



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE  
CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU**



**ARLANE MARCOS DOS SANTOS**

**AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E  
AUTOMAÇÃO**

**Ouro Preto, 2018**

ARLANE MARCOS DOS SANTOS

## **AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Luiz F. Rispoli Alves

Ouro Preto  
Escola de Minas – UFOP  
Julho/2018

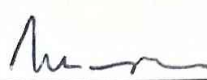
S237a Santos, Arlane Marcos dos.  
Automação de Subestações [manuscrito] / Arlane Marcos dos Santos. - 2018.  
38f.: il.: color; tabs.  
Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Ríspoli Alves.  
Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.  
1. Subestação. 2. Automação. 3. IEC 61850. I. Alves, Luiz Fernando Ríspoli. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.  
CDU: 681.5

Monografia defendida e aprovada, em 17 de julho de 2018, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



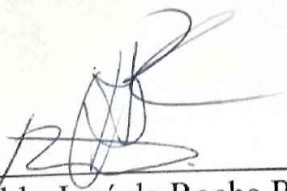
---

Prof. Dr. Luiz Fernando Rísoli Alves - Orientador



---

Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro - Professor Convidado



---

Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis – Professor Convidado

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por dar forças e tornar possíveis todas as coisas.

Aos meus pais, Antônio e Maria de Lourdes, pelo sacrifício, amor e incentivo.

À minha irmã Arlinda, por toda dedicação, companheirismo e paciência.

Aos meus amigos e familiares pelo apoio.

À Barbosa & Andrade, por complementar durante esses anos a minha formação acadêmica.

Ao Ríspoli, por me adotar como orientanda e por todas as lições de vida compartilhadas.

Ao Paulo e ao Agnaldo, pelo apoio e oportunidades concedidas.

À Universidade Federal de Ouro Preto, na pessoa de professores e funcionários, pelo conhecimento proporcionado.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa jornada, muito obrigada!

## RESUMO

Garantir o fornecimento eficiente de energia elétrica é fundamental no mundo moderno, e essa é uma das principais preocupações das concessionárias de energia. Neste contexto, a automação é uma ferramenta importante, permitindo a proteção, controle e supervisão de sistemas elétricos através do uso de equipamentos e dispositivos de proteção e manobra, como os chamados dispositivos eletrônicos inteligentes. Esses dispositivos se comunicam através de protocolos de comunicação. Devido à diversidade de fabricantes e protocolos existentes, tornou-se necessário padronizar a comunicação entre os dispositivos de uma subestação. Para isso, foi criada a norma IEC 61850, que visa padronizar a comunicação entre os dispositivos e garantir sua interoperabilidade.

**Palavras chave:** Subestação. Automação. IEC 61850.

## **ABSTRACT**

Ensuring the efficient supply of electrical energy is fundamental in the modern world, and this is one of the major concerns of energy concessionaires. In this context, automation is an important tool, allowing the protection, control and supervision of electrical systems through the use of protection and maneuver equipment and devices, such as so-called intelligent electronic devices. These devices communicate via communication protocols. Due to the diversity of existing manufacturers and protocols, it became necessary to standardize the communication between the devices of a substation. For that, the IEC 61850 standard was created, which aims to standardize communication between devices and ensure their interoperability.

**Keywords:** Substation. Automation. IEC 61850.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Transformador de Potência .....	15
Figura 2 - Transformador de Corrente .....	16
Figura 3 - Transformador de Corrente .....	17
Figura 4 – Para-raios alta tensão.....	17
Figura 5 – Disjuntor alta tensão.....	18
Figura 6 – Chave Seccionadora .....	19
Figura 7 - Subsistemas do sistema de proteção .....	19
Figura 8- Critérios de desempenho do sistema de proteção .....	20
Figura 9 - Relés eletromecânicos.....	22
Figura 10 - Relé de proteção estático.....	23
Figura 11- Diagrama de blocos de um relé digital .....	24
Figura 12 - Exemplo de relé de proteção digital .....	25
Figura 13- Sistema de automação de subestações .....	26
Figura 14 - Modelo genérico de comunicação .....	27
Figura 15 - Protocolos de comunicação .....	28
Figura 16 - Mecanismo GOOSE.....	33



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tópicos da norma IEC 61850 .....	29
Tabela 2- Grupos de nós lógicos .....	32

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	Objetivo .....	11
1.2	Justificativa do Trabalho .....	12
1.3	Metodologia .....	12
1.4	Estrutura do Trabalho .....	12
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>13</b>
2.1	Subestações .....	13
2.1.1	Classificação das subestações .....	13
2.1.1.1	Classificação quanto à função no sistema elétrico .....	13
2.1.1.2	Classificação quanto ao nível de tensão .....	14
2.1.1.3	Classificação quanto ao tipo de instalação .....	14
2.1.1.4	Classificação quanto a forma de operação.....	14
2.1.2	Equipamentos principais de uma subestação .....	15
2.1.2.1	Transformador de potência .....	15
2.1.2.2	Transformador de corrente .....	16
2.1.2.3	Transformador de potencial .....	16
2.1.2.4	Para-raios .....	17
2.1.2.5	Disjuntor .....	18
2.1.2.6	Chaves seccionadoras .....	18
2.2	Sistemas de proteção .....	19
2.3	Relés de proteção .....	21
2.3.1	Funções principais dos relés de proteção .....	21
2.3.2	Tipos construtivos de relés de proteção.....	22
2.3.2.1	Relé eletromecânico .....	22
2.3.2.2	Relé estático .....	23
2.3.2.3	Relé digital.....	23
2.4	Automação de Subestações.....	25
2.4.1	Sistemas de comunicação .....	26
2.4.1.1	Protocolos de comunicação .....	27
2.5	Norma IEC 61850 .....	28
2.5.1	Nós lógicos .....	31
2.5.2	Mecanismos de Comunicação.....	32
2.5.3	Benefícios da IEC 61850.....	33
<b>3</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é fundamental para a vida moderna, e essa dependência é perceptível no dia-a-dia de todas as pessoas. Como fator determinante para o desenvolvimento da sociedade, a demanda por energia é crescente, acompanhando o crescimento populacional e econômico do planeta.

Obtida a partir de outros tipos de energia, a eletricidade percorre longas distâncias desde a geração até o consumo, passando por complicados sistemas de transmissão e distribuição. Para garantir índices de qualidade satisfatórios no fornecimento e satisfação dos consumidores é necessária uma infraestrutura que atenda aos requisitos de confiabilidade e eficiência e para isso, é fundamental investir na automação dos sistemas elétricos.

Entende-se por automação de subestações os recursos, métodos, equipamentos, softwares e protocolos de comunicação utilizados para proteção, controle e supervisão do processo de transmissão de energia elétrica visando a melhoria na qualidade do fornecimento, reduzindo a quantidade e o tempo de interrupções, além dos custos operacionais. As informações são adquiridas no processo elétrico através de Unidades Terminais Remotas (URTs), Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), ou relés de proteção. Estas informações são processadas e transmitidas para outros equipamentos utilizando protocolos de comunicação (SEL, 2010a).

Com diferentes fabricantes, diferentes protocolos de comunicação foram criados, gerando dificuldades no projeto de subestações e na posterior modernização das mesmas, já que equipamentos de fabricantes distintos não “falavam a mesma língua” (RODRIGUES, 2013).

A norma IEC 61850 simplifica a comunicação, e permite a integração de diferentes dispositivos, independente da função que exerçam na subestação. Propõe uma arquitetura de comunicação única, permitindo inclusive a comunicação entre equipamentos de diferentes fabricantes.

### 1.1 Objetivo

Abordar através de uma análise geral o processo de automação, proteção, controle e supervisão de subestações de energia elétrica e introduzir os fundamentos da norma IEC 61850.

## **1.2 Justificativa do Trabalho**

Este trabalho tem por justificativa o interesse em contribuir para os estudos na área de automação de subestações, fornecendo um material introdutório ao assunto e abordando assuntos interdisciplinares, onde se destacam: computação, elétrica e telecomunicações.

## **1.3 Metodologia**

A metodologia utilizada neste trabalho foi a pesquisa exploratória, por meio de uma revisão bibliográfica, desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído por livros, revistas e trabalhos acadêmicos.

Para a seleção de fontes, foi considerado como critério a inclusão de bibliografias que abordassem a norma IEC 61850 e a automação de subestações, incluindo proteção, controle e supervisão.

A coleta de dados iniciou com a leitura rápida e objetiva do material selecionado, verificando se os trabalhos em questão eram mesmo de interesse. Em seguida, fez-se uma leitura mais aprofundada, registrando as informações e dados a serem extraídos do material consultado.

Por fim, foi realizada a elaboração deste trabalho, com base nas informações coletadas.

## **1.4 Estrutura do Trabalho**

Neste primeiro capítulo é feita a introdução do trabalho, apresentando seus objetivos, justificativa e metodologia.

O segundo capítulo refere-se a revisão bibliográfica. Primeiramente, define-se o que é uma subestação, suas principais classificações e equipamentos constituintes. Logo após, aborda-se o sistema de proteção, sua função e requisitos mais importantes, além dos relés de proteção e suas principais aplicações. Em seguida, fala-se sobre o sistema de automação de subestações e sistema de comunicação, incluindo o processo genérico de transmissão de mensagens utilizado, fundamental para a automação de uma subestação. Por fim é feito um apanhado geral da norma IEC 61850, suas diretrizes e principais benefícios.

Os capítulos de conclusão e revisão bibliográfica encerram este trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo fazer uma revisão dos principais conceitos, definições e temas abordados neste trabalho, para que se tenha uma base e entendimento melhor sobre o assunto.

### 2.1 Subestações

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2016), uma subestação é um “conjunto de instalações elétricas que agrupa os equipamentos, condutores e acessórios, destinados à proteção, medição, manobra e transformação de grandezas elétricas”.

Como parte integrante do Sistema Elétrico de Potência (SEP), que engloba todas as formas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, a principal função de uma subestação é permitir a distribuição de energia, direcionando e controlando o fluxo energético da fonte geradora à consumidora (MUZY, 2012).

#### 2.1.1 Classificação das subestações

As subestações podem ser classificadas de acordo com diversos critérios, dentre os quais destacam-se os relacionados à função no sistema elétrico, nível de tensão, tipo de instalação, e forma de operação.

##### 2.1.1.1 Classificação quanto à função no sistema elétrico

- **Subestações de manobra:** apresentam o mesmo nível de tensão na entrada e na saída, interligando circuitos que possuem o mesmo nível de tensão, possibilitando o chaveamento das linhas de transmissão e o seccionamento de circuitos, permitindo sua energização em trechos de menor comprimento (MUZY, 2012).
- **Subestações abaixadoras:** estão localizadas ao final de um sistema de transmissão e diminuem os níveis de tensão, fazendo com que a tensão na saída seja inferior àquela da entrada, evitando inconvenientes próximo aos centros urbanos, como rádio interferência e campos magnéticos intensos (MUZY, 2012).
- **Subestações elevadoras:** localizadas próximo aos centros de geração, elevam a tensão para níveis de transmissão, fazendo com que a tensão na saída seja superior à tensão na entrada. (MUZY, 2012).
- **Subestações de transmissão:** subestação ligada às linhas de transmissão, destinadas

ao transporte de energia elétrica a longas distâncias (MUZY, 2012).

- **Subestações de distribuição:** recebem a energia das linhas de transmissão e a transfere para as redes de distribuição (MUZY, 2012).
- **Subestações de conversão:** permitem a conexão de circuitos de corrente alternada com circuitos de corrente contínua (MEIRELES, 2010).

#### 2.1.1.2 Classificação quanto ao nível de tensão

De acordo com Meireles (2010), no que diz respeito aos níveis de tensão, as subestações são classificadas em:

- **Baixa tensão:** subestações com nível de tensão menor ou igual a 1 kV.
- **Média tensão:** subestações com nível de tensão entre 1 kV e 34,5 kV.
- **Alta tensão:** subestações com nível de tensão entre 34,5 kV e 230 kV.
- **Extra-alta tensão:** subestações com nível de tensão entre 230 kV e 800 kV.
- **Ultra-alta tensão:** subestações com nível de tensão acima de 800 kV.

#### 2.1.1.3 Classificação quanto ao tipo de instalação

- **Subestações externas:** instaladas ao ar livre, necessitam de equipamentos que ofereçam proteção própria para condições atmosféricas adversas, como chuva, poeira, etc. (MUZY, 2012).
- **Subestações internas:** construídas em ambientes fechados, no interior de uma edificação (MUZY, 2012).
- **Subestações móveis:** instaladas em veículos, permitindo sua movimentação ao longo do sistema elétrico, conforme necessidade (MEIRELES, 2010).

#### 2.1.1.4 Classificação quanto a forma de operação

- **Subestações operadas manualmente:** as operações de supervisão e controle exigem a presença de um operador, necessitando de um alto nível de treinamento pessoal (MUZY, 2012).
- **Subestações semiautomáticas:** além da presença do operador, possuem computadores locais e intertravamentos eletromecânicos, a fim de auxiliá-lo, impedindo operações indevidas (MUZY, 2012).

- **Subestações automatizadas:** são monitoradas a distância, por intermédio do computador, dispensando a presença do operador (MUZY, 2012).

## 2.1.2 Equipamentos principais de uma subestação

As subestações possuem em sua constituição diferentes equipamentos de medição, transformação, manobra e proteção.

Os equipamentos de medição são os instrumentos utilizados para medir grandezas como corrente e tensão, os equipamentos de transformação aumentam ou diminuem a tensão elétrica, permitindo a conexão de circuitos de diferentes níveis de tensão, os equipamentos de manobra são responsáveis por permitir ou impedir a passagem de energia através dos circuitos conectados e os equipamentos de proteção garantem a segurança de pessoas e equipamentos em situações de falha, detectando e isolando os trechos onde estas ocorrem (MEIRELES, 2010).

### 2.1.2.1 Transformador de potência

O transformador de potência, mostrado na Figura 1, é um equipamento utilizado para transformação e distribuição de energia elétrica. Destina-se, principalmente, a elevar ou reduzir o nível da tensão de operação, sem alterar a potência, ajustando a tensão de saída de um circuito à tensão de entrada do circuito seguinte.

**Figura 1 - Transformador de Potência**



Fonte: (WEG, 2018)

### 2.1.2.2 Transformador de corrente

Para proteção e controle dos sistemas elétricos é preciso que os elevados valores de corrente e tensão presentes nestes sistemas sejam conhecidos. Como não há ferramentas que meçam diretamente essas grandezas, utilizamos os transformadores de instrumentos, equipamentos de medição que fornecem valores de corrente e tensão que se adaptam aos demais instrumentos de medição, proteção e controle disponíveis na subestação (MUZY, 2012).

O transformador de corrente (TC), mostrado na Figura 2, é um tipo de transformador de instrumento que converte altos valores de corrente em valores menores.

O enrolamento primário é conectado em série ao circuito elétrico e o enrolamento secundário alimenta as bobinas de corrente dos demais instrumentos com quantidades de corrente proporcionais ao circuito primário, porém reduzidas (MEIRELES, 2010).

**Figura 2 - Transformador de Corrente**



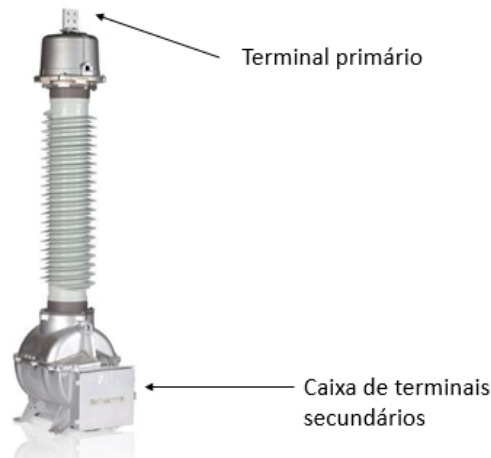
Adaptado de: (ABB, 2018a)

### 2.1.2.3 Transformador de potencial

O transformador de potencial (TP), mostrado na Figura 3, é um equipamento utilizado para medição de tensão, que funciona de forma similar ao transformador de corrente, fornecendo uma tensão proporcional aos circuitos de alta tensão que estão sendo medidos.

O enrolamento primário é ligado em derivação ao circuito elétrico e o enrolamento secundário alimenta as bobinas de potencial dos demais instrumentos (MUZY, 2012).



**Figura 3 - Transformador de Corrente**

Adaptado de: (ABB, 2018a)

#### 2.1.2.4 Para-raios

O para-raios é um equipamento de proteção destinado a limitar sobretensões provenientes de descargas atmosféricas ou do próprio sistema elétrico, impedindo danos às instalações e garantindo a segurança das pessoas (MEIRELES, 2010).

A partir de um certo valor de tensão, o para-raios deixa de funcionar como isolador e passa a conduzir, descarregando parte da corrente. Quando os valores retomam aos níveis normais de proteção, bloqueiam novamente a condução (MUZY, 2012).

Na Figura 4 é mostrado um para-raios para alta tensão.

**Figura 4 – Para-raios alta tensão**

Fonte: (ABB, 2018c)

### 2.1.2.5 Disjuntor

De acordo com Muzy (2012), o disjuntor é o principal equipamento de segurança de uma subestação, além de ser o dispositivo de manobra mais eficiente. Destina-se ao controle de circuitos, interrompendo-os quando operam em condições anormais ou de emergência.

Segundo Alves (2006), quando fechado, em condições normais, o disjuntor deve conduzir continuamente, sem sobreaquecer. Além disso, deve ser capaz de conduzir correntes anormais durante um tempo pré-estabelecido. Quando aberto, deve garantir o isolamento.

Na Figura 5 é mostrado um disjuntor para alta tensão.

**Figura 5 – Disjuntor alta tensão**



Fonte: (ABB, 2018b)

### 2.1.2.6 Chaves seccionadoras

As chaves seccionadoras são equipamentos de manobra capazes de interromper um circuito, abrindo seus contatos, quando o circuito é desenergizado por um dispositivo de proteção (MEIRELES, 2010).

Com seus contatos fechados, em condições normais, deve manter a condução de corrente, e também condições anormais, como um curto-circuito, durante um tempo previamente especificado (MUZY, 2012).

Na Figura 6 é mostrado um modelo de chave seccionadora.

**Figura 6 – Chave Seccionadora**



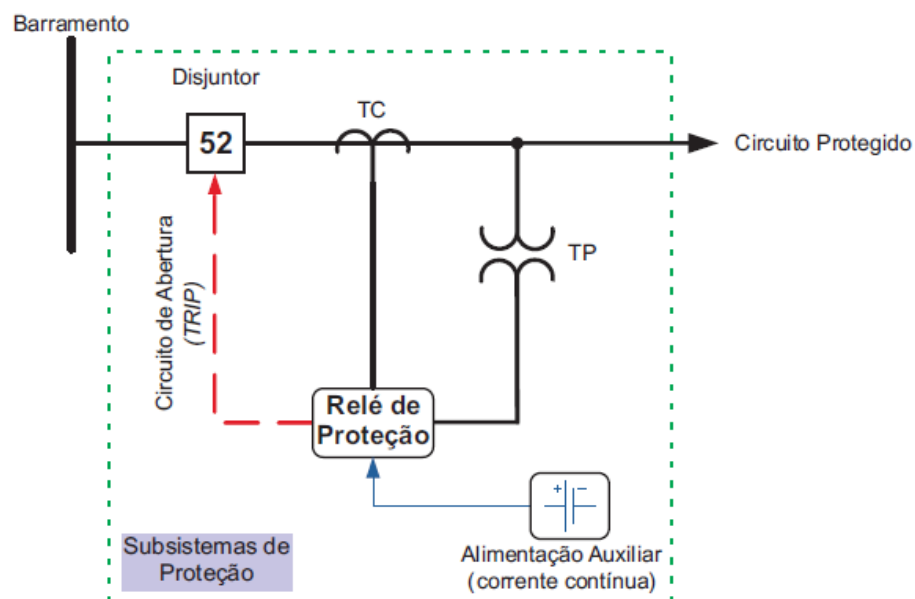
Fonte: (SHACK, 2018)

## 2.2 Sistemas de proteção

Os sistemas de proteção são responsáveis pela segurança das instalações e das pessoas em um sistema elétrico de potência. O objetivo é detectar uma condição anormal de operação, isolando partes do sistema ou equipamentos defeituosos (VICENTE, 2011).

Como mostrado na Figura 7, os sistemas de proteção são compostos por subsistemas de proteção: transformadores de instrumentos (TCs e TPs), disjuntores e relés de proteção.

**Figura 7 - Subsistemas do sistema de proteção**



Fonte: (CHEMIN NETTO, 2008)

Segundo Almeida (2000), um sistema de proteção deve atuar em três níveis;

- **Proteção principal:** é a que atuará primeiro quando houver defeito dentro da zona protegida.
- **Proteção de retaguarda:** deverá atuar quando houver falhas na proteção principal.
- **Proteção auxiliar:** auxiliam as proteções principal e de retaguarda. São utilizadas, por exemplo, para alarmes e temporização.

**Figura 8- Critérios de desempenho do sistema de proteção**



Fonte: Própria autora

Conforme ilustrado na Figura 8, para obterem um bom desempenho, de acordo com Mamede Filho; Mamede (2013), os sistemas de proteção devem atender a alguns critérios:

- **Seletividade:** a proteção deve isolar o menor trecho possível. Dessa forma, deve-se utilizar a operação coordenada de dispositivos, onde somente o dispositivo de proteção mais próximo do defeito atuará, desconectando a parte defeituosa do sistema elétrico.
- **Zonas de atuação:** o dispositivo de proteção deve reconhecer se o defeito pertence ou não à sua zona protegida. Caso não pertença, o relé não deve ser sensibilizado.
- **Confiabilidade:** a proteção deve funcionar corretamente e com segurança, cumprindo suas funções com exatidão.
- **Velocidade:** a velocidade de atuação de um dispositivo de proteção deve ser a menor possível.
- **Sensibilidade:** o dispositivo de proteção deve reconhecer com precisão a faixa de valores para os quais deve ou não operar.

- **Automação:** o elemento de proteção deve operar automaticamente quando for solicitado e retornar sem auxílio humano, se conveniente, depois que as condições normais de operação forem reestabelecidas.

Para satisfazer a estes requisitos com o menor tempo possível de atuação os relés de proteção vêm evoluindo, tornando-se equipamentos cada vez mais modernos.

## 2.3 Relés de proteção

Segundo Covre (2011), os relés de proteção são dispositivos responsáveis por detectar defeitos ou condições anormais de operação no sistema elétrico de potência a partir de sinais provenientes dos transformadores de corrente e potencial, e com base nestas informações, atuam sobre os componentes defeituosos, desligando equipamentos e isolando trechos do sistema, evitando danos maiores aos equipamentos e ao próprio sistema.

### 2.3.1 Funções principais dos relés de proteção

De acordo com Mamede Filho; Mamede (2013), as funções de um relé de proteção são caracterizadas por um código numérico, utilizado no Brasil e em vários outros países, obedecendo a uma tabela elaborada pela American National Standards Institute (ANSI).

A seguir, estão descritas as principais funções, conforme diz Mamede Filho; Mamede (2013):

- **Relé de sobrecorrente – Função ANSI 50/51:** quando a corrente elétrica que circula sobre o equipamento que se quer proteger supera um valor previamente ajustado, o relé atua.
- **Relé diferencial de corrente – Função ANSI 87:** compara as correntes elétricas que circulam entre os dois terminais (zona protegida) de um equipamento que se quer proteger. Quando há diferença significativa no módulo entre essas correntes, o relé deve atuar, enviando um comando ao disjuntor, desligando o sistema.
- **Relé direcional – Função ANSI 67:** reconhece o sentido em que corrente ou potência circulam em uma determinada parte do sistema. Caso fluam no sentido inverso ao normal, o relé deve atuar.
- **Relé de sobretensão – Função ANSI 59:** atua quando o sistema elétrico a ser protegido é submetido a níveis de tensão superiores aos valores máximos permitidos (110% do valor nominal).

- **Relé de subtensão – Função ANSI 27:** atua quando o sistema elétrico a ser protegido é submetido a níveis de tensão inferiores aos valores mínimos necessários aos equipamentos elétricos em operação (80% do valor nominal).
- **Relé de tensão – Função ANSI 27/59:** atua em condições de subtensão e sobretensão.
- **Relé de distância – Função ANSI 21:** atua quando a impedância da linha de transmissão for inferior a um valor ajustado. O tempo de atuação é proporcional a distância entre o ponto de localização do relé até o ponto do defeito.
- **Relé de religamento – Função ANSI 79:** envia um sinal de fechamento automático ao disjuntor, aberto devido a uma falha, quando as condições normais do circuito são reestabelecidas.
- **Relé de frequência – Função ANSI 81:** atua em situações de subfrequência e sobrefrequência, sempre que a frequência medida está fora do valor ajustado.
- **Relé de bloqueio – Função ANSI 86:** atua sobre a bobina de abertura do disjuntor, impedindo seu fechamento devido a algum defeito do equipamento ou da unidade de proteção responsável, garantindo a segurança de equipamentos e operadores.

## 2.3.2 Tipos construtivos de relés de proteção

### 2.3.2.1 Relé eletromecânico

Percursor das demais tecnologias, pode-se definir o relé eletromecânico como aquele em que a operação lógica é realizada pelo movimento de elementos mecânicos, acionados por acoplamentos elétricos e magnéticos (CHEMIN NETTO, 2008).

Figura 9 - Relés eletromecânicos



Fonte: (CARVALHO, 2018)

Atualmente, ainda existem muitos destes dispositivos instalados nas subestações, devido a sua longa vida útil, porém já são considerados obsoletos, sendo substituídos durante operações de manutenção, reforma, etc. (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2013). De acordo com SEL (2010a), “não temos mais os recursos necessários para efetuar sua manutenção, não existem peças de reposição ou mão de obra, tudo é microprocessado”.

Na Figura 9 são mostrados exemplos de relés eletromecânicos.

### 2.3.2.2 Relé estático

O relé estático, mostrado na Figura 10, também conhecido como relé eletrônico, é caracterizado pela ausência de elementos mecânicos móveis. (CHEMIN NETTO, 2008).

As funções antes realizadas nos relés eletromecânicos por peças mecânicas e indução magnética são reproduzidas no relé estático utilizando circuitos impressos. Não trouxeram grandes inovações ao sistema de proteção (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2013).

**Figura 10 - Relé de proteção estático**



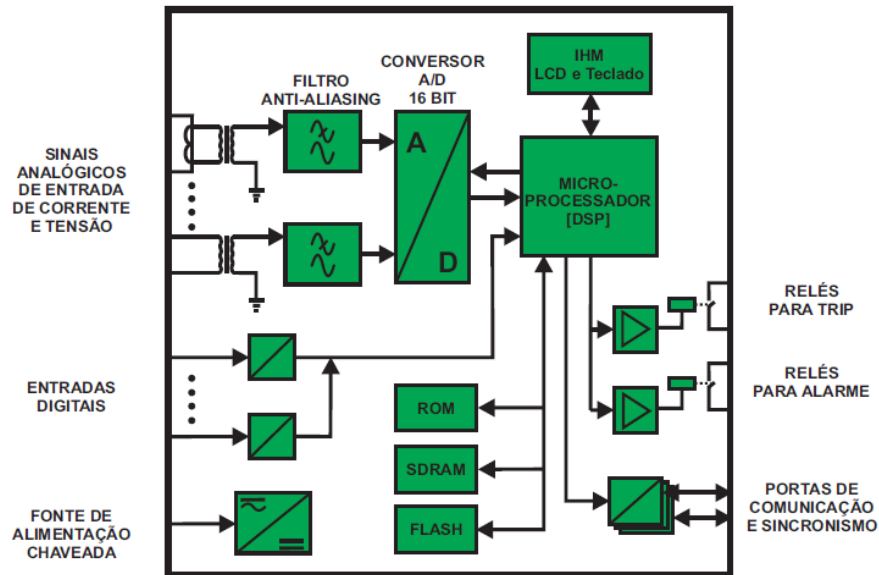
Fonte: (CARVALHO, 2018)

### 2.3.2.3 Relé digital

São relés eletrônicos que possuem chips de alta velocidade de processamento, e softwares específicos para proteção. Atualmente dominam o mercado, tornando-se base da maioria dos sistemas de uma subestação, atuando em funções de proteção, controle, medição, etc. (CHEMIN NETTO, 2008).

A Figura 11 mostra o diagrama de blocos de um relé de proteção digital.

**Figura 11- Diagrama de blocos de um relé digital**



Fonte: (COVRE, 2011)

A fonte de alimentação fornece ao relé a tensão necessária para operação de seus circuitos internos.

As entradas digitais informam o estado de operação dos disjuntores, seccionadoras, e outros dispositivos, fornecendo ao processador o valor de status de seus respectivos contatos.

Os sinais analógicos, provenientes dos transformadores de corrente e potencial, são tratados antes de sua aplicação a unidade de processamento. Inicialmente são filtrados através de filtros passa-baixa e após a filtragem, os dados são amostrados e passam por uma conversão analógico-digital (A/D).

Os relés digitais podem possuir mais de um tipo de memória. A memória RAM (Random Access Memory) armazena dados de natureza temporária. Na memória ROM (Read Only Memory), são armazenadas informações do fabricante, sendo acessada somente para operações de leitura. A memória FLASH pode ser programada e apagada eletricamente, e nela são armazenados os dados permanentes (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2013).

O microprocessador, responsável pela execução das funções lógicas de entrada e saída, processa os dados digitais recebidos e executa os programas dedicados, chamados algoritmos de proteção, armazenados em memórias do tipo FLASH (CHEMIN NETTO, 2008).



O microprocessador exerce também as funções de comunicação serial e de automonitoramento, permitindo que ele supervise continuamente seu próprio funcionamento, sendo capaz de sinalizar caso haja alguma condição não favorável ao desempenho do relé (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2013).

Os circuitos digitais de saída executam as funções de alarme e trip do relé, enviando ao equipamento associado o sinal de disparo.

A IHM (Interface Homem-Máquina) permite que o usuário se comunique com o dispositivo a partir de um microcomputador, alterando ajustes e acessando informações. Há ainda um display, utilizado para mostrar os dados armazenados na memória, e um teclado, também utilizado para ajuste de parâmetros e navegação.

As portas de comunicação possibilitam a comunicação com outros equipamentos.

Um exemplo de relé digital é mostrado na Figura 12.

**Figura 12 - Exemplo de relé de proteção digital**



Fonte: (SEL, 2018)

## 2.4 Automação de Subestações

Entende-se por automação de subestações os recursos, métodos, equipamentos, softwares e protocolos de comunicação utilizados para proteção, controle e supervisão do processo de transmissão de energia elétrica (SEL, 2010a).

De acordo com Jardini (1997), o Sistema de Automação de Subestações (SAS) se caracteriza por dois níveis:

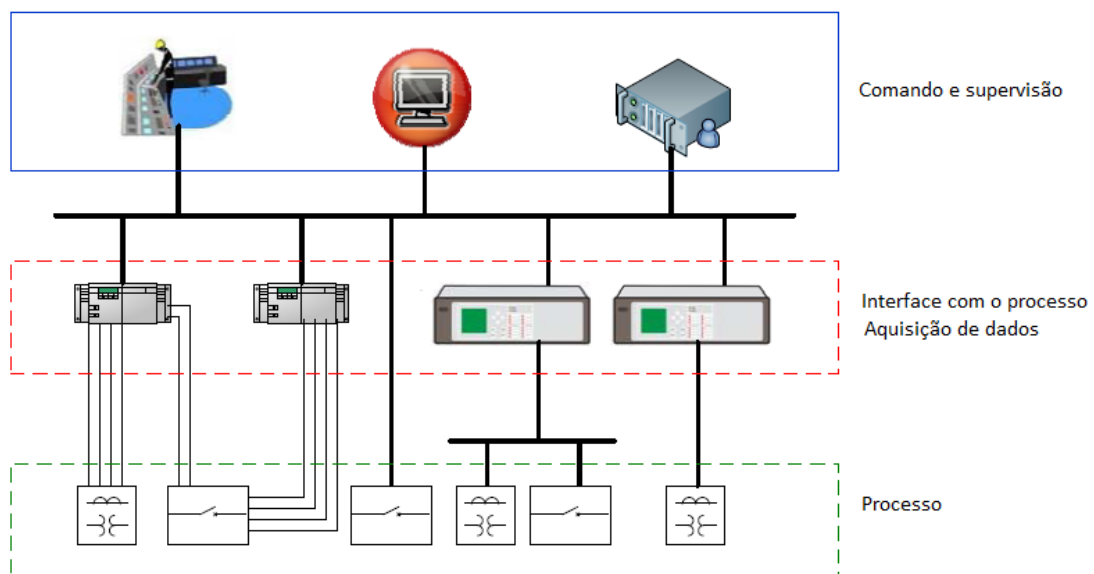
- Interface com o processo e aquisição de dados;
- Comando e supervisão, também chamado de sistema central;

Ainda de acordo com Jardini (1997), no nível interface com o processo encontram-se as Unidades de Aquisição de dados e Controle (UAC), relés de proteção e outros Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IEDs). Estes dispositivos estão conectados entre si e ao sistema central através da rede local, enviando informações referentes ao processo: tensões, correntes, estados de equipamentos como seccionadores e disjuntores, etc. Essa troca de informações só é possível, através dos sistemas de comunicação.

No nível do sistema central, conforme diz Jardini (1997), desenvolvem-se várias funções, dentre as quais se destacam: sinalização e monitoramento do status de equipamentos e proteções, medições, religamentos, estimativas da localização de falhas, telecomando, alarmes, impressão de relatórios e interface homem-máquina.

A Figura 13 ilustra um sistema de automação de subestações.

**Figura 13- Sistema de automação de subestações**



Adaptado de: (MIRANDA, 2009)

A integração desses níveis é o chamado Sistema de Supervisão Controle e Aquisição de Dados (SCADA).

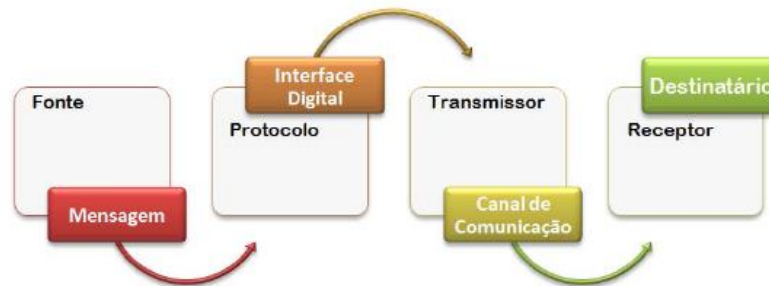
#### **2.4.1 Sistemas de comunicação**

Os sistemas de comunicação exercem papel fundamental na operação dos sistemas elétricos. Permitem a transferência de informações entre pontos distintos de forma confiável, otimizando a quantidade de equipamentos e aplicações que as compartilham (MIRANDA, 2009). São

constituídos por um conjunto de dispositivos de aquisição e processamento de dados, softwares e canais de comunicação que possibilitam essa troca de informações aconteça.

De acordo com Miranda (2009), o processo de transmissão envolve basicamente os tópicos mostrados na Figura 14.

**Figura 14 - Modelo genérico de comunicação**



Fonte: (MIRANDA, 2009)

A fonte gera a mensagem que se deseja transmitir. Esta mensagem é um sinal codificado de forma a representar uma informação ou comando. A transmissão da mensagem está relacionada ao protocolo, que garante que as mensagens sejam enviadas de forma organizada e sem erros (MIRANDA, 2009).

A interface digital é um dispositivo de entrada e saída que torna possível a compatibilidade entre dois dispositivos que trocam informações. Define características mecânicas. No que diz respeito aos conectores, por exemplo, define as dimensões, disposições e funções de cada pino (MIRANDA, 2009). Um cabo serial é uma interface digital.

O transmissor adapta a mensagem ao canal de comunicação, transformando-a no sinal apropriado para trafegar na rede de comunicação, sendo recebida e interpretada pelo receptor.

Os canais de comunicação são meios físicos, por onde as informações são transportadas até chegarem ao receptor. Normalmente utilizam-se cabos elétricos, fibra ótica e ondas de rádio (KREUTZ, 2014).

#### **2.4.1.1 Protocolos de comunicação**

Os protocolos de comunicação são as regras que governam a comunicação entre dois dispositivos eletrônicos.

De acordo com Vicente (2011), até a década de 80 cada fabricante desenvolvia seu próprio protocolo de comunicação. Os variados tipos de protocolo, conforme ilustrado na Figura 15, dificultavam a comunicação entre dispositivos de diferentes fabricantes, fazendo com que vários sistemas operassem de forma isolada dentro de uma mesma subestação. Devido à dificuldade de integração, a padronização dos protocolos de comunicação se tornou uma necessidade, levando à criação da norma IEC 61850.

**Figura 15 - Protocolos de comunicação**



Fonte: (MIRANDA, 2009)

## 2.5 Norma IEC 61850

Publicada em 2003, a norma IEC 61850 – Redes de Comunicação e Sistemas em Subestações – vem sendo desenvolvida desde os anos 90. Foi elaborada por grupos de trabalho formados por especialistas de todo o mundo, subordinados ao comitê técnico IEC (International Electrotechnical Comitê) (SEL, 2010b).

O maior objetivo da norma IEC 61850 é garantir a comunicação entre dispositivos de diferentes fabricantes nas subestações de energia elétrica. Porém, conforme mostrado na Tabela 1, a norma é dividida em tópicos que permitem uma abordagem praticamente completa dos sistemas de automação de subestações.

A parte 1 da norma introduz o princípio de interoperabilidade: capacidade de dispositivos de diferentes formas, funções e fabricantes se reconhecerem e trocarem informações. Essa comunicação deve ser baseada em padrões já existentes e utilizar protocolos abertos, que permitam o acréscimo de novas funcionalidades. Além disso, devem usar uma estrutura de dados que representem informações específicas de uma subestação, como estados de equipamentos e medições das mais diversas variáveis, como tensão e corrente.

Tabela 1- Tópicos da norma IEC 61850

Característica	Parte	Descrição	Publicação
Aspectos do Sistema	1	Introdução e Visão Geral	04/2003
	2	Glossário	01/2002
	3	Requisitos Gerais	01/2002
	4	Gerenciamento de Sistema e Projeto	01/2002
	5	Requisitos de Comunicação para Funções e Modelos de Dispositivos	07/2003
Configuração	6	Linguagem de Configuração para IEDs de Subestações Elétricas (SCL)	03/2004
Estrutura de Comunicação Básica para Equipamentos de Subestações e Alimentadores	7.1	Princípios e Modelos	07/2003
	7.2	Serviços de Interface de Comunicação Abstrata (ACSI)	05/2003
	7.3	Classe de Dados Comun (CDC)	05/2003
	7.4	Classes de Nós Lógicos e de Dados Compatíveis	05/2003
Mapeamento de Serviços de Comunicação Específicos	8.1	Mapeamento para MMS (ISO/IEC 9506 Parte 1 and Parte 2) e para ISO/IEC 8802-3	05/2004
	9.1	Valores Amostrais sobre Enlace Serial Unidirecional <i>Multidrop</i> Ponto-a-Ponto	05/2003
	9.2	Valores Amostrais sobre ISO/IEC 8802-3	04/2004
Ensaio	10	Testes de Conformidade	06/2005

Fonte: (MIRANDA, 2009)

De acordo com Miranda (2009), as operadoras dos sistemas de energia elétrica reivindicam também a intercambiabilidade entre dispositivos de fabricantes distintos, ou seja, a substituição de dispositivos de um fabricante por outro, sem necessidade de mais alterações no sistema.

A parte 2, como já explicitado na tabela, contém um glossário com as principais definições, necessárias para compreensão da norma.

De maneira geral, as partes 3, 4 e 5 identificam os requisitos para comunicação em uma subestação. Na parte 3 são definidos os requisitos gerais para comunicação em rede. Dentre eles, destacam-se:

- A falha de um componente de comunicação não deve afetar a operação do sistema.
- A IHM local deve operar independente do sistema central.
- Deve-se considerar as influências climáticas, mecânicas, elétricas, dentre outras, a que as interfaces de comunicação são submetidas.
- Deve-se garantir a integridade dos dados transmitidos.

A parte 4 trata de pré-requisitos de engenharia relacionados ao projeto de um sistema para a automação de uma subestação, tais como:

- Ciclo de vida de todo sistema, e dos IEDs, garantindo a qualidade durante todo seu funcionamento.
- Configurações de hardware e parâmetros como valores limites e tempo de atuação de um dispositivo.
- Parâmetros do sistema, como funções disponíveis no software dos IEDs e protocolos de comunicação.
- Parâmetros de processo, que descrevem os tipos de informações trocadas entre o ambiente e o processo.

A norma diz ainda que o fabricante é responsável por manter o padrão de qualidade de seus produtos, e deve anunciar a descontinuidade de um dispositivo, além de oferecer suporte após o fim da fabricação. Os usuários, por outro lado, devem obedecer às instruções técnicas presentes na documentação de seus produtos, garantindo as condições de funcionamento.

A parte 5 define os requisitos de comunicação para as funções implementadas em uma subestação. Funções são tarefas a serem executadas, como por exemplo, a monitoração do estado de um disjuntor. Nesta parte é abordado o conceito de Nós Lógicos (NL).

Na parte 6 é especificada uma linguagem de descrição formal das configurações para sistemas de automação de subestações, chamada Substation Configuration Language (SCL). Baseada em XML, descreve a configuração de dispositivos e seus parâmetros, além da configuração de funções da subestação.

De acordo com Miranda (2009), o conteúdo de um arquivo SCL é composto pelos dados gerais da subestação, de equipamentos de manobra, serviços de comunicação e funcionalidades dos IEDs. Padroniza-se a linguagem entre programas, permitindo a troca de informação entre ferramentas de fabricantes distintos.

A parte 7 trata da estrutura de comunicação do padrão IEC 61850. Utiliza conceitos programação orientada a objetos, através da modelagem abstrata, independente de protocolos.

A parte 7.1 introduz conceitos necessários para compreensão das seções posteriores.

A parte 7.2 é abordado o Serviço de Interface de Comunicação Abstrata (ACSI). Segundo Rein Júnior (2006), define serviços comuns para dispositivos de subestações. Estes serviços se dividem em dois grupos: o primeiro utiliza a comunicação entre cliente e servidor, e o segundo compreende os serviços GOOSE (Generic Object Oriented Services Elements) usado para transmissão de mensagens em alta velocidade entre IEDs.

A parte 7.3 descreve uma Classe Comum de Dados (CDC). As classes de dados são tipos de dados utilizados para definição de nós lógicos. De acordo com Mendes (2008) podem ser classificadas em sete categorias principais:

- Informação de sistema
- Informação de dispositivo físico
- Medidas
- Valores de metragem
- Dados controláveis
- Informações de status
- Configurações

Na parte 7.4 é feito o detalhamento de cada nó lógico: dados e atributos, CDCs utilizadas, tipos de informações e demais elementos.

A parte 8.1 especifica um método de troca dados através de uma rede LAN. O perfil de comunicação na IEC 61850 usa o padrão MMS, que usa Ethernet e TCP / IP para manipular o transporte de informações dentro da subestação.

As partes 9.1 e 9.2 definem o mapeamento dos valores amostrais medidos em um frame de dados Ethernet.

Por fim, a parte 10 define uma metodologia de testes para determinar a conformidade com as inúmeras definições de protocolos e restrições definidas na norma.

### **2.5.1 Nós lógicos**

Para atingir os objetivos de padronização citados anteriormente, todas as funções de um SAS foram identificadas e divididas em subfunções, chamadas nós lógicos. Representam os objetos da subestação, ou funções de proteção e são considerados a essência da norma IEC 61850. Um

conjunto de nós lógicos forma um Dispositivo Lógico (DL), estes por sua vez residem no dispositivo físico (IED). São utilizados para a virtualização de um dispositivo físico.

A norma define diversos nós lógicos, padronizados e identificados por um código de quatro letras e agrupados por categoria. A Tabela 2 mostra alguns desses grupos:

**Tabela 2- Grupos de nós lógicos**

Tipos de Grupo	Descrição do Grupo
A	Funções de Controle Automático
C	Funções de Controle
G	Funções Genéricas
I	Funções de Interface e Armazenamento
L	Funções do Sistema
M	Medição
P	Funções de Proteção
R	Funções relacionadas à Proteção
S	Sensores e Monitoramento
T	Transformadores
X	Equipamentos de Manobra
Y	Transformadores de Potência
Z	Equipamentos adicionais

Fonte: (DUARTE, 2012)

Um TC, por exemplo, é representado pelo nó lógico TCTR.

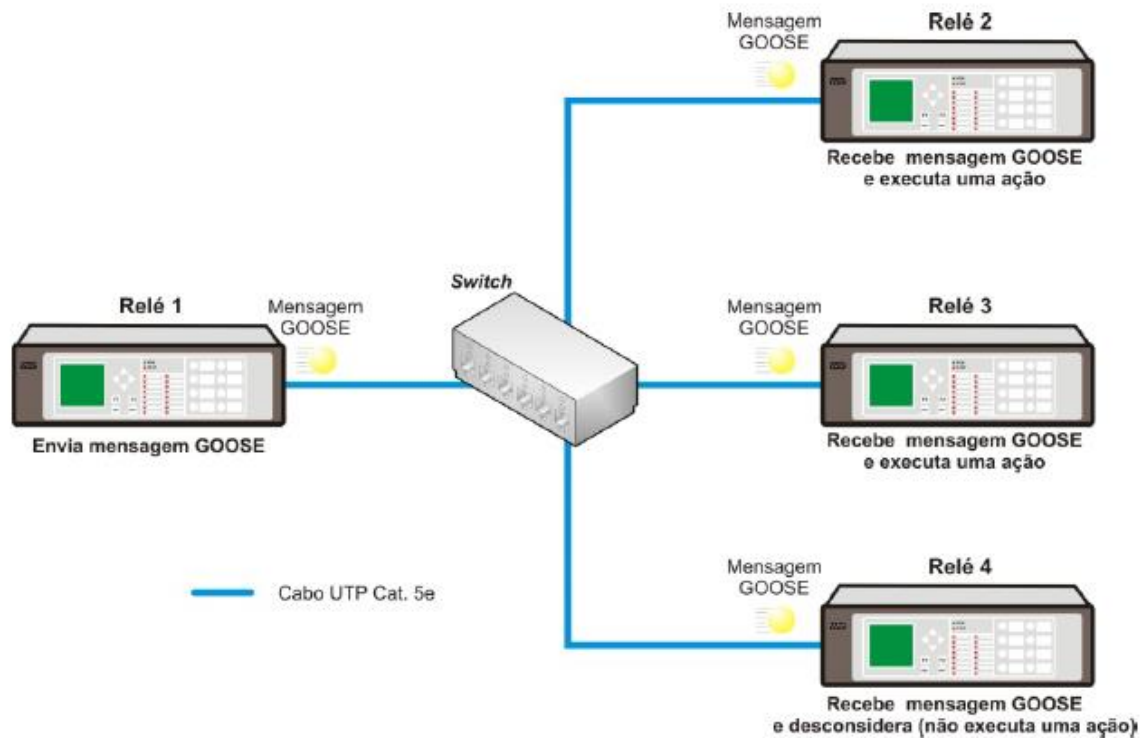
## 2.5.2 Mecanismos de Comunicação

Como já mencionado, a norma IEC 61850 modelou mecanismos de comunicação:

- **Generic Object Oriented Substation Event (Goose):** utilizado para mensagens com requisitos rígidos de tempo. Utiliza um mecanismo conhecido como publicador/assinante. De acordo com SEL (2010b), um IED é definido como publicador, e todos os outros dispositivos que precisarem das informações geradas por ele são configurados como assinantes. Dessa forma, em um único ciclo de comunicação de rede todos os assinantes são atualizados, atendendo aos requisitos de tempo. Ao receber uma mensagem, o assinante deve determinar o emissor, e se a informação é de seu interesse. A Figura 16 ilustra esse processo.



Figura 16 - Mecanismo GOOSE



Fonte: (MIRANDA, 2009)

Para garantir o recebimento da mensagem no destino, a mesma mensagem GOOSE é enviada repetidamente, contribuindo também para a velocidade de transmissão.

- **Manufacturing Message Specification (MMS):** utilizado para mensagens de supervisão e controle. Neste caso, os tempos de transmissão podem ser da ordem de segundos. Para transmissão desse tipo de mensagem, são utilizados os mecanismos do TCP/IP.
- **Sampled Values (SV):** padroniza a amostragem de valores analógicos, como corrente e tensão, a partir de equipamentos primários como TCs ou TPs, em frequência e precisão pré-determinadas por aplicação. Determina também maneira como estes dados devem ser apresentados e sincronizados em uma rede de comunicação Ethernet.

### 2.5.3 Benefícios da IEC 61850

O maior benefício da norma IEC 61850, sem dúvidas, é a interoperabilidade. O compartilhamento de informações tornou-se mais simples e eficiente, permitindo a total integração da subestação e utilização de dispositivos de diferentes fabricantes.

Outro benefício claro é a redução nos custos de projeto, implantação e manutenção. Não há necessidade de conversores para comunicação entre IEDs de fabricantes diferentes. Além disso, com os novos modelos de comunicação é possível reduzir o número de equipamentos intermediários e de cabos utilizados, uma vez que os cabos de controle fabricados em cobre são substituídos por fibra ótica.

Além disso, pode-se destacar:

- Uso de sistemas de comunicação de alta velocidade.
- Maior confiabilidade do sistema.
- Facilidade de expansão.
- Facilidade para configuração de dispositivos, que já não exigem configuração manual, reduzindo erros e retrabalho.
- Padronização. Ao alterar um dispositivo, por exemplo, a necessidade de reconfiguração é minimizada, uma vez que todos os dispositivos compartilham o mesmo padrão de nomenclatura.

### 3 CONCLUSÃO

A automação é fundamental na manutenção da qualidade no fornecimento de energia elétrica, oferecendo todas as soluções necessárias para atender aos requisitos de confiabilidade e eficiência imprescindíveis ao sistema elétrico.

O trabalho abordou, de maneira geral, os diversos aspectos relacionados aos sistemas de proteção, controle e supervisão aplicados a uma subestação, permitindo uma visão geral do processo de automação.

Conclui-se que a norma IEC 61850 é um grande ganho para a automação de subestações. Suas características únicas influenciam diretamente sobre os custos ao se projetar, construir e instalar uma subestação. Apesar dos benefícios, a implantação da norma IEC 61850 não é um processo simples, exigindo treinamento e capacitação.

Além disso, implantar as diretrizes da norma IEC 61850 em uma subestação já existente é uma tarefa complicada, uma vez que os equipamentos mais antigos não atendem aos requisitos de comunicação. A substituição desses equipamentos, e demais itens necessários exige investimento financeiro, além da necessidade de interrupção do fornecimento de energia, já que em alguns casos, para a manutenção e reforma, é preciso desenergizar a subestação. É necessário analisar a viabilidade da norma nesses casos, considerando todos os impactos causados.

Para trabalhos futuros, sugere-se fazer uma abordagem completa da norma IEC 61850, comparando o sistema de comunicação proposto pela norma aos sistemas de comunicação usuais. Uma maneira interessante é comparar projetos de uma subestação clássica com uma subestação moderna, que atenda a norma IEC 61850. É importante analisar também, de maneira mais profunda, os principais benefícios da norma IEC 61850 e como esta contribui para a segurança dos operadores, em conformidade com a norma NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços de Eletricidade.

No que diz respeito a automação dos sistemas elétricos de potência, sugere-se ainda tratar da automação dos sistemas de transmissão e distribuição.

## REFERÊNCIAS

ABB. High Voltage Instrument Transformers. 2018. Disponível em: <<https://new.abb.com/high-voltage/instrument-transformers>>. Acesso em 20 jun. 2018a.

ABB. Live Tank Circuit Breaker - LTA 72.5 kV. 2018. Disponível em: <<https://new.abb.com/high-voltage/AIS/selector/lta>>. Acesso em 20 jun. 2018b.

ABB. Para-raios. 2018. Disponível em: <<https://new.abb.com/high-voltage/pt/para-raios>>. Acesso em 20 jun. 2018c.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 01**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-1>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

ALMEIDA, Marcos A. Dias. **Apostila de Proteção de Sistemas Elétricos**. 2000. Universidade Federal Rio Grande do Norte. 2000. 129 p.

ALVES, Fernando Rodrigues. **Características do Disjuntor para Abertura de Linha de Transmissão em Vazio: Metodologia de Estudo**. 2006. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006. Disponível em: <<https://saturno.unifei.edu.br/bim/0030105.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

CARVALHO, Michel Rockembach. Relés Eletromecânicos. Disponível em: <[http://www.labspt.ufsc.br/~jackie/eel7821/protecao\\_e\\_monitoramento.pdf](http://www.labspt.ufsc.br/~jackie/eel7821/protecao_e_monitoramento.pdf)>. Acesso em 20 jun. 2018.

CHEMIN NETTO, Ulisses. **Aplicações de controle e supervisão distribuídas em subestações de energia elétrica através do uso de relés digitais de proteção**. 2008. Dissertação (Mestrado em Sistemas Elétricos de Potência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18154/tde-16042008-144037/pt-br.php>>. Acesso em: 2018-07-16

COVRE, Helber Peixoto. **Integração de dados dos sistemas de proteção de subestações distribuidoras**. 2011. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-12032012-123239/pt-br.php>>. Acesso em: 16 jul. 2017.

DUARTE, Alexandre Bitencourt. **Fundamentos da série de normas IEC 61850 e sua aplicação nas subestações**. 2012. 58 f. Monografia (Especialização em Teleinformática e Rede de Computadores) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/798/1/CT\\_TELEINFO\\_XX\\_2012\\_01.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/798/1/CT_TELEINFO_XX_2012_01.pdf)>. Acesso em: 08 abr. 2018.

EQUIPE DE ENGENHARIA SHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **Histórico e Terminologia – O Setor Elétrico**, nº48, cap. I, jan. 2010a.

EQUIPE DE ENGENHARIA SHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **Histórico e Terminologia** – O Setor Elétrico, nº54, cap. VII, jul. 2010b.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61850. Communication Networks and Systems in Substations. 2003.

JARDINI, José Antonio. **Sistemas Elétricos de Potência: Automação**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1997. 294 p. Disponível em: <[https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm\\_source=detalhamento-iec-61850](https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm_source=detalhamento-iec-61850)>. Acesso em: 08 jul. 2017.

KREUTZ, Felipe de Campos. **Automação de subestações através da norma IEC 61850**. 2014. 66 f. Projeto de diplomação (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28056/000768668.pdf?...1>>. Acesso em: 04 jul. 2017.

MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel Ribeiro. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 805 p.

MEIRELES, Denise. **Aplicabilidade de subestações compactas isoladas a gás em grandes centros urbanos: proposta de procedimento aplicado à expansão do sistema elétrico**. 2010. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/47M.PDF>>. Acesso em: 08 jul. 2017.

MENDES, Miguel Lima. **Automação do Setor Elétrico - Detalhamento da Norma IEC 61850**. 2008. Disponível em: <[https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm\\_source=detalhamento-iec-61850](https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm_source=detalhamento-iec-61850)>. Acesso em 09 set. 2017.

MIRANDA, Juliano Coêlho. **Segurança cibernética com hardware reconfigurável em subestações de energia elétrica utilizando o padrão IEC 61850**. 2009. Tese (Doutorado em Sistemas Elétricos de Potência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18154/tde-16062009-102211/.../Juliano.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18154/tde-16062009-102211/.../Juliano.pdf)>. Acesso em: 2018-07-16.

MUZY, Gustavo L. C. O. **Subestações Elétricas** – UFRJ – Escola Politécnica, 2012. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005233.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2017.

REIN JUNIOR, Osvaldo. **Um modelo de integração entre os padrões IEC 61850 e IEC 61970 (CIM/XML)**. 2006. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-05092006-150514/pt-br.php>>. Acesso em: 08 jul. 2017.

RODRIGUES, Guilherme Freitas. **Benefícios Da Utilização Da Norma IEC 61850 Em Sistemas De Automação De Subestações E Proteção De Sistemas Elétricos** – UFRJ – Escola Politécnica, 2013. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005233.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2017. Acesso em: 04 mar. 2017.

SCHAK. Chave Seccionadora Tripolar Modelo SFT. Disponível em: <<http://schak.com.br/?product=chave-seccionadora-tripolar-modelo-sft>>. Acesso em 20 jun. 2018.

SHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). Relé de proteção SEL-421. Disponível em: <<http://www1.selinc.com.br/produtos/SEL-421.aspx>>. Acesso em 20 jun. 2018.

VICENTE, Décio Tomasulo de. **Aplicação dos padrões da norma IEC 61850 a subestações compartilhadas de transmissão/distribuição de energia elétrica**. 2011. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-09032012-151057/pt-br.php>>. Acesso em: 2018-03-16.

WEG. Transformador Óleo 10000/12500 kVA 138.0/13.8kV CDC ONAF. 2018. Disponível em: <[https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Gera%C3%A7%C3%A3o%2C-Transmiss%C3%A3o-e-Distribui%C3%A7%C3%A3o/Transformadores-e-Reatores-a%C3%93leo/c/GTD\\_TO](https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Gera%C3%A7%C3%A3o%2C-Transmiss%C3%A3o-e-Distribui%C3%A7%C3%A3o/Transformadores-e-Reatores-a%C3%93leo/c/GTD_TO)>. Acesso em: 20 jun. 2018.