram-se explicações sobre a rede de transmissão elétrica francesa e sua linha de defesa.

Na quinta encontra-se a explicação da modelagem de sistemas de proteção que é realizada através da análise de medidas e estados que vêm de diferentes tipos de dados de entrada.

Na sexta há a descrição das linhas dividindo-as em partes para facilitar a visualização e compreensão por parte do operador.

Na sétima trata-se da sequência de eventos que une dois tipos diferentes de informação: as pertubografias e a descrição da linha de transmissão.

Na oitava encontram-se explicações sobre o código desenvolvido no MATLAB.

Na nona serão feitas considerações finais sobre o estudo, levando-se em consideração tudo que foi apresentado e por fim, têm-se as referências bibliográficas utilizadas na pesquisa.

## 2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

NetCeler é uma empresa que trabalha como desenvolvedora de software e cria soluções para alguns domínios como a energia, a indústria farmacêutica, a segurança rodoviária, gestão de estacionamento e redes elétricas.

A empresa tem pequeno porte, contando com cerca de 35 funcionários, em duas localidades: Veynes e Valence TGV, onde fiz o meu estágio. É uma empresa relativamente jovem, fundada em 1997, por M. Koulisher e O. Macq. A idéia inicial era levar a Internet e as tecnologias móveis das áreas de gestão para aplicações no mundo clássico da Gestão Técnica.

Figura 1 – Edifício da NetCeler localizado em Valence



Fonte: Portal NetCeler, 2013.

Ao longo dos anos, a NetCeler expandiu sua atuação para os cinco campos anteriormente citados e que apresentam como funções:

- Gestão do Parque (IVPark): tem como função gerenciar estacionamentos remotamente (áudio, vídeo, pedágio, segurança), controlar o acesso e realizar operações estatísticas.
- Redes Elétricas (IVpower): trabalha no monitoramento de redes elétricas. Analisa-se vários incidentes que possam ocorrer sobre as próprias redes.
- Segurança Rodoviária (Ivigile): esta parte da empresa trabalha gerando medidas preventivas sobre os meios de transporte nas estradas, como velocidade, distância de segurança, peso, dinâmica, etc.
- Indústria Farmacêutica (IVTracer): Esta parte da NetCeler trabalha buscando atingir a qualidade e a rastreabilidade no campo farmacêutico, através do monitoramento.

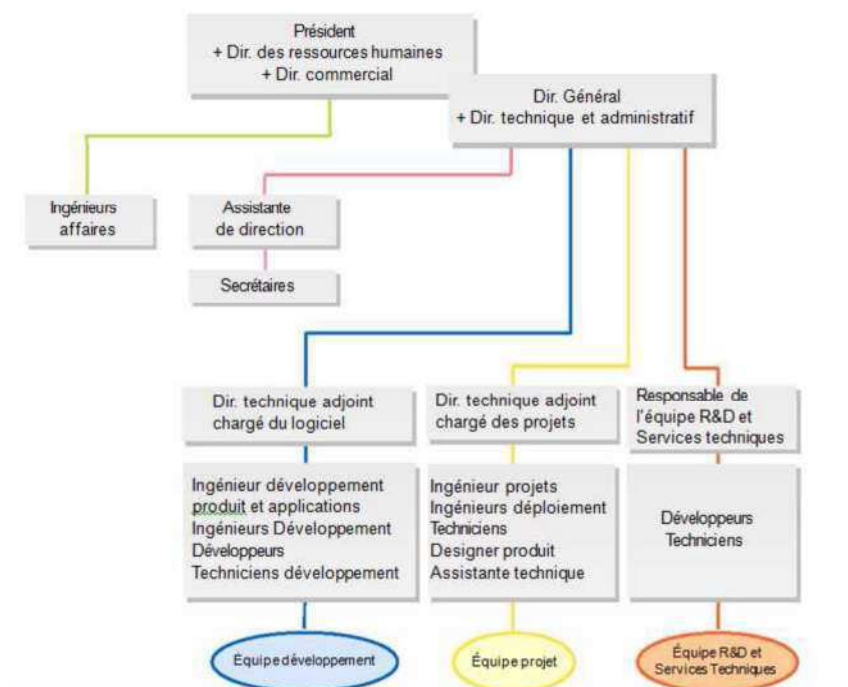
- Energia (IVEnergy): Ele fornece as análises de consumo e detecta anomalias para planejar medidas que poupem energia, controlar a qualidade da potencia e otimizar contratos de compra.

Quanto a organização a NetCeler é sistematizada por várias ferramentas, incluindo uma estrutura organizacional hierárquica, diagramas operacionais, ferramentas de comunicação, etc.

Na verdade, há uma espécie de dupla estrutura na sociedade: uma clássica, estrutura hierárquica, e outra para os negócios.

Como NetCeler é empresa pequena, sua estrutura hierárquica é relativamente plana: há poucos níveis, como pode-se observar na figura 2.

Figura 2 – Estrutura hierárquica da NetCeler



Fonte: Portal NetCeler, 2013.

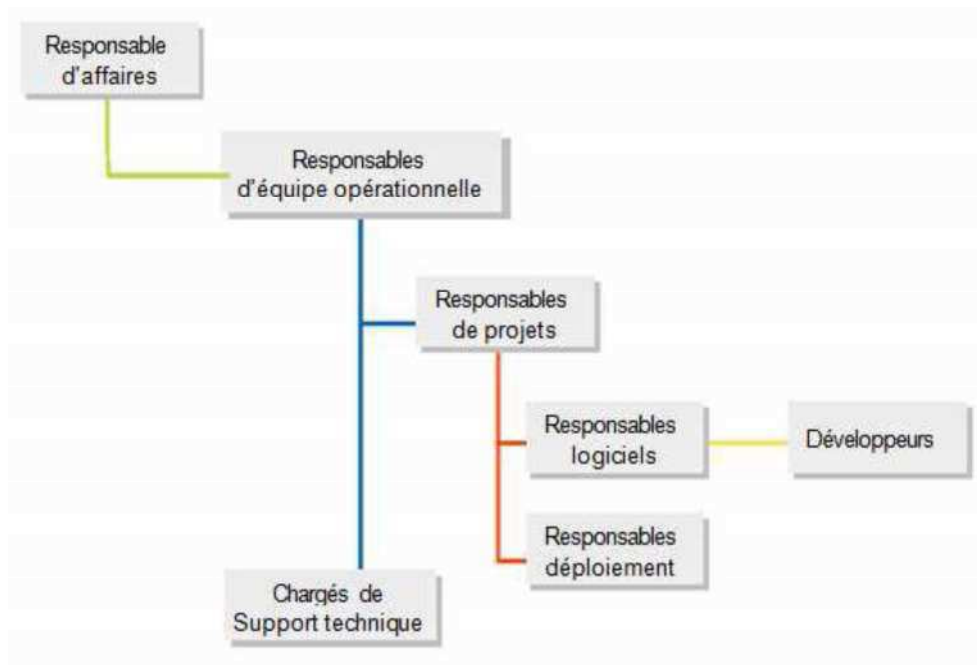
Este fluxograma mostra na vertical que existem três níveis hierárquicos. Na prática, o primeiro nível (Direção) é claramente distinto, enquanto o segundo e terceiro níveis são bastante confusos, visto que seus integrantes trabalham em equipe.

De mesma forma, no nível horizontal há cinco ramos (Ingénieurs affaire, secrétariat, ainsi que les équipes développement, projet, et R&D/services techniques).

Além disso, a empresa Netceler é orientada por uma estrutura operacional dividida por

setores como pode ser observado no diagrama operacional da figura 3.

Figura 3 – Estrutura Operacional da NetCeler



Fonte: Portal NetCeler, 2013.

A comunicação interna é muito importante em uma pequena empresa como a Netceler, pois a exposição das atividades tem grande valia para o crescimento interno. Os principais objetivos a serem cumpridos quando se trata de comunicação interna são informar os funcionários sobre o funcionamento do negócio e ações futuras, bem como a partilha de conhecimentos e métodos de trabalho.

Para isso, as equipes têm várias ferramentas:

- Um portal de intranet (partilha de informação, notícias, links, etc), completado por um "wiki", uma ferramenta para a partilha de conhecimentos;
- Reuniões de negócios várias vezes por ano. Durante estas reuniões, a gestão apresenta a situação da empresa, seus desenvolvimentos recentes, bem como as medidas recentes e futuras;
- Reuniões para apresentar projeto: reuniões "EITIG" (Exchange of Technical Information of General Interest - troca de informações técnicas de interesse geral). Essas reuniões são realizadas duas vezes ao ano, e todos os funcionários e alunos são convidados (sem exceções). Durante estas reuniões, várias equipes apresentam



o seu trabalho para o resto da empresa. O foco está no ensino e na compreensão, para que todos possam se manter a par do que é feito;

- Reuniões regulares da equipe. Por exemplo, no meu caso, na equipe potência, tivemos reuniões semanais. A idéia era fazer um apontamento sobre o progresso da equipe e definir os objetivos a serem alcançados;
- FlyNews: Boletins informativos mensais, contando sobre a empresa, em ambas as disciplinas: os projetos e todas as informações sobre os funcionários (datas de nascimento, chegadas, partidas ...).

Assim, neste estágio na Netceler eu pude participar de várias atividades da empresa, tais como reuniões (reunião corporativa, EITIG, ou reuniões de acompanhamento) ou saídas. Eu era capaz de observar seu funcionamento interno como um todo, e estive ativamente envolvida na vida da empresa.

### 3. ESTUDO

O sistema de energia deve ser planejado para manter dois requisitos: a continuidade e a qualidade. Continuidade para garantir o fornecimento de energia pelos centros de geração para os centros de consumo sem interrupções. E qualidade, para assegurar que a energia seja fornecida nas condições especificadas e, por conseguinte, assegurar que os diferentes tipos de dispositivos ligados à rede elétrica funcionem como esperado.

Assim, o sistema de energia deve ser projetada para atender situações extremas resultantes de fenômenos transitórios, tais como curtos-circuitos, operações de comutação e surtos, que causam sobre-tensão e sobre-corrente. E, assim sendo, ser capaz de impedir que o sistema continue trabalhando em condições desequilibradas e cause danos por toda a rede.

A proteção dos sistemas de energia tem de fornecer não só a descontinuidade, como também gerar um relatório dos dados para que um estudo posterior das causas das deficiências verificadas seja realizado. E, além disso, garantir que o sistema funcione dentro das normas estabelecidas para as redes elétricas.

Uma das normas mais importantes na França é a NF EN 50160. Foi criada para caracterizar a qualidade da tensão fornecida. Este padrão descreve os diferentes tipos de perturbações da tensão observada no ponto de entrega para o cliente, analisando a forma de onda, o nível de tensão do sistema e a frequência. E lista os parâmetros a serem monitorados e a duração do acompanhamento.

As seguintes características funcionais devem ser encontradas em sistemas de proteção:

- Sensibilidade: É a capacidade de distinguir entre as condições normais de funcionamento e condições de falha;
- Seletividade: Ordenar que os relés automáticos abram para remover a falha, assim que esta seja detectada, logo, o relé deve ter a capacidade de diferenciar se a falha aconteceu dentro ou fora de sua área de vigilância. Esta função do relé é chamada seletividade;
- Velocidade: A falta deve ser removida no menor tempo possível para que os danos aos diferentes elementos em operação sejam minimizados;
- Confiabilidade: Significa que o relé de proteção deve ser capaz de sempre responder corretamente. Ou seja, o relé deve responder de forma segura e eficaz a todos situação

que acontece;

- Economia: O sistema de proteção permite minimizar os custos de reparação dos prejuízos e o tempo que os aparelhos e instalações de ficariam fora de serviço.

Os dispositivos de proteção podem ser separados em dois grupos:

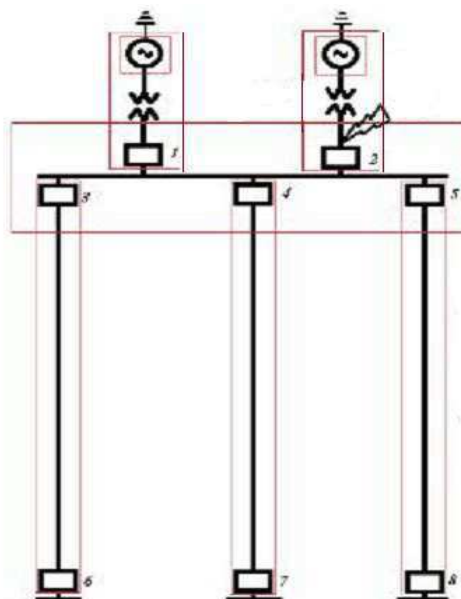
- Relés primários ou principal;
- Relés de Back-up.

O relé primário é responsável por detectar inicialmente a falta. É definido para desconectar o número mínimo de elementos necessários para isolar a falha. O sistema de energia é dividido em zonas primárias definidas em torno de cada elemento importante. Cada zona sobrepõe a zona adjacente para assegurar que não existem zonas mortas não abrangidas pelo relé principal. A sobreposição entre duas zonas é estabelecida em torno de um disjuntor comum para ambas as áreas, e que é usado para separar os dois elementos adjacentes (Canizares, 2009).

Quando uma falha ocorre em uma determinada zona de proteção que constitui a proteção principal, o relé deve enviar um sinal para sensibilizar todos os relés em sua respectiva área de atuação. Assim, em uma falha localizada na sobreposição de duas zonas, ambas as zonas dos interruptores devem ser abertas. Mas, por vezes, este conceito pode mostrar uma desvantagem. Como podemos ver na figura 4, a falta aconteceu na segunda zona, e em um lugar onde a abertura de alguns disjuntores desta seria desnecessária. Mas, de toda forma os disjuntores 1, 2, 3, 4, e 5 foram acionados e desconectaram suas linhas, enquanto apenas o relé 2 deveria ter operado, desconectando o gerador.

A desvantagem desta abertura seria a remoção de um elemento não defeituoso do sistema. No entanto, a probabilidade de acontecer esse defeito é muito pequena, pois a área de sobreposição é muito pequena e está perto do disjuntor.

Figura 4 – Representação de zonas de proteção



Fonte: Canizares, 2009.

O relé de back-up é aquele que está configurado para operar em situações de anormalidade em que a proteção primária não entrou em funcionamento, e, portanto, deve ser fixado com um tempo de atraso em relação ao relé principal relevante. Os relés de back-up pode ser local, se eles estiverem na mesma subestação do relé primário, ou remoto, se eles estiverem em outra.

É muito importante assegurar-se que a causa que levou ao mal funcionamento do primeiro relé não atrapalhará o funcionamento do relé de back-up. Assim, de-se assegurar que estamos tratando de equipamentos diferentes.

Existem diferentes meios para proteger um sistema de potência. Neste estágio concentrou-se em dois: a proteção de distância e a diferencial, que são as principais funções de proteção utilizados em linhas de transmissão de alta tensão.

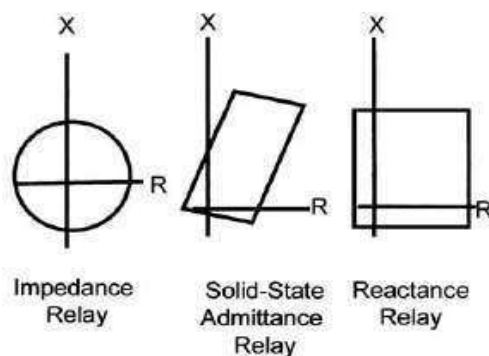
A proteção de distância é muito utilizada quando se trata em proteger uma rede de transmissão de alta tensão, pois ela apresenta algumas vantagens que proporcionam melhores resultados, como uma grande seletividade e respostas mais rápidas.

Esse tipo de proteção determina se a falha aconteceu dentro ou fora da área que eles monitoram. O princípio da proteção de distância envolve o cálculo do quociente da tensão entre o ponto de instalação do relé e o ponto do defeito e a corrente medida. Portanto, a

impedância calculada é comparada com o valor da impedância que a linha teria até o ponto de alcance da proteção. Se a primeira impedância for menor do que a segunda, supõe-se que existe uma falha na linha entre o relé e este ponto de alcance.

A impedância encontrada pode ser representada num eixo cartesiano onde a resistência é visto no eixo das abscissas e a reatância no eixo das ordenadas, resultando no chamado diagrama R-X.

Figura 5 – Características de operação da proteção de distância



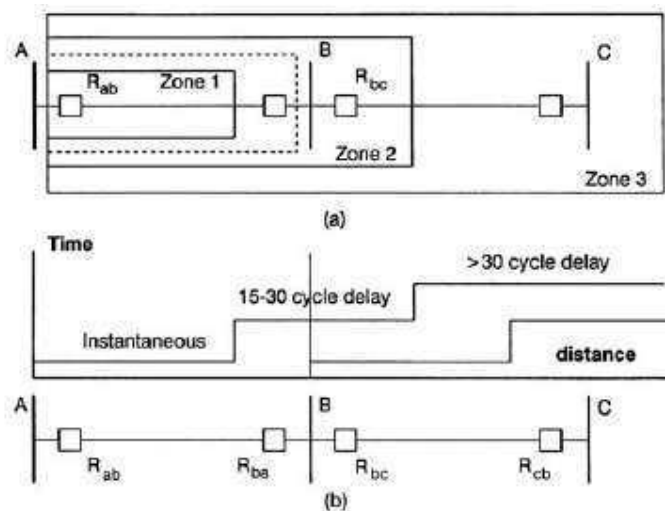
Fonte: Canizares, 2009.

A característica de operação define uma área que necessita de proteção, em outras palavras, uma zona que o relé deve trabalhar, definindo, assim, uma área de operação. Se a impedância está fora desta área, a falta ocorreu fora da zona de proteção, ou não há falta.

Existem diferentes tipos de proteção de distância e eles são divididos de acordo com o modo no qual a área de operação é definida. Os tipos básicos são o tipo de impedância, tipo reatância e tipo de admitância, comumente conhecido como mho.

Como podemos ver na figura 5, os relés de impedância e reatância podem atuar em pontos localizados nos quatro quadrantes, em outras palavras, eles podem verificar a falta em qualquer direção (após ou antes do relé), diferentemente do relé de admitância, que é direcional. Assim, para assegurar a seletividade, os relés de reatância e impedância devem ser utilizados com outras unidades que lhes permitem obter a direção.

Figura 6 – Coordenação da proteção de distância



Fonte: Canizares, 2009.

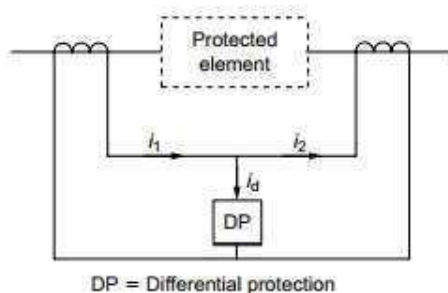
Para que a proteção de distância tenha seletividade adequada e facilitar a sua coordenação, é comum fixar três áreas de proteção de acordo com o aumento do tempo e alcance. A figura 6 mostra uma distância de três zonas passo afinação. A zona 1, que fornece proteção instantânea ao longo de 80-90% da linha protegida, e, logo, o relé funciona tão rápido quanto sua tecnologia permite. A zona 2 cobre toda a secção de linha protegida e de 20 a 30% da linha adjacente (proteção de back-up), operando com um tempo de retardamento. E a zona 3 é também uma proteção retardada que cobre toda a secção de linha protegida e 100% da linha adjacente, trabalhando com um atraso em relação a zona 2 e oferecendo também a proteção de back-up.

Algumas outras vantagens deste tipo de proteção é que ele detecta falhas além da sua área de trabalho e garante a sensibilização dos relés que situam-se fora de sua área principal (falhas de barramentos, falta nas linhas como resultado de um inadequado funcionamento do disjuntor ou da proteção). Isso é chamado de uma operação "backup" remota. Mas, como desvantagens, podemos notar que essa proteção é relativamente lenta na parte coberta pela zona 2 e que não é abrangido pela zona 1. Este inconveniente pode ser reduzido pelo uso de trocas de informações entre as extremidades utilizando sistemas de transmissão remotas.

A proteção diferencial de uma linha baseia-se na comparação de valores medidos em ambas extremidades da linha com um valor estabelecido que deve ser fixado pelos meios de ajuste da proteção relevante. Se excedido, a ativação da proteção será executada. O tipo mais comum de proteção diferencial utilizada é a proteção diferencial de corrente.

Na figura 7, pode-se ver que se  $i_1$  está próxima de  $-i_2$ , a corrente diferencial seria perto de zero, em outras palavras, esta corrente seria menor do que a corrente estabelecida e a proteção diferencial não operaria, logo, o circuito estaria sob condições normais de operação.

Figura 7 – Proteção Diferencial de Corrente



Fonte: Canizares, 2009.

Assim como a proteção de distância, esta também apresenta benefícios e desvantagens:

- Benefícios: Além da sua insensibilidade às correntes em trânsito, esta proteção tem a vantagem de uma melhor seleção da fase defeituosa, especialmente nas linhas de circuito duplo (casos de falha que afetam simultaneamente dois circuitos). Além disso, a proteção diferencial fornece uma proteção eficaz para linhas com ramificações.
- Desvantagens: Em princípio, esta proteção não fornece o "backup remoto". Além disso, ela deve, necessariamente, estar associada a uma proteção à distância. Primeiramente, para estabelecer uma boa comunicação entre as extremidades, o uso da técnica diferencial para a proteção da linha está subordinada a uma grande extensão das linhas que implica em uma grande distância entre os transformadores de corrente localizadas nas suas extremidades. Portanto, a criação de uma conexão física entre seus circuitos secundários envolvem o uso de cabos muito longos, e, quanto maiores os cabos, mais cara a instalação e, acima de tudo, maior a sua imprecisão. Além disso, essa proteção exige circuitos especiais de transmissão de alta performance. Assim, o custo resultante limita o seu uso às redes de 400 kV e de conexões subterrâneas.

Assim, todos nós sabemos o quão importante os relés são para nossas linhas de transmissão. No entanto, para garantir o bom funcionamento da rede de proteção e assegurá-la, é necessário realizar testes. E, assim, uma importante questão aparece: Como testar nossos relés numéricos? Este tema tem sido discutido ao longo dos anos e se tornando cada vez mais

complexo graças aos avanços da tecnologia que oferece novas possibilidades. Assim, as novas técnicas devem ser utilizadas para realizar os testes da proteção numérica, e alguns aspectos são relevantes para tais inovações:

- A aquisição de dados e processamento. É caracterizada por algoritmos de softwares, além dos componentes;
- Lógica de entrada / saída é frequentemente programável. Isso introduz flexibilidade, mas, testes específicos precisam ser feitos no esquema de proteção como um todo;
- Graças ao sistema de microprocessador, o sistema de proteção está se tornando uma caixa multifuncional que não requer o uso de relés com uma única função, e isso afeta a adequação do programa de testes, o que tornando impossível testar todas as possibilidades de atuação;
- Auto-supervisão é uma característica importante para a proteção digital. Ele deve permitir que haja uma diminuição na testes periódicos, e talvez eliminá-los se a supervisão da proteção tratar o esquema como um todo. No entanto, isto também introduz a questão do teste da própria auto-supervisão;
- Portas de comunicação digitais para realizar a comunicação da tecnologia de proteção e o meio ambiente;
- O desenvolvimento traz muitas atualizações de software, por isso, é necessário a validação da evolução do software independente de hardware.

É necessário então, encontrar um sistema unificado que todos os testes possam ser realizados e que também possa oferecer uma estrutura consistente que desenvolve um programa de teste válido que pode ser personalizado para a prática individual. Em seguida, uma breve descrição dos testes exigidos para cada categoria.

#### 1. Testes de conformidade funcional:

O objetivo desses testes é verificar se a funcionalidade do relé está como esperado.

Seu foco é:

- Verificar se os parâmetros técnicos estão de acordo com a teoria. Isso é realmente importante se o tipo de proteção é selecionado para realizar aplicações específicas;
- Verificar se as características da função geral são compatíveis com as especificações. Este teste é feito através de análise de sinal, e são geralmente ensaio de precisão.

#### 2. Testes de Conformidade Tecnológica



Testa a proposta de software e hardware do relé. Estes testes são mais de uma perspectiva tecnológica do que funcional. São realizados testes sob condições extremas no hardware para estimar a qualidade a longo prazo do instrumento. Este teste pode ser dividido em quatro partes: segurança elétrica, testes ambientais, a qualidade em termos de confiabilidade e a qualidade da auto-supervisão.

A primeira se preocupa com a suportabilidade térmica e dinâmica de isolamento. A segunda avalia a imunidade da proteção contra as condições climáticas externas, como, vibração/choque durante o uso e transporte, resistência sísmica, etc; A qualidade em termos de confiabilidade, que trata da qualidade a longo prazo. E, finalmente, a qualidade da auto-supervisão, que dá apoio a estratégia de manutenção e, por causa disso, é necessário dar atenção a este recurso.

### 3. Testes Tecnológicos: Avaliações de Confiabilidade

Avaliação da confiabilidade é uma questão complexa e com verificação até mesmo mais complexa. Para simplificar, as confiabilidades do software e do hardware devem ser analisados separadamente. Para obter a confiabilidade de proteção digital, alguns aspectos devem ser analisados. Eles são:

- Um aumento de complexidade funcional e também multi-funcionalidade;
- Menor redundância de hardware com componentes mais confiáveis para que haja um envelhecimento de material mais lento;
- o relé e sua confiabilidade são auto-supervisionadas. Isso significa que se o relé não é mais seguro, um alarme ou aviso deve advertir para que o mesmo possa ser reparado.

### 4. Testes Tecnológicos: Qualidade de Auto-supervisão

As comodidades auto-supervisão são projetados para melhorar a disponibilidade, a segurança e a confiabilidade do equipamento.

### 5. Testes de desempenho funcional

Estes testes verificam suas próprias funções em principio separadamente de outras funções. Cada função de um relé numérico tem que ser testado após mudanças no projeto. Estes testes têm três objetivos principais:

- Verificar se o software foi projetado de acordo com as especificações;
- Verificar se o software é estável para realizar funções padrão do aplicativo;

- Verificar se a função satisfaz todas as condições exigidas para a aplicação.

## 6. Testes de Desempenho do Sistema

O objetivo do teste de desempenho do sistema é verificar a performance deste como um todo, ou seja, analisar as interações de todas as funções de proteção e a sua lógica associada para obter um bom e correto funcionamento.

A necessidade de testar o sistema, é em grande parte gerada pela multi-funcionalidade do equipamento de proteção. Nos testes de desempenho de funções, todas as funções foram testadas separadamente. Aqui, a preocupação é como o desempenho é influenciado quando todas as funções estão em serviço e como eles interagem. É claro que é impossível testar todas as combinações funcionais que podem ser aplicadas. Portanto, o regime de teste deve ser considerado como uma amostra dos testes (CIGRÉ, 2000).

## 7. Testes de Atualização

O fato de o software poder ser alterado independentemente do hardware é a base do teste do tipo atualização, e assim, a evolução do software não deve ser considerado como um novo produto. Isto acontece porque as atualizações são muitas e freqüentemente empregadas apenas em pequenas alterações (correção de *bugs*, por exemplo). Repetir todos os tipos de teste para fazer pequenas mudanças poderia ocasionar gastos enormes.

## 8. Testes de Aceitação

Estes são uma pequena parte do testes de modelo sob condições especiais que são especificadas pelo usuário. Assim, o número de configurações e funções utilizadas são reduzidas. Por outro lado, algumas condições, que só foram incluídas no teste de modelo, devem ser analisadas.

O teste de aceitação é utilizado para:

- Um novo produto;
- A atualização de um produto com nova(s) função(s);
- A alteração da função do software;

## 9. Testes de Conexão

Estes testes são realizados previamente para ligar os elementos de alta tensão à rede elétrica. Durante o teste, é necessário ter certeza de que todas as interconexões entre todos os

equipamentos são feitos corretamente.

#### 10. Testes Periódicos

Já se sabe que o teste periódico de sistemas digitais de proteção podem diminuir drasticamente devido à presença de auto-supervisão. Agora, o objetivo é verificar qual tipo de testes ainda é necessário e em qual abordagem ele deve existir. Estas diferentes abordagens podem ser usadas para manutenção periódica, se faz necessário considerar o tipo de relé, a confiança na auto-supervisão e a forma como esta supervisão é utilizada.

Programas de teste diferentes são também um método para diminuir os testes periódicos. Dependendo das características da auto-supervisão das diferentes partes do sistema, e sua eficácia.

Nestes testes aquele que chama atenção é a manutenção baseada em condições. Quando é ela aplicada, não há exames periódicos que possam ser realizados. A decisão se a manutenção deve ser feita ou não, inclui a análise de falhas as quais o registrador de perturbações transmite indicações e listas de eventos fornecem informações críticas para julgar a manutenção necessária. Assim, por análise de falhas intensiva, somos capazes de determinar que o relé deve ser ativado para um determinado defeito, e, por exemplo, se um relé em uma linha com falha não iniciar, pode ser um fato para julgar necessário a manutenção para o relé em questão.

## 4. REDE DE TRANSMISSÃO ELÉTRICA FRANCESA

A RTE (Rede elétrica de transporte), empresa anônima afiliada ao Grupo EDF, é a operadora de transmissão de energia elétrica francesa. Uma empresa de serviço público que tem como missão a operação, manutenção e desenvolvimento de redes de alta e extra tensão. Ela garante o bom funcionamento e segurança do sistema de potência (RTE-France).

De acordo com a RTE Francesa o controle de segurança do sistema elétrico é definida como a capacidade de:

- assegurar que o sistema funcionará em condições regulares;
- limitar o número de incidentes e evitar grandes incidentes;
- limitar as conseqüências de grandes incidentes quando eles ocorrerem.

E estes são os principais poderes delegados por direito à RTE.

Alguns margens de segurança são tomadas de forma sistemática desde o desenvolvimento até as operações para manter um próprio funcionamento do sistema, apesar da incerteza que paira sobre ele. Normalmente, o sistema está dimensionado para suportar uma série de eventos enumerados nas regras de planejamento e operações. O cumprimento destas regras de segurança aumenta significativamente os custos. Porém, a perspectiva de um incidente grave, não é aceitável, por isso, a operação do sistema deve ser assegurada de forma a minimizar a ocorrência deste tipo de evento.

Existem quatro fenômenos que podem caracterizar algumas fases de operação típicas do início de uma grande incidente. Seja qual for a causa do incidente, que pode ser múltiplas, estes podem aparecer em sequência ou ser combinados durante um incidente mais grave. São eles:

- Sobrecarga de cascata;
- Tensão de ruptura;
- Perda de sincronia.

Para garantir a confiabilidade de um sistema e para prevenir, detectar e tratar esses fenômenos, a RTE é se baseia na aplicação de muitos tipos de dispositivos para adaptar-se à dinâmica do fenômeno principal que pode causar a evolução do problema e,

consequentemente, a perda da segurança do sistema. Estes dispositivos podem ser de natureza técnica, organizacional ou mesmo os próprios indivíduos, têm como responsabilidade lidar com o surgimento e o controle de fenômenos em condições anormais e constituem as chamadas linhas de defesa. A implementação de sucessivas linhas de defesa para evitar ou controlar os principais fenômenos que podem levar ao colapso do sistema é o conceito de defesa em profundidade.

Linhas de defesa referem-se a três áreas complementares:

- prevenção / preparação;
- monitoramento / ação;
- parada final.

### 1) Prevenção / Preparação

Esta área tem como principal função garantir que os fenômenos temidos não comecem. Nele, podemos observar as seguintes ações:

- obter os serviços esperados dos equipamentos e assim, minimizar o número de eventos de iniciação. A prevenção deve garantir a confiabilidade, disponibilidade e desempenho desses elementos;
- quando em um evento de falha de equipamento, garantir o funcionamento quase absoluto das funções vitais;
- assegurar o bom funcionamento e a qualidade das atividades em relação ao risco da segurança de sua implementação. Por outro lado, é usado também para que o sistema não perca algumas funções em caso de falhas consecutivas que, ao serem consideradas prováveis seriam tidas em conta na concepção do sistema operativo.

### 2) Monitoramento / Ação

Esta área inclui todas as ações que podem detectar diferenças em alguma característica ou quantidades de um sistema operacional em condições normais, podendo ser manual ou automático. E assim, desencadear as ações corretivas apropriadas para proteger os equipamentos e assegurar o sistema. O ponto é levar em consideração e os incidentes de maior magnitude na concepção do sistema para prevenir a degeneração e eventos e o mau funcionamento do sistema.

### 3) Parada final

As paradas finais são as ações que devem ser utilizados nas condições máximas. Elas são aqueles que visam em primeiro lugar, em sistemas de uma determinada magnitude, controlar fenômenos de um incidente, a fim de evitar o colapso total de toda a rede. Além disso, deixa o sistema numa determinada posição que irá facilitar a reconstrução se ocorrer o acontecimento. Ela opera ações excepcionais (da limitação de carga, por exemplo).

Tanto o "monitoramento / ação" e "paradas finais" correspondem à ações curativas e o uso de uma destas linhas defesas é ditada pela urgência da situação e do grau de comprometimento do sistema.

Em caso de situações extremas, tentar usar as ações corretivas muitas vezes é o último recurso. Com base nessa idéia, pode-se concluir que é melhor separar voluntariamente certas despesas e certas regiões para salvar o resto do sistema do que deixá-lo degradar e, assim, perder não só a ele, como também o tempo e o dinheiro para a reconstrução. Essas ações corretivas podem ser agrupadas em dois níveis que operam em diferentes escalas de tempo.

O primeiro compreende ações para conter o fenômeno cuja dinâmica ainda são compatíveis com a intervenção humana (diagnóstico, tomada de decisão e ação sobre o sistema). Essas ações são comandos pré-definidos, pois trabalham no âmbito de aumentar a velocidade de execução. Eles podem ser enviados através de um sistema de transmissão específica: Sistema de Alerta e Defesa (SAS). À disposição dos operadores de despacho, essas ordens podem ser emitidas tanto para uma área completa quanto para determinada parte dela.

Um segundo nível exclui qualquer possibilidade de intervenção humana. É feito através dos dispositivos automáticos que podem efetivamente garantir as ações corretivas necessárias, combinando as ações curativas para combater o fenômeno de emergência.

O plano de defesa inclui:

- separação automática de áreas que tenham perdido o sincronismo;
- liberação automática de cargas de consumo de menor frequência;
- bloquear automaticamente transformadores em para que haja queda de tensão;
- ilhar unidades térmicas nucleares e, automaticamente, chamar seu auxiliar.

O plano de defesa é completado pelo plano de recuperação da rede, cujo objetivo é promover a recuperação de áreas que estão fora sendo controladas rapidamente.

Como o nosso estudo tem um foco no controle de tensão, algumas medidas devem ser tomadas para garantir pontos importantes, tais como:

- Satisfazer clientes, distribuidores e produtores:

A tensão é um parâmetro que é comum a diferentes usuários, incluindo clientes,

distribuidores, produtores, ligados à mesma rede, de modo que, por causa disso, é necessário manter um padrão deste importante parâmetro. Para os clientes e distribuidores, cada contrato de fornecimento define um valor e apresentam uma faixa aceitável de variação em torno da mesma. Como também para o produtor, que, para manter a segurança do sistema, deve assegurar que a tensão permaneça dentro de um intervalo tolerável acordado pelas instalações de produção.

- Conhecer as necessidades do sistema:

O ajuste adequado permite ao mesmo tempo, reduzir as perdas de rede, melhorar a utilização da capacidade de transmissão disponível e evitar o risco de colapso de tensão, em outras palavras, o ajuste e controle da tensão também é necessário para garantir o bom funcionamento do sistema, em ambos os termos de economia e segurança. Assim, para evitar que qualquer um desses erros aconteçam, em qualquer ponto de uma rede AT, a tensão deve ser mantida de acordo com um projeto compatível com as necessidades do sistema pois:

- As tensões muito elevadas podem causar envelhecimento ou destruição do equipamento conectado a ele;

- Baixa tensões podem afetar o bom funcionamento de certas proteções e cargas de transformadores e, além disso, afetar o desempenho de instalações de produção auxiliar de energia.

## 5. MODELAGEM DO SISTEMA DE PROTEÇÃO

O esquema de proteção trabalha gerando uma função que tem como objetivo proteger a zona do sistema de energia, alertando os operários quando necessário. Medidas (corrente, tensão) são amostradas da parte protegida para serem analisadas. No esquema de proteção há várias funções da proteção local que agem gerando estados. Por exemplo, quando o relé recebe um sinal para abrir, uma função local gera um novo estado para o mesmo.

O esquema de proteção tem ainda um sistema que retorna uma resposta avisando a respeito das condições anormais ou sobre falhas de operações de proteção enviando um relatório, e, quando sob operação normal de proteção, enviando estados coletados pelo dispositivo. Para que o sistema funcione de acordo com o esperado, muitos tipos de monitoramento devem ser feito. O monitoramento de linha examina os valores de corrente e tensão que possuem alguma anormalidade, o monitoramento de disjuntores analisa se há corrente fluindo e se o disjuntor está aberto ou fechado, o monitoramento de proteção do relé analisa se houve abertura do sistema. Estas funções de monitoramento obtêm informações relevantes e comparam com os valores e as quantidades que normalmente compõem a área. Depois disso, os dados são trocados entre os monitoramentos, de modo que a informação mais precisa chegue a linha de sequência de eventos. E então, a consistência da saída é verificada e, assim, as respostas finais são geradas.

Existem dois tipos de dados de entrada: gravações de Transitórios ou Gerenciador de log de eventos. Se o último é usado, o sinal tem de ser decodificado. Quando os dados recebidos são transferidos para o sistema que vai utilizá-los, o Gerenciador de Eventos (Events Manager), os eventos são atualizados. Simultaneamente, a visão do monitoramento de proteção (monitoring protection vision - MPV) deve estar em funcionamento para monitorar a chave e obter os dados o mais rapidamente possível. Quando um dado é atualizado no MPV, o estado muda e a cada mudança um relatório de eventos é gerado e todos os dados são organizados e respostas são enviadas. Como o MPV não tem memória, os dados de resposta encontrados são enviados de volta ao gerenciador de eventos e armazenado.

Nesta descrição de um sistema de energia como um todo, podemos verificar que o sistema de proteção segue alguns tópicos:

1. Monitoramento da proteção automática: Todas as gravações dos transitórias de proteção e logs de eventos são transferidos e, para cada atualização de evento, há uma



análise automática;

2. Quando uma anomalia grave acontece avisos devem ser enviados para advertir;
3. O especialista do sistemas de proteção pode consultar uma lista de eventos detalhada;
4. Depois de alterado e atualizado, os estados podem ser consultadas em qualquer momento e sobre quaisquer projetos de dados;
5. As vezes existem alguns dados que possuem valores inconsistentes, por isso, o administrador pode advertir e corrigi-lo.

Com este tipo de sistema de proteção, é possível determinar a duração da falta, o instante em que a falha se sucedeu e se houve ou não um arco secundário, características que irão definir o alcance da falha e se foi controlada.

## 6. DESCRIÇÃO DAS LINHAS

Depois que o estudo foi feito, a descrição do esquema de proteção foi realizado. Essa parte tem uma grande importância, porque é uma ferramenta eficaz para facilitar a compreensão de um caso, fornecendo os dados necessários. E, para toda a análise de um caso, vimos que é necessário tornar clara a descrição quando existem muitos diferentes tipos de parâmetros e formas de realizar esta descrição. É importante fazer uma descrição simples para facilitar a compreensão das regras utilizadas.

### Introdução

Esta parte do trabalho se destina a fornecer uma descrição dos esquemas de proteção para facilitar a análise e modelagem dos sistemas de energia através do desenvolvimento e validação de algoritmos para os sistemas de diagnóstico para proteção.

A maioria das informações para completar as descrições são retiradas do PSD, e, antes de iniciar uma descrição, é necessário olhar para ele e verificar se a opção *Störschreibungsfunktion* está ativada. Esta opção indica se há ou não a presença de dados para a realização da descrição.

### Versão

Sempre que o documento é alterado, é fundamental que haja atualização da versão do documento para indicar a descrição de um novo caso. A versão deve informar o autor e a data da mudança.

### Esquemas de Proteção

É aqui que começa realmente a descrição dos esquemas de proteção. De acordo com o nome, esta parte da descrição deve ter informações úteis para identificar as linhas e subestações. Ela compreende a linha que tem a falha com todos os tipos de proteção que lhe pertencem (principal, backup e remotas), como também as saídas e entradas das estações desta linha. É dividido em quatro: o Nome do Esquema de Proteção (Protection Scheme Name), o rótulo do esquema de proteção, o tipo de esquema e comentários.

Como podemos ver na figura 8, o nome do esquema de proteção tem letra em caixa alta, que caracteriza a incapacidade de ser lido pelos operadores. Para as linhas que precisam de proteção, ou seja, aquelas que têm a falha, o nome do esquema de proteção deve conter os nomes da estação de saída e entrada, o número da linha e o tipo de proteção, enquanto que para as fontes, deve conter as informações sobre o nome da estação, o número na linha que a falha ocorreu e BRK FAIL para certificar que, caso uma proteção não entre em funcionamento, outra entrará em operação.

O rótulo do Esquema de Proteção pode ser lido pelos operadores, por isso é caracterizado pela letra minúscula. Para as linhas, a informação que deve ser posta são: a linha de transmissão de tensão seguido de Ltg (Leitung que significa linha em alemão); as estações de saída e entrada; o número da linha; se a proteção é principal ou secundária, para aquela usamos HS, para esta RS; e também o tipo de proteção (diferencial ou a distância). Para as fontes, a informação necessária que o rótulo deve conter são a tensão da estação, o número da linha que ocorreu a falha e o tipo de proteção.

O tipo do esquema é parte do esquema de proteção que deve informar que tipo de proteção cada linha ou estação tem, e a que classe (principal, backup, backward, remoto) elas pertencem. Para terminar o Esquema de Proteção há comentários para explicar e assim, simplificar o que foi colocado antes.

Figura 8 – Descrição de um Esquema de Proteção

Protection scheme name	Protection scheme label	Scheme type	Comment
LUB_GUE_512_LINE_DIFF	400kV Ltg Lub-Gue 512 HS Strondifferential	LINE_DIFFERENTIAL_MAIN	Main line protection - Current differential
LUB_GUE_512_LINE_DIST_BACKUP	400kV Ltg Lub-Gue 512 RS Distanz	LINE_DISTANCE_BACKUP	Back-up line protection - Distance
20_S_LUB_C_SF_20_BRK_FAIL	Lub 400kV SF20 Schaltersager/Distanz rüc	LINE_DISTANCE_BACKWARD	Circuit breaker failure / reverse distance protection
20_S_GUE_C_SF_10_BRK_FAIL	Gue 400kV SF10 Schaltersager/Distanz rüc	LINE_DISTANCE_BACKWARD	Circuit breaker failure / reverse distance protection
LUB_GUE_512_LINE_DIST_REMOT	400kV Ltg Lub-Gue 512 Fernanregungen	LINE_DISTANCE_REMOTE	Remote line protection - Distance zones 3&4 forward

Fonte: Protection Scheme Data, IVpower, 2013.

### Zonas Protegidas

As zonas protegidas, mostradas na figura 9, são usadas para indicar os itens que serão protegidos e indicar onde eles estão no sistema de proteção. Como o esquema de proteção, a zona protegida também está dividida em seções para tornar a descrição mais fácil. A primeira parte é a mesma que no Esquema de Proteção, nome do esquema de proteção. A segunda é o

Nome da Zona Protegida, que tem como informações para as linhas o nome e o número da linha protegida, e para as fontes, o nome da estação, o número da linha que ocorreu a falha.

Em seguida, o Rótulo da Zona Protegida (Protected Zone Label) que pode ser visto pelos operadores indica que a tensão de transmissão ou de uma estação e a linha protegida. Para a estação, é necessário adicionar a estação e o número da linha onde ocorreu a falha.

Para completar tem-se ainda o Tipo do Objeto Protegido (Protected Object Type) que é necessário para verificar se é uma linha ou um alimentador. E, finalmente, há o Nome do Objeto Protegido (Protected Object Name) que deve conter o nome do objeto sob o qual a proteção deve agir. Normalmente para as linhas as informações contidas são o nome e o número da linha, e para a estação o nome da estação e o número da linha que ocorreu a falha.

Figura 9 – Descrição de uma Zona de Proteção

Protection scheme name	Protected zone name	Protected zone label	Protected object typ	Protected object name
LUB_GUE_512_LINE_DIFF	LUB_GUE_512	400kV Ltg Lub-Gue	LINE	Lub-Güs_512
LUB_GUE_512_LINE_DIST_BACKUP	LUB_GUE_512	400kV Ltg Lub-Gue	LINE	Lub-Güs_512
20_S_LUB_C_SF_20_BRK_FAIL	20_S_LUB_C_SF_20	400kV Ltg Lub-Gue / Lub SF	FEEDER	20_S_LUB_C_SF_20
20_S_GUE_C_SF_10_BRK_FAIL	20_S_GUE_C_SF_10	400kV Ltg Lub-Gue / Gue SF	FEEDER	20_S_GUE_C_SF_10

Fonte: Protection Scheme Data, IVpower, 2013.

### Função de Proteção Local

Esta seção de descrição das linhas, visto na figura 10, é a que requer mais atenção. Ela começa como as outras, com o Nome da Proteção de Esquema (Protection Scheme Name) e, em seguida, o tipo de esquema (Scheme Type) vem como nos Esquemas de Proteção (Protection Schemes).

Depois, há o Papel da Função (Function Role) que pode ser classificado em quatro: principal, de frente, de trás e qualquer (Main, Forward, Backward and Any). Os papéis são escolhidos de acordo com as regras que devem ser aplicados a este tipo de esquema. É essencial verificar de onde o relé vê a falha, e se ela está na área a qual deve ser protegida por este. O principal é utilizado se o relé está na área a ser protegida e se ele é o responsável para proteger a linha. Se o relé detecta a falta e parece estar na área protegida o papel da função selecionado é o *forward*. Se o relé não está na área a ser protegida e vê a falta por trás é utilizado o *backward*. Normalmente os *backwards* protegem as linhas que estão conectadas a

duas estações e entre as quais ocorreu a falha. Se o relé simplesmente começar, a função de papel escolhido é "qualquer". No Papel da Função ainda deve-se levar em conta que a proteção diferencial fazem apenas a verificação principal.

Logo depois, a parte que deve conter informações sobre o nome da estação que o dispositivo deve proteger, a linha, se a proteção é primária (HS) ou secundária (RS), e do tipo de proteção (diferencial ou a distância) aparecem. Ela é chamada de Nome do Dispositivo (Device Name).

E, no final desta seção, temos os Comentários. É necessário que eles tenham: informações sobre a tensão da linha ou estação; a identificação se é uma linha, um transformador ou um acoplamento; a linha que o dispositivo pertence (não a linha que requer proteção); e a referência do dispositivo. Deve-se notar a diferença entre a linha que sai de uma estação e a linha que chega a esta estação. Elas possuem diferentes dispositivos. Também é necessário levar em conta apenas a tensão de 400 kV (antes dos transformadores normalmente) porque elas são aqueles que são consideradas como uma saída da estação.

Figura 10 – Função da Proteção Local da Descrição

Protection scheme name	(Scheme type)	Function role	Device name	Comment
LUB_GUE_512_LINE_DIFF	LINE_DIFFERENTIAL_MAIN	MAIN	20_S_LUB_C_SF_20_HS_Vg1	400kV Ltg Gue 512;7SD523
LUB_GUE_512_LINE_DIFF	LINE_DIFFERENTIAL_MAIN	MAIN	20_S_GUE_C_SF_10_HS_Vg1	400kV Ltg Lub 512;7SD523
LUB_GUE_512_LINE_DIST_BACKU	LINE_DISTANCE_BACKUP	MAIN	20_S_LUB_C_SF_20_RS_Dist	400kV Ltg Gue 512;P437
20_S_LUB_C_SF_20_BRK_FAIL	LINE_DISTANCE_BACKWARD	FORWARD	20_S_LUB_C_SF_20_RS_Dist	400kV Ltg Nhg 517;7SD523

Fonte: Protection Scheme Data, IVpower, 2013.

#### Parâmetros de Regra

De acordo com cada tipo de proteção e localização da falta a função do relé pode mudar. É fundamental, então, mostrar os tipos de proteção e cada parâmetro que pode afetar uma operação. Assim, esta seção tem esta função.

Sabe-se o quão importante é evitar a propagação de uma falha quando ela ocorre. Então, em um sistema de proteção deve ter relés que tenham um sistema de abertura e um *pick-up* rápido e também é importante que haja uma segunda proteção, no caso de mau funcionamento da proteção principal. O *pick-up* desta segunda proteção não deve, necessariamente, ser rápido, uma vez que se encontra localizado mais longe da falta. Essa proteção deve ter um atraso em relação à proteção principal para evitar que o relé desapropriado abra, e hajam, portanto, desligamentos de linhas desnecessários.

Para facilitar o trabalho da proteção secundária há uma comunicação entre a proteção primária e secundária, e ela serve para aumentar a velocidade de comunicação e evitar a abertura do relé, oferecendo também segurança para o sistema. Então, essa comunicação deve ter alguns parâmetros e deve ser configurada para informar o atraso enviando e recebendo relatório sobre a operação.

A proteção de distância é dividida em zonas. O alcance da zona e o tempo de abertura caracterizam esta seção. Normalmente, o alcance da zona 1 é de 80% da linha. Como parece, a falta acontece nesta área, assim, o tempo de disparo deve ser o menor possível, tendo um tempo máximo de 20 ms. A zona 2 tem um alcance de 100% da linha que ocorre a falha e 20% da linha seguinte. O tempo máximo de abertura é maior do que o da zona 1, ele é de 40 ms. O alcance da zona 3 é de 100% da linha que ocorre a falha e 50% da linha seguinte, e o tempo de abertura deve ser no máximo 80 ms. A zona 1 é a única que é responsável pelo envio do sinal de abertura. E a zona 2 é responsável pela recepção do sinal.

#### Regras de Proteção

O propósito desta seção é esclarecer cada função de cada proteção por meio de uma associação entre as linhas e subestações e suas regras no sistema de proteção. Como podemos ver na figura 11, há o Nome do Esquema de Proteção e o Tipo de Esquema como foi visto em outras seções. A conexão entre eles e cada um dos seus conjuntos de funções é conseguida através da regra de monitoramento (Monitoring Rule) que liga o tipo de proteção a abertura e ao *pick-up*. E a proteção de back-up deve ser ligada ao sinal de envio e de recebimento.

No final, é necessário associar a regra de monitoramento de proteção com o nome do parâmetro para concluir a função.

Figura 11 – Descrição da Regra de Proteção.

Protection scheme name	(Scheme type)	Protection monitoring rule	Parameter name
LUB_GUE_512_LINE_DIFF	LINE_DIFFERENTIAL_MAIN	MAIN_PICKED_UP	PICK_UP_FAST
LUB_GUE_512_LINE_DIFF	LINE_DIFFERENTIAL_MAIN	MAIN_TRIPPED	TRIP_FAST
LUB_GUE_512_LINE_DIST_BACKUP	LINE_DISTANCE_BACKUP	MAIN_PICKED_UP	PICK_UP_SLOW
LUB_GUE_512_LINE_DIST_BACKUP	LINE_DISTANCE_BACKUP	MAIN_TELEPROTECTION_SEND	TELEPR_SEND_TIME
LUB_GUE_512_LINE_DIST_BACKUP	LINE_DISTANCE_BACKUP	MAIN_TELEPROTECTION_RECEIVE	TELEPR_RECV_TIME

Fonte: Protection Scheme Data, IVpower, 2013.



## 7. SEQUÊNCIA DE EVENTOS

Depois que a descrição das linhas de transmissão foi realizada, a seção sequência de eventos foi feita. A importância desta parte reside na integração de dois tipos diferentes de informações. As primeiras tomadas em consideração as pertubografias e as segundas pertencem à descrição de Linhas de Transmissão.

Como pode-se ver na figura 12, há cinco dados procedentes das pertubografias:

- o tempo (time) informa ao operador a que exato tempo uma determinada atividade começa ou para;
- a estação (station) informa a estação mais perto do caso que aconteceu;
- o elemento (element) informa sobre as linhas ou alimentadores que foram afetadas ou utilizados pelo evento;
- o evento (event) é a atividade que aconteceu ou deixou de acontecer. Pode ser algo esperado pelo sistema, como o início da proteção, ou algo inesperado, como uma falha no início da proteção. Normalmente, o SOE começa quando uma falha ocorre;
- os detalhes (details) mostram as linhas que foram afetadas ou utilizadas pelos acontecimentos e as suas ligações.

Os outros dois dados vêm da Descrição das linhas. Eles são o Nome do Esquema de Proteção e o Nome do Dispositivo.

Figura 12 – Sequência de Eventos

Temps	Station	Elément	Événement	Détails	Protection Schème Name	Device name
0,089 s	Marke	400kV Ltg Rag 502	Défaut #1	L3-Terre, 81.693 km		
0,091 s			Apparition du défaut			
0,100 s	Marke	HS Dist (400kV Ltg Lau 5C	Démarrage de protection	G-Anr	20_S_MA_C_SF_1_BRK_FAIL	PD571
0,100 s	Marke	HS Dist (400kV Ltg Lau 5C	Démarrage de protection	Anr L3	20_S_MA_C_SF_1_BRK_FAIL	PD571

Fonte: Sequência de Eventos, IVpower, 2013.

A associação requer cautela, pois, se as diferentes fontes forem mal associadas causaria uma má transmissão de informações reais e o perito iria receber referências falsas sobre as linhas de transmissão, e assim, todos os testes e reparos que seriam executados



seriam feitos no esquema e dispositivos errados.

Esta associação entre essas partes foi feita manualmente, analisando os gráficos de perturbação e a descrição anteriormente realizada. Mas, existem muitas linhas de transmissão e dispositivos, por isso, o desenvolvimento de um código no MATLAB era necessário. Sua função é associar essas partes, como a sequência de eventos, automaticamente, e assim, facilitar o trabalho dos agentes.

## 8. CÓDIGO DO MATLAB

Para finalizar e unificar tudo que foi realizado neste estágio e pôr tudo o que foi estudado, foi desenvolvido um código no MATLAB. Este código tem como resultado uma tabela, vista da seção anterior, que mostra a zona, o esquema e vincula-os a hora de início, caso o relé tenha realmente iniciado, se não, uma mensagem que isso não aconteceu é mostrada, e com o tempo de abertura do mesmo jeito.

Este código é agora uma parte do IVPower software, e algumas funções foram usadas para sincronizar os dados necessários. O programa tem acesso aos dados através de um programa java que foi realizado pela equipe.

Como o estágio era sigiloso, o código não pôde ser posto em anexo no trabalho.

## 9. CONCLUSÃO

Uma extensão do software IVPower foi desenvolvida para obter mais informações sobre os sistemas elétricos de alta tensão (transmissão e distribuição), que foi atingido por uma falha. Assim, o diagnóstico é feito melhor e mais rápido. Este software fornece aos operadores ferramentas de apoio à gestão de uma rede de potência efetiva:

- Análise de defeitos, perturbação, anomalias de detecção;
- Monitoramento e eventos em equipamentos e sistemas: proteção, regulação de tensão, disjuntores, controle primário central, fator de potência;
- Medição da qualidade de fornecimento: plano de tensão, quedas de tensão, a conformidade com EN50160. O módulo de diagnóstico dos sistemas de proteção identificam o aparente fracasso da proteção da transmissão ou distribuição, na análise de uma sequência real de eventos a fim de alertar especialistas;
- O módulo de diagnóstico de sistemas de proteção permite identificar a aparente falha da proteção das linhas de transmissão ou de distribuição, na análise de uma sequência real de eventos com base em um conjunto de regras.

Considerando que o resultado foi obtido neste trabalho, pode-se concluir que as informações geradas pelo código com base em dados da sequência de eventos e da descrição das linhas mostram aos operadores informações sobre os relés em operação anormal do sistema de proteção em funcionamento nas linhas de transmissão e, por conseguinte, trazem mais precisão, rapidez e segurança, como também, mais informações, evitando ações dispensáveis. Como consequência disto, há um melhor controle dos sistemas de energia e reduz-se a perda de tempo com tarefas desnecessárias.

## Referências Bibliográficas

CANIZARES, C. **Electric Energy Systems: Analysis and operation**. Boca Raton, Antonio Gomez-Exposito, Antonio J. Conejo, 2009.

**Analysis and Guidelines for Testing Numerical Protection Schemes**. Cigré, Working Group 34.10, August 2000.

**Mémento de la Sûreté du Système Électrique**. RTE, 2004.

Portal NetCeler. Disponível em: <http://www.netceler.com/>. Acesso em: 14 jun. 2013.

Markiewicz, H.; Klajn A. **Perturbations de tension: Caractéristiques de la tension dans les réseaux publics de distribution**. In: Leonardo Energy: Guide Power Quality, 2007.