

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TELEINFORMÁTICA E REDES
DE COMPUTADORES**

ALEXANDRE BITENCOURT DUARTE

**FUNDAMENTOS DA SÉRIE DE NORMAS IEC 61850 E SUA APLICAÇÃO NAS
SUBESTAÇÕES.**

**MONOGRAFIA
CURITIBA
2012**

ALEXANDRE BITENCOURT DUARTE

**FUNDAMENTOS DA SÉRIE DE NORMAS IEC 61850 E SUA APLICAÇÃO NAS
SUBESTAÇÕES.**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de especialista em Teleinformática e Rede de Computadores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR.

Orientador: Prof. Dr. Walter Godoy Junior

CURITIBA

2012



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação do *Campus* Curitiba
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores



TERMO DE APROVAÇÃO

FUNDAMENTOS DA SÉRIE DE NORMAS IEC 61850 E SUA APLICAÇÃO NAS SUBESTAÇÕES

por

ALEXANDRE BITENCOURT DUARTE

Esta monografia foi apresentada às 17h do dia 16 de agosto de 2012 como requisito parcial para a obtenção do título de ESPECIALISTA EM TELEINFORMÁTICA E REDES DE COMPUTADORES, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado com a nota **9,0. (NOME INTEIROS)**

Prof. Kleber Kendy Horikawa Nabas
(UTFPR)

Prof. Walter Godoy Júnior
(UTFPR)

Visto da Coordenação

Prof. Dr. Walter Godoy Júnior
Coordenador do Curso

RESUMO

DUARTE, Alexandre Bitencourt. **Fundamentos da série de Normas IEC 61850 e sua aplicação nas subestações**. 2012. Monografia – Programa de Pós-Graduação em Teleinformática e Redes de Computadores, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. UTFPR - Curitiba, 2012.

Este trabalho descreve a utilização do protocolo IEC 61850 nas funções típicas de Subestações de Energia Elétrica. São apresentados alguns aspectos do IEC 61850 com suas principais funcionalidades, como também uma proposta de modernização das subestações de energia, acreditando que isso represente um fator determinante para o crescimento e modernização operacional da empresa. O objetivo é trazer um estudo de algumas das principais características de implementação do IEC 61850, detalhando algumas partes e componentes para esclarecer funcionamento e estrutura.

Palavras-chave: IEC 61850. Subestação. Proteção. Automação. Energia Elétrica. Goose.

ABSTRACT

DUARTE, Alexander Bitencourt. **Fundamentals of IEC 61850 series of standards and their application in substations**. 2012. Monograph - Program Graduate Teleinformática and Computer Networks, Federal Technological University of Paraná. UTFPR - Curitiba, 2012.

This paper describes the use of IEC 61850 in the typical functions of Electric Power Substations. Some aspects of the IEC 61850 with its main features, as well as a proposal for modernization of power substations, believing that it represents a decisive factor for the growth and modernization of the operating company. The goal is to bring a study of some key features of implementation of IEC 61850, detailing parts and components to clarify the structure and functioning.

Keywords: IEC 61850. Substation. Protection. Automation. Electricity. Goose.

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ACSI	<i>Abstract Communication Service Interface</i>
CDC	<i>Common Data Classes</i>
CLP	<i>Controlador Lógico Programável</i>
DNP	<i>Distributed Network Protocol</i>
FTP	<i>File Transport Protocol</i>
GOOSE	<i>Generic Object Oriented Substation Event</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSE	<i>Generic Substation Events</i>
GSSE	<i>Generic Substation Status Event</i>
GSSE	<i>Generic Substation State Events</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IED	<i>Intelligent Electronic Devices</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IHM	<i>Interface Homem Máquina</i>
IRIG-B	<i>Inter-Range Instrumentation Group</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LN	<i>Logical Node</i>
MMS	<i>Manufacturing Message Specification</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
RSTP	<i>Rapid Spanning Tree Protocol</i>
SAS	<i>Substation Automation Systems</i>
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>
SCD	<i>Substation Configuration Description</i>
SCL	<i>Substation Configuration Language</i>
SE	<i>Subestação</i>
SEL	<i>Schweitzer Engineering Laboratories</i>
SEP	<i>Sistema Elétrico de Potência</i>
SIMPASE	<i>Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos</i>
SLAN	<i>Substation Local Area Network</i>
SMV	<i>Sampled Value Mensage</i>
SNTP	<i>Simple Network Time Protocol</i>
SV	<i>Sampled Value</i>
TC	<i>Transformador de Corrente</i>
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>

<i>TP</i>	<i>Transformador de Potencial</i>
<i>UCA</i>	<i>Utility Communication Architecture</i>
<i>UCS</i>	<i>Unidade de Controle da Subestação</i>
<i>VLAN</i>	<i>Virtual Local Area Network</i>
<i>WG</i>	<i>Work Group</i>
<i>WAN</i>	<i>Wide Area Network</i>
<i>XML</i>	<i>eXtensible Markup Language</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dispositivo Eletrônico Inteligente - IED.....	17
Figura 2 -Níveis de Comunicação e Barramento do IEC 61850	18
Figura 3 -Decomposição do IED	24
Figura 4 -Representação simplificada dos protocolos IEC 61850.....	28
Figura 5 -Sistema de configuração que utiliza a linguagem SCL.....	37
Figura 6 -Camadas do Modelo OSI	42
Figura 7 -Modelo de ReferênciaTCP/IP	43
Figura 8 -Localização do TAG no quadro Ethernet.....	47
Figura 9 -Detalhamento do TAG	47

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Divisões da Série IEC 61850	13
Tabela 2- Lista dos Grupos de Nós Lógicos	25
Tabela 3 - Ferramentas de Configuração SCL	37
Tabela 4 - Lista de Tipos de Mensagens e Classes de Desempenho	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. JUSTIFICATIVA.....	12
3. OBJETIVOS.....	12
3.1. OBJETIVOS GERAIS.....	13
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
4. ESTABELECIMENTO DA NORMA IEC 61850.....	14
5. DEFINIÇÃO GERAL DA IEC 61850.....	14
6. DISPOSITIVO ELETRÔNICO INTELIGENTE- IED.....	16
7. ESTRUTURA DA REDE.....	18
7.1. TIPOS DE NÍVEIS.....	18
7.2. TIPOS DE BARRAMENTOS.....	20
7.3. REDE LOCAL DA SUBESTAÇÃO.....	21
8. TIPOS DE SISTEMA DA IEC 61850.....	22
8.1. SISTEMAS COM IMPLEMENTAÇÃO PARCIAL DA IEC 61850.....	22
8.2. SISTEMAS COM IMPLEMENTAÇÃO TOTAL DA IEC 61850.....	22
9. REQUISITOS GERAIS.....	23
10. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	24
10.1.NÓS LÓGICOS.....	25
10.2. DISPOSITIVOS LÓGICOS.....	27
10.3. CLASSE DE DADOS.....	28
11. SERVIÇOS DE COMUNICAÇÃO.....	28
11.1. COMUNICAÇÃO CLIENTE-SERVIDOR.....	29
11.2. MENSAGENS SAMPLED VALUE.....	29
11.3. MENSAGENS GOOSE(GENERIC OBJECT ORIENTED SUBSTATION EVENT).....	31
12. LINGUAGEM DE CONFIGURAÇÃO DE SUBESTAÇÕES – SCL.....	32
13. FERRAMENTAS DE CONFIGURAÇÃO – SCL.....	37
14. ESTRUTURAS DE COMUNICAÇÃO.....	38
15.PROTOCOLOS.....	40

15.1. OSI - OPEN SYSTEMS INTERCONNECTIONS.....	41
15.2. TCP/IP.....	43
15.3. ARQUITETURA ETHERNET.....	44
16. ASPECTOS IMPORTANTES DA NORMA.....	45
17. EQUIPAMENTOS DE UMA SLAN.....	48
17.1. HUB.....	48
17.2. SWITCHES.....	48
17.3. ROTEADOR.....	49
17.4. GATEWAY.....	49
17.5. SERVIDORES DE PORTAS ETHERNET: SPE.....	50
17.6. MÓDULO DE SINCRONISMO DE TEMPO VIA SATÉLITE: GPS.....	50
18. SEGURANÇA DAS SLAN.....	50
18.1. ATAQUE.....	52
18.2. INVASÃO.....	52
18.3. ASSINATURA DIGITAL.....	53
19. ETAPAS DE APLICAÇÃO DO IEC 61850.....	54
20. IMPACTO COM SISTEMAS LEGADO.....	55
21. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
GLOSSÁRIO.....	59
BIBLIOGRAFIA.....	61

Introdução

A utilização de energia elétrica tem implicação direta na qualidade de vida de todos, sendo que a falta de energia, mesmo por pouco tempo, acarreta num verdadeiro caos para qualquer cidade, gerando também um enorme prejuízo financeiro para todos pela falta de serviços essenciais.

As subestações (SE) são locais de alta potência e importância dentro das complexas infraestruturas para gerar, transmitir e distribuir energia elétrica, denominada Sistema Elétrico de Potência (SEP), contendo equipamentos para transmissão, distribuição, proteção e controle de energia elétrica. Estas funcionam como ponto de controle e transferência em um Sistema Elétrico, direcionando e controlando o fluxo energético, transformando os níveis de tensão e funcionando como pontos de entrega para consumidores industriais [1].

Como são pontos de operação importantes do SEP, devem possuir ações e comandos coordenados a partir de programas, lógicas e filosofias de operação, em conformidade com informações coletadas a partir dos sistemas de medição e proteção, para isto, existem equipamentos de manobra, como disjuntores e chaves, medição, que são os transformadores de corrente (TC) e de potencial (TP), transmissão de dados e controle [2].

Muitos protocolos de comunicação foram desenvolvidos para serem utilizados em subestações. A maioria são protocolos proprietários desenvolvidos para utilizações específicas, outros são desenvolvidos utilizando um padrão ou normas internacionais, mas também ajustados à necessidade do fabricante, não atingindo todas as necessidades requeridas de um Sistema de Automação de Subestação (SAS), que são sistemas que devem oferecer meios para controle, operação e manutenção das SE's em tempo real.

Este trabalho traz alguns dos principais conceitos utilizados na padronização dos protocolos de comunicação do SAS que foram inseridos na série IEC 61850. A série de normas IEC 61850 é o resultado do trabalho dos grupos do Comitê Técnico do IEC (International Electrotechnical Commission) que estabeleceram o padrão internacional Redes de Comunicação e Sistemas de Subestações. Esta norma tem se destacado no Setor Elétrico, pois foi projetada sobre tecnologias de redes modernas e possibilita funcionalidades que não são disponíveis nos protocolos convencionais, tudo isto para possibilitar reduzir os custos para projetar, fabricar, instalar, comissionar, manter e operar os Sistemas de Potência. Ela é a única norma que cobre a comunicação nos três primeiros níveis do sistema de automação e proteção de uma subestação, nível de estação, nível de vão e nível de processo, e entre eles [3].

1 Justificativa

A introdução da série IEC 61850 ainda passa por um processo de estudos e experimentação, principalmente pelo fato de enfrentar vários paradigmas, por partes

dos profissionais do setor elétrico e também devido ao longo tempo do ciclo de vida das subestações, que impedem muitas vezes um avanço mais aprofundado nos resultados. Desta forma, todos os estudos e trabalhos são de fundamental importância para a capacitação de pessoal e a disseminação de conhecimentos, tratando de balizar este conhecimento e difundir os novos conceitos trazidos por este padrão, ressaltando-se também as dificuldades que são encontradas e como estas dificuldades são superadas.

Este trabalho tem o propósito de disseminar tendências do sistema elétrico, IEC 61850, assim com incentivar que mais projetos sejam analisados na perspectiva desta norma, mesmo sendo projeto-piloto ou definitivo que promovam a interoperabilidade dos sistemas de controle, automação e proteção, com simplificação da engenharia e economia de custos.

2 Objetivos

2.1. Objetivos Gerais

Apresentar um estudo sobre a série de normas IEC 61850 e seus fundamentos, focando principalmente na integração com os sistemas legados. Também demonstrar a arquitetura funcional, os principais fundamentos e potencialidades disponibilizadas por este padrão, tornando este mais uma ferramenta de apoio para futuros projetos.

2.2. Objetivos Específicos

- Conceituar e descrever aspectos, características e requisitos da série IEC 61850;
- Descrever os conceitos de comunicação e protocolos da série IEC 61850;
- Abordar os aspectos do barramento de processo e suas vantagens;
- Avaliar as restrições para implementar o IEC 61850;
- Mostrar como a IEC 61850 poderá resolver problemas de expansão e oferecer garantia de interoperabilidade e confiabilidade;
- Descrever as mensagens Sampled Value e Goose;

3 Estabelecimento da Norma IEC 61850

Desde que surgiram os sistemas tradicionais para automação de SE, chamado de Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA), baseados em

comunicação mestre-escravo, estes sempre tentaram suprir as necessidades básicas dentro das subestações, entretanto, esses sistemas possuem limitações e dificuldades quando a expansão e a interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes, além da necessidade da utilização quantidades enormes de cabos elétricos, relés auxiliares e de bloqueio e conversores, os quais sempre elevam os custos e a complexidade da instalação, mesmo assim com baixa confiabilidade do sistema [23]. Com a evolução tecnológica e a utilização de redes em SE, reconheceu-se a necessidade de uma padronização geral cobrindo sistemas de subestações e redes de comunicação, desta forma foram criados Grupos de Trabalhos (WG10, WG11 e WG12), conectados ao Comitê Técnico IEC (International Electrotechnical Commission) - TC57 [4], como resultado destes foram elaborados a série IEC 61850 – Redes de Comunicação e Sistemas em Subestações, tendo como base os conceitos e fundamentos do UCA (Utility Communication Architecture). IEC é uma organização mundial para padronização, compreendendo todas as comissões nacionais de Eletrotécnica (IEC Comitês Nacionais)[5]. O objeto do IEC é promover cooperação internacional em todas as questões em matéria de normalização nos campos elétricos e eletrônicos. Para esse fim e, além de outras atividades, IEC publica padrões internacionais, Especificações Técnicas, Relatórios Técnicos e Guias (doravante referida como "IEC Publicação (s)"). Sua preparação é confiada a comitês técnicos.

A série IEC 61850 não pretende resolver todos os problemas internos de uma subestação, mais criar uma padronização internacional, em que equipamentos de diferentes fabricantes possam ser interoperável, além de propor uma solução unificada para aplicações relacionadas as subestações, permitindo o uso e a troca irrestrita de dados a fim de que sejam realizadas suas funcionalidades dedicadas individuais, com um grau de confiabilidade adequado no suporte às funções específicas de automação, proteção e comunicação. Tornando-se assim uma nova proposta tecnológica que poderá revolucionar os Sistemas de Automação de Subestações [5], através do uso de redes LAN Ethernet, velozes e confiáveis. A norma permite uma integração global entre os diversos equipamentos digitais, possibilitando, nessa nova condição, o compartilhamento de informações e tornando mais simples a implantação de novas funções de automação. Os relés digitais, que eram determinado por uma função principal e que tinham poucas trocas de informações entre eles, evoluíram para os chamados Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IEDs - Intelligent Electronic Devices) que agora apresentam um caráter multifuncional relacionado não apenas com funções de proteção, podendo agora se comunicar entre si e compartilhar informações de monitoramento e controle, além de integrar estas funções distribuídas sobre uma rede local, portanto podemos considerar os IED's como objetos compostos, com perfis de dispositivos definidos em classes, e com sub-objetos internos para cada função de proteção e controle disponibilizada pelo dispositivo.

Não há mais necessidade de conversores para a comunicação entre IEDs de diferentes fabricantes, pois o protocolo de comunicação é o padrão Ethernet.

Essas e outras inúmeras vantagens são conseguidas com uma redução drástica de cabos, interfaces e equipamentos intermediários [18].

4 Definição Geral da IEC 61850

A série IEC 61850 consiste em 10 partes, conforme descreve a Tabela 1, cada uma tratando de um tópico específico e que permite uma abordagem praticamente completa no que se refere aos sistemas de automação de subestações. Todas as partes possuem aprovação na condição de padrão internacional e têm como premissa a interoperabilidade dos IED's de diferentes fabricantes dentro da subestação. Entendemos por interoperabilidade a habilidade de dois ou mais IED's de um mesmo fornecedor, ou de fornecedores diferentes, trocarem informações e utilizar estas informações para uma operação conjunta correta, porém a série IEC 61850 vai além de uma simples transferência de dados, pois o receptor não deve apenas entender a estruturas de dados (sintaxe), mas também o seu significado (semântica) com base nos atributos de dados recebidos na comunicação.

A série IEC 61850 compreende muito mais que um protocolo de comunicação, pois cobre não apenas a comunicação, mas também envolve uma série de dispositivos, filosofias, modelos e ferramentas de engenharia que a tornam uma especificação de uso global, abordando a automação como um conjunto de funções que possam interoperar de forma distribuída, onde as funções possam estar alocadas em diferentes dispositivos físicos, que podem estar geograficamente distribuídos e conectados em rede. Ao mesmo tempo, este padrão utiliza estes mesmos princípios para a integração, numa mesma rede de dispositivos, de funções de medições, controle e proteção, além dos dados de oscilografia e engenharia.

Parte	Descrição	Característica Principal	Data da Publicação
61850-1	Introdução e Visão Geral	Aspectos da Norma	2003
61850-2	Glossário	Informações e Detalhes	2002
61850-3	Requisitos Gerais	Condições Ambientais, Requisitos de Qualidade, Serviços Auxiliares.	2002
61850-4	Gerenciamento de Sistema e Projeto	Ferramentas de Engenharia, Documentação.	2002
61850-5	Requisitos de Comunicação e Modelos	Requisitos Básicos, Nó Lógico, PICOM.	2003
61850-6	Linguagem de Configuração SCL	Configuração	2004
61850-7-1	Princípios e Modelos	Estruturas Básicas de Comunicação	2004

61850-7-2	Serviços de Interface de Comunicação	Descrição do ACSI	2004
61850-7-3	Classes de Dados Comuns (CDC)	Definição das lógicas, classe e funções	2004
61850-7-4	Classes de Nós Lógicos	Definição das classes de nós e dados.	2004
61850-8	Mapeamento para MMS	Mapeamento de Serviços de Comunicação	2004
61850-9	Especificações de Comunicação	Mapeamento dos valores analógicos	2003
61850-10	Testes de Conformidade	Ensaio – Documentação	2005

Tabela 1 – Divisões da Série IEC 61850

Fonte: Adaptado do IEC 61850-1 (2003)

O objetivo da série IEC 61850 é permitir a integração e interoperabilidade das informações de campo utilizando padrões abertos e não proprietários, visando à redução dos custos de engenharia, projetos, comissionamento, monitoramento, diagnóstico e manutenção, mas ao mesmo tempo este padrão tem compromisso com as exigências de desempenho, suportando futuros desenvolvimentos. Diferentemente dos protocolos anteriores, o IEC 61850 é rico na semântica e padronização de modelo de dados. Adicionalmente aos tipos de dados básicos para pontos de dados comuns, os modelos de dados da série IEC 61850 são orientados por objeto e também definem como os dados são organizados em agrupamentos funcionais sob uma rigorosa padronização de nomenclatura. A série IEC 61850 vai bem além das funcionalidades básicas do SCADA e, também, fornece um padrão de comunicação que permite intertravamentos de alta velocidade incluindo sinais de disparo e transmissão de sinais digitais de TC e TP em redes Ethernet.

Para alcançar todos estes objetivos são definidos dois modelos: o Modelo de Dados e o Modelo de Comunicação. O Modelo de Dados, orientados a objetos, define as funções, os nós lógicos, classe de dados e atributos que modelam os serviços de uma subestação, sempre seguindo uma estrutura hierárquica, com os seguintes conceitos básicos:

- ✓ Dispositivo Físico (IED): equipamento com caráter multifuncional que permite execução das funções de controle, automação e proteção distribuídas em uma rede local de subestação (SLAN);
- ✓ Dispositivo Lógico: especifica um grupo de nós lógicos de mesma função. Por exemplo: controle, medição, etc.;
- ✓ Nó Lógico: todas as funções são decompostas em partes menores chamadas Nós Lógicos. Por exemplo: PDIF – proteção diferencial e XCBR – disjuntor;

- ✓ Dados: especificam os dados dos Nós Lógicos. Por exemplo: Pos – estado do disjuntor.

O Modelo de Comunicação é baseado no conceito abstrato, auxiliando na definição dos serviços disponibilizados pelos protocolos, são chamados de Modelo de Interface dos Serviços de Comunicação Abstratos (ACSI). Este tipo de definição permite mapear os objetos e serviços para outros protocolos que atendam os dados e serviços requeridos ao invés de determinar um protocolo específico a ser usado em cada camada [4].

A série IEC 61850 proporciona redução de custos de integração e de ciclo de vida permitindo, desta forma, que os usuários se concentrem em estruturas que suportem dispositivos e aplicações de última geração, o que antes não era possível com o uso de protocolos proprietários. Esta norma foi elaborada para uso interno às subestações, entretanto existem estudos para utilizar entre subestações e centros de controle, seu escopo de aplicabilidade inclui geração e troca de informações entre usinas e subestações [8]. Os usuários podem, inclusive, considerar a série IEC 61850 para aplicações em sistemas de geração distribuídas e hidroelétricas (ex. hidroelétricas, geração distribuída e energia eólica), uma vez que a norma foi recentemente estendida para cobrir tais sistemas. A série IEC 61850 está sendo mundialmente utilizado (China, Índia, Alemanha, etc.) devido a significativa redução de custos e benefícios que seu uso proporciona.

Devido à série IEC 61850 ser uma norma extensa, que abarca padrões, instalação e testes, este trabalho abordará somente algumas partes que julgamos serem as mais importantes para o primeiro contato e compreensão de um projeto de automação e proteção com uso de funções e lógicas.

5 Dispositivo Eletrônico Inteligente IED

Os IED's são resultado dos avanços tecnológicos, atualmente estes permitem que os dados sejam adquiridos, tratados digitalmente e enviados para diferentes equipamentos da rede. Estes equipamentos além de possuírem diversas funções de proteções, essenciais para o correto funcionamento de uma subestação garantindo as condições de eficiência (velocidade, seletividade e segurança), possuem funções de automação, controle, comunicação e oscilografia, não podendo abrir mão dos seguintes requisitos:

- Elevada velocidade de comunicação;
- Protocolo definido;
- Suporte para transferência de arquivos;
- Segurança;

- Auto configuração.

Desta forma os IED's tornaram-se unidades multifuncionais para a proteção, controle, automação, medição, oscilografia, monitoramento e comunicação dos sistemas elétricos, permitindo também a concepção de lógicas de intertravamento e bloqueio, ou seja, funcionalidades em uma única caixa ou funcionalidades em dispositivos diferentes, identificamos algumas destas funções na Figura 01. Porém a série IEC 61850 vai além do uso multifuncional do IED, pois utiliza o conceito funcional para modelar o sistema e sua comunicação, sendo que agora cada IED traz a possibilidade de expansão do sistema de proteção.

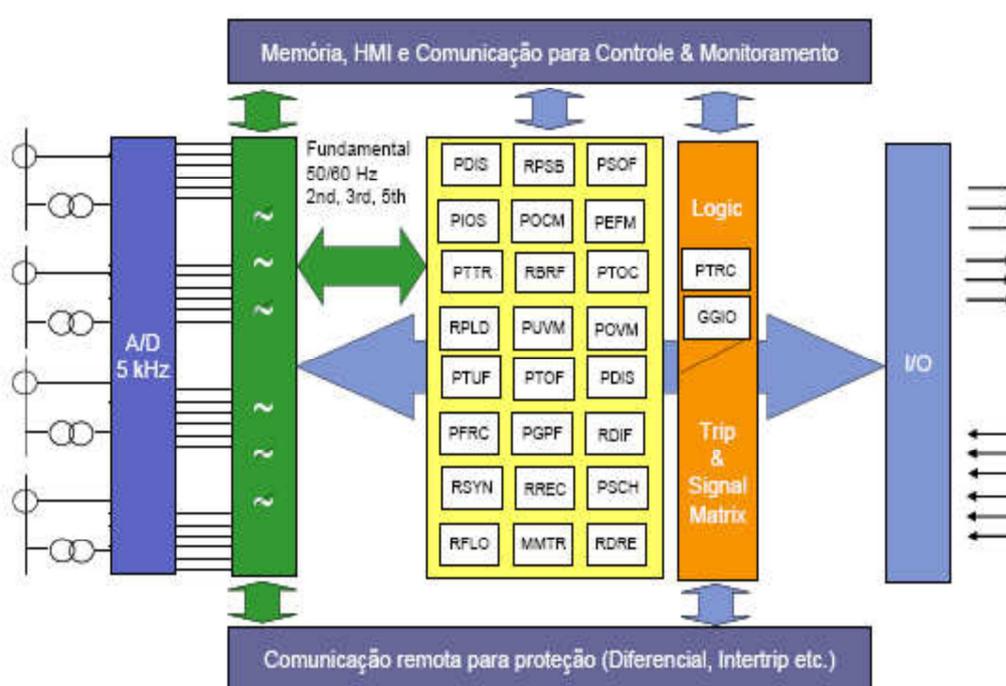


Figura 1- Dispositivo Eletrônico Inteligente – IED
Fonte: Figura 3 da Ref. [8]

6 Estrutura da Rede

O Sistema de Automação de Subestação (SAS) têm como objetivo oferecer meios para operação, controle e manutenção das subestações. O SAS, com as características da série IEC 61850, permite que o sistema seja considerado uma plataforma aberta de proteção e automação de subestações, independentemente dos fornecedores, com três níveis hierárquicos: nível de estação, nível de vão e nível de processo. A Figura 2 mostra a separação destes níveis e os barramentos dentro da subestação.

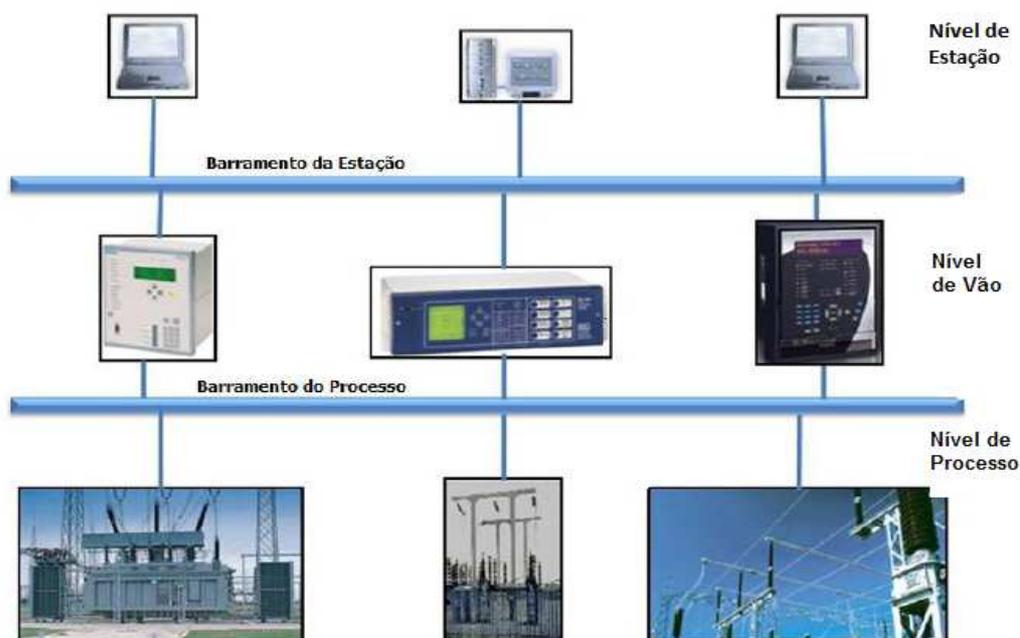


Figura 2 – Níveis de Comunicação e Barramento do IEC 61850

Fonte: http://www.selinc.com.br/art_tecnicos

6.1. Tipos de Níveis

Nível de Estação, definido pela parte 8 da série IEC 61850, traz o mapeamento das camadas de comunicação (TCP-IP), GSSE e sincronização de tempo. Este é o nível superior dentro da subestação no qual se situam as interfaces locais (IHM) e as unidades centrais de subestação (UCS/Gateway) que se conectam com os centros de controle.

Nível de Vão, IEC 61850/7, define o modelo de dados e aplicação das funções do sistema. Este é o nível intermediário no qual se situam os equipamentos de proteção, automação e controle. Estes equipamentos protegem e controlam a posição na qual estão colocados, e podem também incluir funcionalidades relacionadas com a operação de outras posições, por exemplo, intertravamentos e controle de lógicas. Deve possuir troca de informações entre os IED's, desta forma reduzindo as entradas e saídas (I/O) físicas e cabos, além disto, poderá dispor de enlaces de comunicação serial com os equipamentos do nível de estação.

Nível de Processo, IEC 61850/9, define as transmissões dos valores analógicos de tensão e corrente adquiridos nos equipamentos primários que trafegam pela rede e das mensagens Goose. Este é o nível mais baixo no qual se situam os sensores, transformadores de corrente e de potencial, e principalmente os

dispositivos de atuação (disjuntores e seccionadoras) necessários para o monitoramento e operação da subestação.

As comunicações podem ser verticais, realizadas entre estes níveis hierárquicos, ou horizontais, que ocorrem dentro do mesmo nível. A comunicação entre o nível de vão e o nível de estação, denominada comunicação vertical, como por exemplo, as informações de configuração e operacionais (SCADA), são transferidas no modo cliente-servidor, diferentemente do modo mestre-escravo utilizado nos protocolos anteriores, como exemplo podemos citar DNP e MODBUS. Este modo de transmissão utiliza todas as camadas do modelo OSI e tem a vantagem de ter desempenho determinístico, com tempos de resposta da ordem de 100 a 200 ms. O servidor corresponde ao nível de vão fornece dados aos clientes no nível de estação ou em qualquer nível remoto. Os dados são fornecidos pelo IED servidor, por solicitação do cliente ou automaticamente, a partir de eventos predefinidos. O cliente é, em geral, o computador da estação ou um Gateway (conversor de protocolo). Pode ser também uma estação de engenharia, um concentrador de oscilografia ou um centro de controle remoto. É possível, portanto, haver múltiplos clientes. Neste tipo de comunicação, o cliente é quem controla a troca de dados.

Também encontramos mais dois tipos de comunicações, Goose e SV, porém estas transmissões possuem tempo crítico. Estas mensagens permitem, entre outras coisas, o desenvolvimento de aplicações distribuídas, pois foram desenvolvidos os modelos e serviços para comunicações ponto-a-ponto conhecidos como Goose e transmissões dos SV para transportar valores de medidas dos equipamentos primários.

6.2. Tipos de Barramentos

A norma também divide a rede da subestação (SLAN) em barramentos, esta separação está entre os tipos de equipamentos dentro da subestação, conforme mostra a Figura 2. Entretanto, vale ressaltar que esta separação ocorre somente para os níveis hierárquicos e que na instalação tem-se apenas um link físico onde trafegam as informações dos níveis de estação, vão e processo para uma implementação completa da IEC 61850.

O barramento da estação, contemplado na IEC 61850/8-1, é o caminho onde é estabelecida a comunicação horizontal entre os IED's do nível de vão. A norma ainda determina que uma interrupção de comunicação neste nível não poderá provocar perda de capacidade de controle, por exemplo, na determinação do estado de uma chave ou o envio de comandos, disto surge a necessidade de equipamentos redundantes de rede. Neste barramento, em algumas aplicações, também é utilizado para executar bloqueios, lógicas ou transferências de comandos.

O barramento do processo (IEC 61850-9-2) está diretamente ligado aos equipamentos primários e de manobra que fazem parte da subestação. Este barramento permite a substituição da fiação e cabos elétricos de cobre de comando e medição por uma instalação de comunicação digital, com troca de mensagens, podendo agora disseminar estes sinais para qualquer outro equipamento sem aumento de equipamentos e investimentos. O barramento de processo trabalha somente com a informação na forma digital, esta informação já é tratado no equipamento, o que dispensa o uso de cabos elétricos, sendo distribuídas por switch aos IED's, além disso, o uso de VLAN (Virtual LAN) evita o carregamento da rede. As taxas de amostragem convencionadas atualmente são 80 amostras por ciclos para monitoramento e proteção e 256 amostras para qualidade de energia e oscilografia [14].

6.3. Rede Local da Subestação

A SLAN, rede local da subestação, geralmente é uma rede do tipo Fast Ethernet de 100 Mb/s ou 1 Gb/s que tem seus dispositivos instalados em uma área restrita, como a sala ou um pátio de uma subestação, permitindo compartilhamento de recursos e a troca de informações. Esta rede deve suportar comunicação com múltiplos nós da rede. Cada nó é autônomo e tem capacidade para interrogar ou responder a interações. Esta capacidade de comunicação ponto-a-ponto é requisito indispensável para realizar funções de proteção de alta velocidade. A SLAN também deve suportar transferência de arquivos para efetuar configuração de IED's e programas de CLP's. Um dos objetivos da norma IEC-61850 é a diminuição ou quase eliminação dos cabos de controle que conduzem os sinais de estados, alarmes e comandos, transferindo esta função e responsabilidade para a rede de comunicação e para os próprios IED's.

Com isso, os IED's de proteção, que operavam independentemente um do outro, passam a atuar de forma integrada, tendo como vantagem que, para certas funcionalidades, como por exemplo, os intertravamentos ou a proteção de falha de disjuntor, poderão compartilhar informações coletadas por outros IEDs. Com isso, as redes de comunicação passam a ter um papel de muito maior importância dentro do sistema de proteção e automação. Conseqüentemente, a escolha dos componentes da rede (switches, roteadores, cabos de comunicação etc.) e a sua topologia deve ser cuidadosa, devendo ser selecionados equipamentos com baixíssimo MTBF (tempo médio entre falha), adequados a ambientes com grande interferência eletromagnética e aptos a trabalhar com os sinais de alta velocidade (GOOSE, GSSE) previstos na série IEC 61850. Outras características desejáveis para os componentes da rede, em especial as switches, é sua flexibilidade para a formação de redes virtuais (VLANs) e a possibilidade de trabalhar com topologia em anel, com tempo reduzido para recomposição do anel no caso de falha de uma das rotas.

7 Tipos de Sistema da IEC 61850

Dois tipos típicos de sistemas de automação de subestação da série IEC 61850 podem ser definidos baseados na interface com os equipamentos primários de subestação [3]:

7.1. Sistemas com Implementação Parcial da IEC 61850

Nestas instalações somente existe as interações cliente-servidor entre aplicações no nível de estação e os IEDs. Isto requer somente a implantação do Barramento da Estação (IEC 61850/8-1), sendo que a interface com o processo é idêntica às subestações convencionais, isto é, utilizando conexões com cabeamento rígido entre [31]:

- lado secundário de transformadores de instrumentos de corrente e tensão e entradas analógicas de IEDs.
- contatos auxiliares dos disjuntores e das entradas dos IED.
- saídas binárias do IED e controle de processo (por exemplo, bobina de trip de disjuntores ou comutador de tap de transformadores).

A interface entre os equipamentos da subestação é baseada na troca de mensagens de comunicação sobre a rede local da subestação. Como não existe grandes alterações na subestação, este tipo de implementação é mais utilizadas nas subestações já construídas, onde a utilização da IEC 61850 serve com revitalização da subestação com custos reduzidos.

7.2. Sistemas com Implementação Total da IEC 61850

A implementação completa da IEC 61850 em um sistema de proteção, controle e automação de subestação faz uso do Barramento de Estação (IEC 61850/8-1) e do Barramento de Processo (IEC 61850/9-2).

A interface entre todos dispositivos de sistema neste caso é baseado na comunicação, com o uso de cabos de cobre sendo limitados para:

- alimentação DC dos IED;
- transformadores de instrumentos secundários e unidades de medida;
- contatos auxiliares de disjuntores, bobinas de trip e equipamentos secundários na subestação.

Nesta tipo de implementação a norma IEC 61850 utiliza todos os equipamentos primário compatíveis na IEC 61850, onde a comunicação entre estes equipamentos e os IED somente se dá por protocolo, e não mais por cabos elétricos [31].

8 Requisitos Gerais

A série IEC 61850 parte 3 define os requisitos gerais de comunicação em rede, backups, segurança e condições de operação, sendo recomendada até, para subestações importantes, redundância nos possíveis pontos de falha com diferentes fontes de energia, descrevendo recomendações sobre especificações e normas que os projetistas devem sempre observar [6]. A seguir são descritas alguns deles, tais como:

- os dados transmitidos devem ter sua integridade garantida, isto é, o sistema deve prover a detecção de erros na transmissão e a recuperação frente ao congestionamento.
- a falha de um componente não deve afetar a atuação de funções críticas no sistema, ou seja, as funções de proteção devem trabalhar de forma autônoma;
- a norma exige que a falha de um componente da comunicação não deve afetar a capacidade de operação do sistema. Redundância de diferentes níveis pode ser aplicada dependendo dos requisitos de confiabilidade e da filosofia de operação;
- a norma propõe que os dispositivos de comunicação devem suportar os níveis presentes de interferência eletromagnética (EMI) presentes na subestação, além de estabelecer que se devam observar as influências mecânicas, climáticas e elétricas incidentes nas interfaces de comunicação usadas para monitoramento e controle na subestação;
- a interface homem máquina (IHM) local deve operar independente da sala de controle central;
- utilizar ferramentas e mecanismos que visem garantir a continuidade, alta performance e segurança das comunicações;
- dimensionar para que sobrecarga causada por novos IED's não afetem a rede;
- devem-se observar as influências climáticas, mecânicas e elétricas que são aplicadas as mídias e interfaces de comunicação;

- a rede de comunicação interna (SLAN) deve ser capaz de cobrir distancias com até 2km;
- deve suportar comunicação simultânea com múltiplos nós da rede.

Todos os requisitos da comunicação podem ser encontrados na IEC 61850 parte 3, entretanto é importante que os projetistas não apenas especifiquem sua intenção de usar IEC 61850 para os fabricantes, mas indiquem quais partes desejam usar e como esperam o desempenho do sistema, abordando especificamente os pontos em que a norma é bastante vaga.

9 Características Técnicas

Para conseguir alcançar os objetivo e requisitos citados, todas as funções conhecidas de um SAS foram identificadas e separadas em subfunções. Esta decomposição das funções, criando uma estrutura hierárquica, facilita compreender e a projetar a relação lógica entre os componentes do sistema, permitindo uma livre alocação das funções e a inter-relação entre as funções de IED's de diferentes fabricantes.

A Figura 3 mostra o conjunto de Nós Lógicos ou LN, do inglês Logical Node, que formam um dispositivo lógico (DL), estes residem no dispositivo físico (IED). As funções de uma subestação podem ser implementadas nos IED's, podendo agora também ser implementadas em mais de um IED. Para isso, todas as funções na subestação foram divididas nesses objetos, conforme já mencionado, sendo parte de um dispositivo físico (IED).

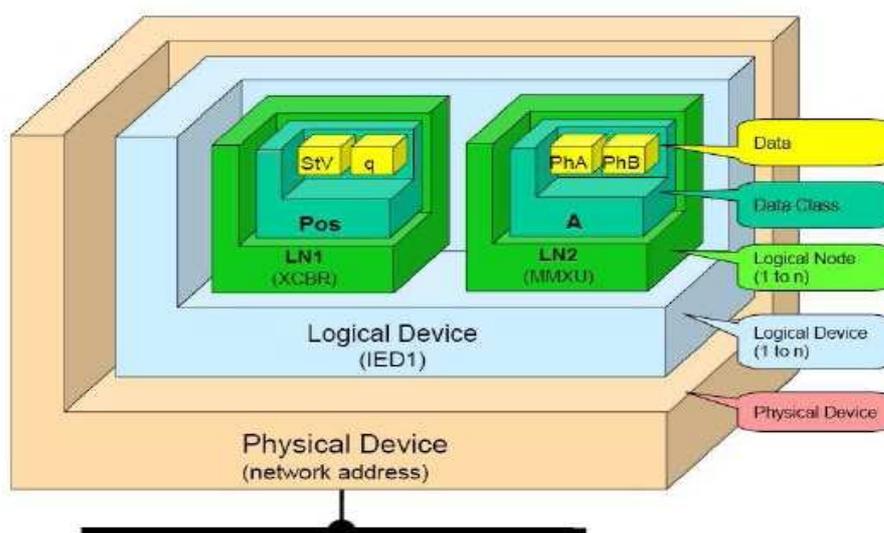


Figura 3 – Decomposição do IED

Fonte: Figura 6 da Ref [33].

9.1. Nós Lógicos

Na IEC 61850 as funções de controle, supervisão e proteção não estão centralizadas em Unidades de Controle ou relés de proteção que para executarem uma lógica necessitavam auxílio de relés auxiliares ou fiação, mas separadas em subfunções e são descritas com um grupo de dados e serviços associados em classes, formando um Nó Lógico, isto também foi necessário para atender os novos conceitos de engenharia. Os Nós Lógicos podem trocar informações necessárias, utilizando os barramentos e a rede para implementar as funções, entre os dispositivos que compõe o sistema através das conexões lógicas, estas são parte de uma conexão física.

Nós Lógicos comunicam entre si, através de conexões lógicas, e possuem todas as informações a serem transmitidas e podem estar alocados em múltiplos dispositivos e níveis de controle, permitindo por parte do usuário a utilização de qualquer filosofia de sistema. Isto garante a livre alocação de funções, desta forma a norma suporta diferentes filosofias e permiti trabalhar igualmente com o conceito centralizado ou descentralizado, com isto fica fácil toda e qualquer alteração, além de permitir a comunicação entre IEDs de diferentes fabricantes e otimizando a reutilização, cópia e consistência dos softwares aplicativos, da base de dados e das ferramentas de engenharia.

O LN pode ter vários atributos que são definidos com classes de dados. A IEC 61850/5 define um total de 92 Nós Lógicos, que são padronizados e identificados por um acrônimo de quatro letras, e são agrupados por categoria, a Tabela 2 mostra alguns dos grupos destas classes.

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
---	-------------------------

Tabela 2 – Lista dos Grupos de Nós Lógicos.

Fonte: Adaptado IEC 61850/7-4. Tabela 1

Todo LN possui sua identificação de quatro letras, sempre começando com a letra do grupo ao qual pertence, como exemplo:

- XCBR: nó lógico que pertence a Equipamentos de Manobra (X), do tipo disjuntor.
- PDIF: nó lógico que pertence a Função de Proteção (P), do tipo proteção diferencial.

O Grupo L (Funções do Sistema), possui as informações específicas do comportamento do sistema, isto inclui a lógica comum, informações sobre o nó, por exemplo o comportamento nó lógico e a informação da placa de identificação, bem como informações relacionadas com o dispositivo físico.

Para obter os requisitos de comunicação em uma subestação, uma identificação de todas as funções é necessária. A descrição da função considera a abordagem LN e PICOM (Piece of Information for COMMunication) e consiste em três etapas:

- a) descrição da função, incluindo a decomposição em LN.
- b) descrição do nó lógico incluindo o PICOMs trocados.
- c) descrição PICOM incluindo os atributos.

Cada LN receptor deve ter a capacidade de saber quais dados são necessários para a realização de sua tarefa, ou seja, deve ser capaz de verificar se os dados fornecidos são completos e válidos e de qualidade adequada. Em sistemas de tempo real, tais como automação de subestações, o critério de validade mais importante é a idade do dado. No caso de dados corrompidos ou perdidos, o LN que receber não pode operar de forma normal, mas pode ser degradado. Portanto, o comportamento da LN tanto no modo normal e degradado tem que ser bem definido, mas o comportamento da degradação da função tem de ser concebido individualmente de acordo com a função e está além do escopo desta parte da IEC 61850. Além destas definições, projetistas podem listar quaisquer dos nós lógicos declarados na norma, como também poderá criar novos dados e atributos a serem utilizados em diferentes funções do SAS, o importante salientar que toda alteração deve seguir os padrões para ser possível implementar em IED de diferentes fabricantes.

A lista completa dos LN e sua descrição detalhada poderão ser encontradas na IEC 61850/7-4. A PICOM não representa uma estrutura real e o formato e dados que são trocados através da rede de comunicação, mas descreve uma informação transferida em uma determinada conexão lógica com atributos de comunicação entre dois nós lógicos[2].

9.2. Dispositivos Lógicos

Os dispositivos lógicos ou LD, do inglês Logical Device, são agrupamentos de representações das funções que operam em aplicações de: proteção, controle e aquisição de dados. Em resumo, conjuntos de LN's formam dispositivos lógicos que reside no dispositivo físicos (IED).

9.3. Classe de Dados

Todos os elementos de um Nó Lógico, denominados dados, seguem um modelo e são definidos de acordo com a especificação da Classe Comum de Dados (Common Data Class, CDC), descrita na IEC 61850/7-3, mas também a norma prevê a criação de novos dados seguindo os padrões estabelecidos. O conceito de CDC foi desenvolvido utilizando blocos comuns para compor objeto de dados maiores, desta forma permite mapear objetos e serviços para outros protocolos que fornece os dados e serviços requeridos.

10 Serviços de Comunicação

Os principais serviços de comunicação definidos pela série IEC 61850 são:

- a) comunicação cliente-servidor para visualização e comando (Serviços MMS);
- b) comunicação de alta velocidade em tempo real (GOOSE e Sampled Value);
- c) outros serviços (Sincronismo de tempo, Transferência de arquivos).

Os serviços mais relevantes para a integração dos IED nos sistemas de controle de processo via IEC 61850 podem ser destacados na Figura 4. Podemos observar que as mensagens SV e Goose são mapeados diretamente para a camada Ethernet, desta forma elimina-se as restrições de tempo que poderiam ter ao passar por outras camada intermediárias, com acréscimo dos tempo de processamento. As mensagens que utilizam o protocolo MMS podem operar sobre o TCP/ IP,

fornecendo um conjunto de serviços para leitura, escrita, definição e criação de objetos de dados, desta forma disponibiliza a manipulação dos objetos.

O protocolo MMS (Manufacturing Message Specification) é um protocolo da camada de aplicação, específico para mensagens do tipo cliente-servidor que utiliza tanto o protocolo TCP/IP como o ISO CO, ou seja, ambos de característica orientada a conexão [20].

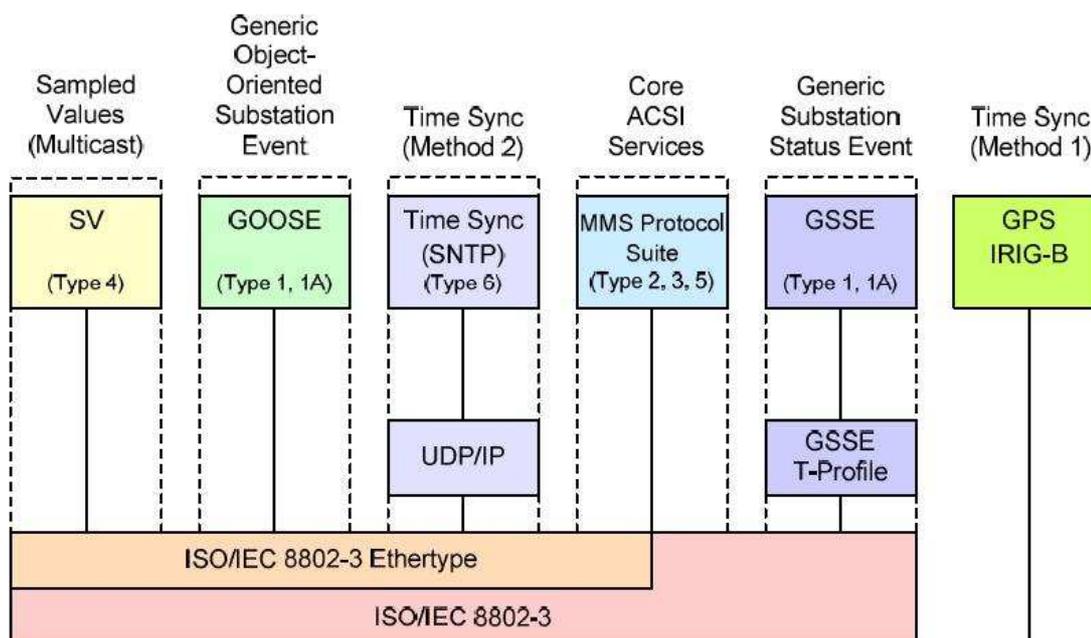


Figura 4. Representação simplificada dos protocolos IEC 61850

Fonte : Adaptado Figura 4 da Ref.[17].

10.1. Comunicação Cliente-Servidor

Comunicação cliente-servidor, serviços MMS (Manufacturing Message Specification), utiliza todas as camadas do protocolo de comunicação, desta forma torna-se uma informação muito confiável, mas consome um tempo de comunicação razoável. Portanto, a comunicação cliente-servidor não é adequada para transmissão de dados com criticidade temporal inferiores a 20 ms (necessárias para a implementação em tempo real de proteção e atuações do sistema elétrico), porém é extremamente adequada para comunicações com o operador que possuam um tempo de resposta da ordem de 1s, o que é o caso típico dos sistemas supervisórios [34]. Outra funcionalidade importante dos serviços MMS para conectividade com sistemas de controle de processo são os serviços de relatórios e oscilografias.

10.2. Mensagens Sampled Value

A IEC 61850 parte 9 detalha o funcionamento do Barramento de Processo (Sampled Value), que vem para substituir os tradicionais cabos elétricos do secundário dos equipamentos de transformação dos equipamentos por uma distribuição da informação digital no formato Sampled Value. As mensagens Sampled Value (SV) originam-se em TP's ou TC's eletrônicos ou em Merging Units, desta forma o sinal é enviado a rede Ethernet e distribuído aos IED's espalhados na SE.

O frame SV é transmitido sobre a camada de enlace do Modelo OSI, desta forma consegue os requisitos necessários de tempo, pois não existe o processamento das camadas superior para a entrega dos dados. A mensagem SV é multicast e trabalha com Priority Tag e V-LAN, (ver item 12 *Aspectos Relevantes da Norma*), diferente das mensagens Goose, pois nas mensagens SV não existe repetição de envio [13].

Mensagens SV, são, portanto, "streams" contínuas de dados sincronizados, sendo tais dados oriundos da saída de transdutores digitalizados e transformadores de instrumento (óticos) que utilizam o código Ethertype 88BA e faixa de endereço recomendado de multicast de 01-0C-CD-04-00-00 até 01-0C-CD-04-01-FF .

Assim o sinal analógico é convertido em digital e encapsulado de acordo com a estrutura do pacote SV. Após esta etapa é enviado pela rede Ethernet. Ao chegar ao destinatário o frame é desencapsulado e seu valor interpretado. Após esta interpretação o dado é passado a um conversor D/A que novamente gera o sinal analógico, reconstruindo-o[13].

A implementação das mensagens SV pode ser realizada de duas formas: a primeira seria com a adoção de TCs e TP's óticos que já possuem uma saída digitalizada, enviando a mensagem SV, e a outra forma seria pela implantação de conversores A/D na saída de cada TC e TP convencionais, digitalizando e enviando o sinal em Merging Units. Sendo assim, com esta segunda maneira não seria necessária a troca dos TC's e TP's já instalados, mas somente adaptações para o novo padrão.

A comunicação entre os equipamentos primários do nível de processos e os IED's pode ser mantida, criando, assim, uma grande facilidade e economia, visto que existem altos custos somando o projeto, material e mão de obra, e que agora um único cabo, preferencialmente de fibra óptica, transporta todas as informações do sistema trifásico.

Existe dois diferentes modos de implementação do SV. Uma é chamada 9-2LE (Light Edition), tratada pelo documento da UCA International Users Group: "Implementation Guideline for digital interface to instrument transformers using IEC 61850-9-2" escrito no ano de 2004. E outra é a metodologia do Process Bus HardFiber, que foi lançada em 2009 e já se encontra em produção. O modelo HardFiber da GE é usado nos Estados Unidos, Nova Zelândia, Canadá, México e na Espanha (Iberdrola 132 KV) que já possui subestações em testes com o barramento de processos [13]. As duas formas de implementação do Sampled Value possuem várias diferenças, tais como dataset, sincronismo, taxas de amostragem, quality bits, entre outros, podendo ser encontrado maiores detalhes em IEC 61850/ 9.

A falta de padronização no modo de implementação do barramento de processo e das mensagens SV poderá prejudicar a implementação da série IEC 61850, pois equipamentos primários e Merging Unit de um determinado fabricante poderá não ser compatível com o IED de outros, criando assim, uma condição prejudicial para a usuário, que deverá estar atento a estas condições no momento de elaboração do projeto.

Neste caso, se o consumidor fizer uma análise, certamente poderá adiará seus investimentos, visto que não há um consenso quanto ao formato e metodologia de implementação.

10.3. Mensagens GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event)

A mensagem Goose foi originalmente criada no protocolo UCA é utiliza o frame Ethernet do tipo OSI, porém este não fornecia prioridade adequada para os sistemas do tipo Ethernet necessários para proteção dos sistemas.

O Goose utiliza um mecanismo de comunicação conhecido por "publisher-subscriber", onde o IED emissor (editor) insere (publica) mensagens na rede (em "multicast") e os IED receptores (assinantes ou subscritores) recebem apenas aquelas mensagens de seus interesses, este esquema de interação elimina o tráfego de informação de "setup" ou negociação, acelerando o processo de comunicação. O desacoplamento entre editores e assinantes proporciona um sistema mais expansível, assim como maior dinamicidade de topologia de rede.

Os recentes esforços de normalização da IEC, contidos na Norma IEC 61850/7-2 resultaram em um grande número de melhorias sobre a especificação Goose origina da UCA. Os detalhes destas melhorias podem ser resumidos conforme a seguir:

- Um único tipo de frame Ethernet foi reservado com o IEEE;
- O tag do nível de prioridade foi adicionado à especificação desta função, tornando-o possível de isolar o tráfego de mensagens de proteções críticas no

tempo, de mensagens não críticas, provenientes de IHM, SCADA e outros tráfegos de rede de prioridade mais baixa.

- A mensagem Goose da IEC suporta Virtual LANs. Uma VLAN é um grupo de dispositivos que residem em um mesmo domínio de broadcast, isto é, se uma mensagem Ethernet de broadcast é enviada sobre uma particular VLAN, somente dispositivos configurados sobre aquela particular VLAN, que podem ter dispositivos pertencentes a uma ou mais LANs físicas, receberam esta mensagem de broadcast [28].

- Mensagem foi dividida em dois subtipos, o GSSE (Generic Substation Status Event) que é um novo nome para o formato deste tipo de mensagem, compatível com a mensagem Goose protocolo UCA 2.0, e a Goose (Generic Object Oriented Substation Event) que é o nome dado para o novo frame de dados melhorado da IEC.

- A nova função GSSE da IEC foi tornada mais simples, pela eliminação de algumas das informações de cabeçalho associadas com a especificação original da GOOSE da UCA.

- A nova função GSSE da IEC removeu a especificação e o bit de paridade, convertendo o carregamento de dados total do usuário em um pool de dados que pode ser livremente configurado para transferir qualquer tipo de informação (bits lógicos, caracteres, bytes, números inteiros, números com ponto flutuante, etc.);

- Função GSSE agora suporta serviços adicionais para a interrogação de dados de nomes de elementos individuais (auto descrição);

- A função Goose permite que o comprimento da mensagem seja configurável, desta forma estendendo o comprimento da função GSSE IEC do tamanho original de 259 bytes até o máximo permitido pelo tamanho de frame da Ethernet (1518 bytes). A limitação original de que toda a informação necessita estar contida dentro de uma única mensagem Goose foi mantida.

As mensagens Goose são definidas no IEC 61850 para a comunicação entre equipamentos. Para uma maior confiabilidade as mensagens são repetidas até um tempo limite, estas repetições das mensagens Goose aumentam o nível de confiabilidade, entretanto as tomadas de decisão dependem de uma inteligência local nos equipamentos (IED) que receberam essas mensagens. A utilização de mensagens Goose provê mecanismos de comunicação de alta velocidade entre equipamentos permitindo a implementação de sistemas de proteção. A performance do Goose depende de algumas variáveis como quantidade de equipamentos, velocidade da rede e número de mensagens transmitidas, que devem ser avaliadas e testadas quando da implementação do sistema de automação [14].

Devido a isto, vários testes devem ser executados para avaliar a rede em diversas condições, é recomendável a utilização de software de carregamento e análise de redes. Sempre verificar os tempos de atuação do esquema falha de disjuntores, retaguardas e proteções com tempo críticos, somente após estas avaliações poderão ser implantada as proteções.

11 Linguagem de Configuração de Subestações – SCL

A IEC-61850-6 especifica uma linguagem de descrição para configuração de Intelligent Electronic Devices (IEDs), denominada Substation Configuration description Language ou simplesmente SCL. Um dos principais objetivos do formato da SCL é a padronização da nomenclatura utilizada através de um modelo único de descrição de dados, criando um vocabulário comum. Essa linguagem detalha como o modelo de objetos citado deve ser representado em arquivos garantindo a interoperabilidade entre IED's, a padronização e reuso dos objetos e atributos. Um arquivo SCL é a descrição formal das relações entre o SAS e a subestação em uma instância de um modelo de objetos, de forma serial e com sintaxe padronizada, utilizando-se modelagem através de UML (Unified Modeling Language) e Linguagem XML (eXtensible Markup Language), em resumo permite a relação entre o sistema de automação e os equipamentos primários utilizando arquivos XML . Desta forma, em um arquivo SCL encontram-se descritos os IEDs, suas conexões de comunicação e sua alocação na subestação. Do ponto de vista da aplicação, a topologia da subestação em si e a relação da estrutura da subestação para os LNs do SAS configuradas nos IEDs se encontram descritas no arquivo SCL. Para permitir que os diversos níveis do sistema sejam descritos de forma inequívoca, a SCL especifica uma hierarquia entre os arquivos de configuração através da definição de quatro grupos:

1. Arquivo de descrição da especificação do sistema (*System Specification Description - SSD*), este arquivo descreve por completo a configuração da subestação com todos os equipamentos primários.

2. Arquivo de descrição de capacidades do IED (*IED Capability Description – ICD*), este arquivo descreve as características de um IED, desta forma permite a troca de informações com as ferramentas de configuração;

3. Arquivo de descrição da configuração da subestação (*Substation Configuration Description - SCD*), este tipo de arquivo descreve as características primárias da subestação e todas as configurações dos IED's.

4. Arquivo de descrição da configuração do IED (*Configured IED Description – CID*), este é arquivo.SCD na forma reduzida, contendo somente as informações necessárias ao IED.

A ferramenta de especificação do sistema é um software capaz de criar o arquivo que contenha todos os dados de especificação do sistema da subestação (SSD) a partir das informações dos diagramas unifilares e Nós Lógicos.

A ferramenta de configuração do sistema deve ser uma ferramenta independente dos IED's capaz de importar arquivos ICD's de diversos IED's e arquivos SSD de especificação do sistema. Esta ferramenta gera um arquivo SCD do sistema que será utilizado pela ferramenta de configuração do IED.

Vale ressaltar que a troca de informações, numa forma compatível, entre ferramentas de diferentes fabricantes é possível devido a elaboração de arquivos comuns a todos esses fabricantes. Assim, o processo de especificação oferece um enorme potencial para racionalização das diferentes práticas existentes na implementação dos projetos utilizando estes arquivos. Todos os arquivos são formatados em XML – Extensible Markup Language, definidos pela IEC61850-6 [6]. Isto permite que a descrição da configuração de um IED seja passada a uma ferramenta de engenharia de aplicação e comunicação, no nível de sistema, e retorna com a descrição da configuração do sistema completo para a ferramenta de configuração do IED. A definição da linguagem SCL pode ser vista como mais uma das grandes vantagens da série de Norma IEC61850, pois permite a concepção de ferramentas de geração automática de bases de dados em todos os níveis de trabalho. Todos esses arquivos são construídos da mesma forma e apresentam o mesmo formato, mas possuem diferentes escopos, de acordo com as necessidades apresentadas.

Devido a essa hierarquização dos arquivos SCL, a engenharia do sistema de automação de uma subestação pode começar com a alocação de dispositivos com funcionalidades pré-configuradas para partes da subestação, produtos ou funções, ou com o design da funcionalidade pretendida, onde as funções são alocadas aos dispositivos posteriormente, conforme as capacidades funcionais e de configuração dos mesmos. Isso significa, entre outros, que a engenharia do sistema pode descrever a especificação do SAS em termos de um único diagrama unifilar, com a alocação de LNs para partes e equipamentos deste unifilar para indicar a funcionalidade necessária, bem como a associação de IEDs aos LNs definidos. Esse processo se dá através do configurador de sistema, que é uma ferramenta de engenharia independente dos IEDs. Considerando-se as suas características e conteúdo, os arquivos SCL podem ser utilizados para intercâmbio de dados entre dispositivos, entre ferramentas de engenharia e entre dispositivos e ferramentas de engenharia [22]. Todo dispositivo e toda ferramenta de engenharia associada ao processo de configuração de uma subestação que seja IEC 61850, compatível deve obrigatoriamente trabalhar de acordo com o padrão estabelecido pela norma. Esse fato elimina muito do esforço de configuração que não seja relacionado ao sistema de potência. Os dispositivos utilizam o arquivo SCL para configurar seus objetos e o engenheiro de projeto precisa apenas importar esse arquivo para configurar o

dispositivo. Uma ferramenta de engenharia IEC 61850 pode extrair as definições de objeto do dispositivo através da rede, bastando para tanto recuperar o arquivo SCL do mesmo. O resultado é uma grande economia no custo e no esforço de configuração dos dispositivos IEC-61850 e demais aplicações associadas.

Com o uso destas ferramentas de engenharia deverá haver uma mudança em todo processo de elaboração do projeto de uma subestação, conforme os procedimentos seguintes:

1. Com os estudos de carga e demanda da região serão determinados a configuração da SE, quantidade e potência dos transformadores, linhas e alimentadores necessários, como também toda as especificações dos equipamentos primários;

2. O próximo passo é utilizar uma ferramenta de especificação do sistema normalizada pela IEC 61850, onde todos os equipamentos são representados no arquivo .SSD. Após esta fase, será executado a definição dos IED's contemplando todas as características e funções necessárias.

3. Utilizando uma ferramenta de configuração será feita a implementação das funções de cada IED. Nesta fase é determinante para alcançar a interoperabilidade, sendo para isto necessário uma ferramenta de configuração capaz de fornecer um arquivo ICD. Assim, recebendo os arquivos.ICD de todos os IED's e o arquivos .SSD, a ferramenta de configuração do sistema possui todas as informações para programar as funções desejadas. Finalmente será criado um arquivo .SCD que contém as novas configurações dos IED's.

4. Ainda utilizando a ferramenta de configuração será criado o arquivo .CID, este somente contém as informações necessárias para configurar os IED's, este arquivo será transferido para seu respectivo IED, desta forma estará pronto para executar os testes e posteriormente sua entrada em operação.

Esta é uma nova forma de trabalhar, alterando substancialmente a maneira convencional de todo esse processo, criando uma padronização de todas as informações e a maneira como serão utilizado, com garantia de interoperabilidade entre IED's. A Figura 10 exhibe o fluxo de informações utilizando a linguagem SCL.

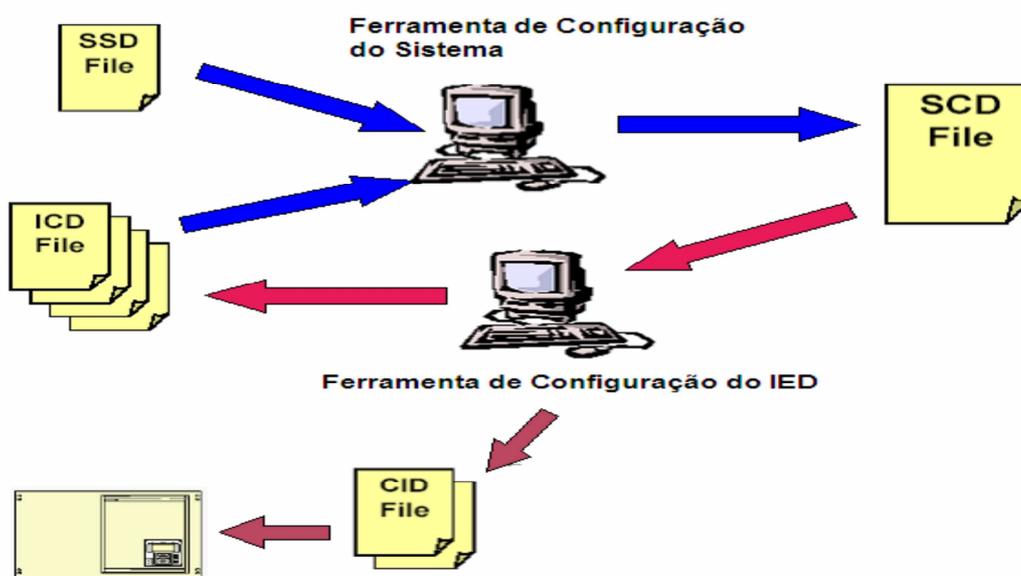


Figura 5. Sistema de configuração que utiliza a linguagem SCL

Fonte : Figura 2 da Ref.[18].

12 Ferramentas de Configuração – SCL

Existe diversas ferramentas em ambiente gráfico que permitem trabalhar com os arquivos SCL, desta forma facilitando todo o trabalho de engenharia para criação dos arquivos sem a necessidade de possuir qualquer conhecimento da linguagem XML. Abaixo, tabela 3, identificamos algumas:

Ferramenta	Proprietário	Tipo
SCL Manager	Kalkitech	Comercial
Visual SCL	ASE	Freeware
Helinks STS	Helinks	Comercial
Configurador	Concert	Comercial

Tabela 3 – Ferramentas de Configuração SCL

Todas estas ferramentas gráficas permitem ao usuário criar, configurar, visualizar e editar todos os elementos da subestação e seus modelos de dados, conforme especifica IEC 61850.

13 Estruturas de Comunicação

Um dos pilares da série IEC 61850 é a abstração da definição dos itens de dados e serviços, como anteriormente mencionados, criando objetos de dados e serviços que são independentes de qualquer protocolo usado. Estas definições abstratas permitem então o mapeamento dos objetos de dados e serviços para qualquer outro protocolo que satisfaça os requisitos de dados e serviços. A definição dos serviços abstratos encontra-se na IEC 61850/7-2 e a abstração dos objetos de dados é encontrada na IEC 61850/7-4. Seguir este conceito de comunicação significa que as definições são concentradas nas descrições que os serviços oferecem, neste conceito os objetos e serviços são criados independentes de qualquer outro protocolo [9]. A interação entre os modelos de dados e modelo de comunicação é realizada pelo Abstract Communication Service Interface (ACSI), sendo necessário mapear estes serviços sobre um protocolo. ACSI fornece um conjunto de funções de comunicação para o acesso, aos dados, aos relatórios, às aplicações de controle e suporte, definido na série IEC 61850-7-2. O uso desses serviços permite a definição dos modelos de informações dos equipamentos independentemente do protocolo de comunicação, em um nível elevado de interoperabilidade da aplicação e custos reduzidos na integração e no desenvolvimento com o uso de mecanismos comuns para o estabelecimento do acesso e da comunicação dos dados. A norma prevê ainda uma pilha de protocolos composta por camadas de transporte, rede, enlace e um serviço de mensagens. As camadas física e enlace são comum à todos os serviços de mensagens e utiliza o protocolo Ethernet como prioridade e as mensagens denominadas cliente-servidor são aquelas que não apresentam restrição de tempo e por isso apresentam um atraso devido ao processamento em cada camada [16].

As mensagens que contenham restrições críticas a atraso, como bloqueios, são chamadas de transferência de objetos genéricos de eventos do sistema (GOOSE, do inglês *Generic Object Oriented System Events*) podem ser dos tipos 1 e 1A e transferência de valores amostrados SV (*Sampled (analog) Values*) do tipo 4. As mensagens SV, além de não utilizam todas as camadas da pilha de protocolos têm prioridade mais alta.

Desta forma a norma classifica os tipos como:

Tipo	Classe	Serviço
1	Mensagem Rápida	GOOSE – GSSE
1 A	Disparo	GOOSE-GSSE
2	Velocidade Média	CLIENTE/SERVIDOR
3	Baixa Velocidade	CLIENTE/SERVIDOR
4	Dados em Rajada	SAMPLED VALUES
5	Arquivos	CLIENTE/SERVIDOR
6	Sincronização	SYNC TIME

Tabela 4 – Lista de Tipos de Mensagens e Classes de Desempenho

Fonte: Adaptado IEC 61850-6

- Tipo 1 são mensagens curtas que contém dados de comandos, estados. O receptor deverá atuar de imediato na recepção destas mensagens;
- Tipo 1A possui requisitos de tempo de maior prioridades comparados com as outros tipos e são utilizadas para troca em tempo real.
- Tipo 2 são mensagens que não possui tempo de envio crítico, porém possui restrições da idade do dado, deve possuir uma etiqueta de tempo;
- Tipo 3 mensagens complexas utilizadas para controle, funções e registro de eventos;
- Tipo 4 são mensagens geradas nos TC's e TP's com restrições de tempo;
- Tipo 5 utilizadas para transferências de arquivos em blocos de tamanhos limitados para permitir a efetividade das comunicações;
- Tipo 6 utilizado para sincronizar os relógios dos IED, podendo ser substituídas por sinas IRIG-B.

ACSI, conforme determina a norma, faz uso de dois modelos de comunicação:

- Modelo de comunicação cliente-servidor, onde estão os serviços como controle ou leitura de valores;
- Modelo de comunicação ponto-a-ponto, nos quais encontramos os serviços GSE de tempo crítico.

Nas redes cliente-servidor há a figura do servidor, ou seja, uma máquina que responde a determinados tipos de pedidos, e do cliente, máquina que efetua o pedido aos servidores, já nas redes ponto-a-ponto não existe servidor, sendo que a comunicação pode ser direta entre máquinas da rede [11].

A partir destes dois modelos foram definidos todos os serviços de comunicação, estes podem ser encontrados IEC61850 parte 7-2: Basic information and communication structure – Abstract Communication service interface (ACSI), sendo estes são necessários para determinar os serviços de comunicação que serão utilizados. Para implementar os serviços, objetos e algoritmos especificados nas IEC61850-7-2, nas IEC61850-7-3 e nas IEC61850-7-4 a norma faz uso do Modelo de Referência OSI e de diversos protocolos padrões, dentre eles o MMS, SNMP, TCP/IP.

14 Protocolos

Protocolos de comunicação são as “linguagens” usadas pelos dispositivos de uma rede para que haja um entendimento entre os mesmos durante a troca de informações. Ou seja, são conjuntos de regras e convenções usadas para comunicação [12], estes fazem uso dos princípios de comunicação padronizados, coordenados e aceitos, de modo a permitir a livre troca de informações dentro das redes. Seu principal objetivo é fazer com que sistemas ou equipamentos, mesmo que tenham arquitetura interna distinta, troquem informações. A informação precisa ser empacotada, enviada de uma fonte e encaminhada para um destino, através de um meio. Quando se fala em TCP/IP, fala-se em dois importantes protocolos dentro de um conjunto de protocolos que tornam possível o envio de uma informação desde a criação da mesma até o seu destino. O uso do protocolo TCP/IP se torna uma vantagem em relação a outros protocolos existentes pelo fato de ser roteável, isto é, ser criado pensando em grandes redes e longas distâncias, onde pode haver vários caminhos para que os dados possam atingir o computador receptor. Informações nem sempre são pequenas para serem transmitidas numa rede. Por isso, são quebradas em partes compostas por dados binários (digitais), onde cada parte é identificada e processada em vários estágios (camadas), tornando-se menor ou maior, a depender se e origem ou destino, a medida que vai passando por estas camadas. Por exemplo, quando se inicia a quebra de uma informação na origem, ou seja, a partir da camada de aplicação, tem-se uma divisão em pequenas partes que vão sendo agregadas com uma identificação ou cabeçalho. Estas várias partes com os seus respectivos cabeçalhos formam um quadro. Cada parte deste quadro identifica uma camada percorrida durante o processo de quebra da informação. Existem várias formas de se quebrar a informação, ou seja, existem modelos padronizados pela ANSI, como também pela ISO, dependendo da complexidade com a qual a rede deseja ser criada. O modelo TCP/IP (da ANSI-American National

Standards Institute) veio antes do modelo OSI (da ISO-International Organization for Standardization), sendo este último uma tentativa de estabelecer uma generalização de classificação em sete camadas para todos os protocolos existentes no mundo.

No caso da Internet, era um desejo a utilização de um protocolo que fosse independente da evolução das tecnologias de transmissão, aberto ao público, e que fosse independente da topologia de rede. Sendo assim, público e genérico conforme já citado, o TCP/IP permite sua implementação por diversos fabricantes.

Portanto, quando falamos em protocolos de comunicação, se faz necessário uma introdução aos modelos OSI da International Standards Organization (ISO) e do TCP/IP da American National Standards Institute (ANSI).

14.1. OSI - Open Systems Interconnections

Modelo de referencia OSI, criado pela ISO (International Organization for Standardization) para facilitar a interconexão de sistemas de comunicação, conforme mostra a Figura 6, possui 7 camadas, e cada camada tem a função de oferecer serviços para camada superior, sendo que a seguir são mostrado alguns princípios aplicados para se chegar às sete camadas [12]:

- Uma camada deve ser criada onde houver necessidade de outro grau de abstração;
- Cada camada deve executar uma função bem definida;
- A função de cada camada dever ser escolhida tendo em vista a definição de protocolos padronizados internacionalmente;
- Os limites da camada devem ser escolhidos para reduzir o fluxo de informações transportadas entre interfaces.

Este é um modelo e não uma arquitetura, pois não especifica os serviços e os protocolos que devem ser usados, mas apenas informa o que cada camada deve fazer, sendo que foi desenvolvido para redes de comutação de pacotes [11].

Aplicação
Apresentação
Sessão
Transporte
Rede
Enlace de dados
Física

Figura 6 - Camadas do Modelo OSI

Fonte: [11]

Na transmissão de um dado, cada camada pega as informações passadas pela camada superior, acrescenta informação pelas quais seja responsável e passa os dados para a camada imediatamente inferior [11]. Cada camada tem a liberdade de usar qualquer protocolo, desde que eles viabilizem a realização do trabalho, ou seja, forneça o serviço oferecido pela camada. Quando a mensagem chega à camada mais inferior (física), é enviada através da conexão física para a máquina de destino. Na máquina de destino o processo opera no sentido inverso. Cada camada remove e usa informação específica da camada, passando o restante da informação pela cadeia acima, até que o dado original se torne disponível para o usuário da aplicação. Enquanto houver uma interface definida entre as camadas, uma camada pode ser substituída por outra que atenda à especificação da interface. Por exemplo, as redes Ethernet podem operar através de muitos meios diferentes, desde cabos de condutores, a cabos de fibra ótica e conexões via rádio. A camada física pode ser substituída desde que a interface permaneça inalterada. Cada camada tem sua função bem definida, porém, na prática os protocolos existentes, como TCP/IP, não segue esse modelo ao pé da letra, podendo usar protocolos que corresponde a mais de uma camada.

14.2. TCP/IP

A pilha de protocolos TCP/IP é atualmente a mais conhecida e a mais usada em redes de computadores, devido o seu uso na Internet e também por ser um protocolo roteável de arquitetura aberta, isto é, permite o uso de roteadores para definir o caminho dos pacotes para atingir o seu destino, além de ser uma arquitetura aberta [12].

O TCP/IP é organizada em 4 camadas, Figura 7, sendo composta por dois protocolos principais: o TCP – Transmission Control Protocol e o IP – Internet Protocol, sendo que o primeiro trabalha na camada de transporte e o segundo na camada de rede do TCP/IP. Abaixo alguns aspecto destas camadas:

Aplicação
Transporte
Inter-Rede
Host- Rede

Figura 7 – Modelo de Referencia TCP/IP

Fonte: [12]

✓ A camada de aplicação equivale as camadas 5,6, 7 do Modelo OSI, esta camada define os protocolos que interagem diretamente como o usuário, oferecendo os serviços para as aplicações. A camada de aplicação ainda comunica-se com a camada de transporte através de uma porta, que é um sistema de endereçamento para direcionar os dados para o protocolo de aplicação da máquina de destino. Com isto o protocolo operando na camada de transporte sabe qual é o tipo de conteúdo do pacote de dados [11].

✓ Camada de Transporte, esta camada coordena o envio de mensagens, permitindo o envio de mensagens entre máquinas de origem e de destino, podendo ou não implementar algum mecanismo de controle para garantir a entrega das mensagens. Foram definidos dois protocolos nesta camada, o TCP, que é um protocolo orientado à conexão confiável que permite a entrega sem erros, e o UDP (User Datagrama Protocol) é um protocolo sem conexão não confiável para aplicações que não necessitam nem de controle de fluxo, nem de manutenção da sequência das mensagens enviadas.

✓ Camada Inter-Redes define a mecanismo utilizado para que um dispositivo de origem localize o dispositivo de destino, definindo a rota que as mensagens deverão percorrer. Alguns protocolos dessa camada: IP, Arp, ICMP e RIP.

✓ Camada Host-Rede define os padrões de transmissão de informações através de meio físico. Esta camada esta relacionada ao hardware e a maioria dos protocolos é implementada pelos drivers da placa de rede. Alguns protocolos desta camada são: Ethernet, Token Ring, FDDI.

14.3. Arquitetura Ethernet

A Ethernet, utilizada na série IEC 61850, é definida pela norma 802.3 do Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) e contempla as duas camadas mais inferiores do modelo OSI, física e enlace de dados, sendo por si mesma não ser capaz de mover dados entre os dispositivos sem as camadas superiores. Conforme Gabriel Torres [10] a arquitetura Ethernet é a mais usada em redes locais, operando nas camadas um e dois do modelo OSI, definindo, portanto, a parte física da rede local. O papel do Ethernet é, portanto, pegar os dados entregues pelos protocolos de alto nível e inseri-los dentro de quadros que serão enviados através da rede.

Mesmo não sendo desenvolvida especificamente para operação em subestações e outros ambientes desfavoráveis existe um grande interesse na aplicação desta arquitetura nesses locais, pois é mais simples de empregar, ampliar e seus conceitos estão bem difundidos, além disso fabricantes e especialistas, tanto industriais como concessionárias estão caminhando no sentido de conviver com as limitações das redes Ethernet e resolver os problemas associados a elas [19].

Com as redes Ethernet não são determinísticas, o tempo exigido para que o dado se desloque através da rede não é garantido, e a interface da rede Ethernet em um dispositivo pode perder pacotes de dados se o tráfego da rede for muito alto, este desempenho de tempo não determinístico precisa ser considerado para as aplicações críticas em termos de tempo, tais como proteção ponto-a-ponto e mensagens de controle. Em um sistema determinístico, todos os eventos ocorrem com tempo e sequência completamente previsíveis. Um entendimento básico das regras de acesso à mídia Ethernet é importante para entender por que as redes Ethernet não são determinísticas, também um estudo nas técnicas desenvolvidas para alcançar os tempos necessários dentro das redes LAN's.

15 Aspectos Importantes da Norma

A série IEC 61850 trabalha sobre a rede Ethernet, sendo que uma mensagem Goose é um frame Ethernet interagindo na segunda camada OSI, desta forma, evita-se a complexidade e a perda de velocidade das camadas superiores. Os pacotes Ethernet possuem características adicionais para melhorar seu desempenho e eficácia. Para potencializar seu recebimento as normas Ethernet e IEC 61850 contemplam as seguintes propriedades [27]:

- A) Prioridades Ethernet IEEE 802.1p Priority Tags – Evolução da Rede Ethernet
- B) Virtual LAN – Ethernet IEEE 802.1q VLAN – Evolução da Rede Ethernet.
- C) Repetições das mensagens Goose para garantir a chegada - IEC 61850

Os principais objetivos do IEEE 802.1p e 802.01Q são:

- Melhorar o suporte a tráfegos de mensagens com tempos críticos, pois os equipamentos de rede priorizarão a entrega das mensagens do tipo Goose e SV;
- e limitar a extensão de tráfego multicast de alta banda passante em uma LAN com switch.

A norma 802.1p especifica um padrão para priorização, porém para protocolos que não contém um campo de priorização, como é o caso do Ethernet, o 802.1p define um método para indicar a priorização do quadro através dos campos

inseridos pelo 802.1Q. Os campos do 802.1Q, chamados de TAG, contém informações referentes à VLAN que o quadro se encontra e qual a priorização.

Para implementar a priorização, 802.1q quanto a 802.1p, foi necessário introduzir 4 octetos no cabeçalho Ethernet: o TAG. O problema desses 4 octetos adicionais é a não conformidade com o atual padrão, ou seja, todos os equipamentos que implementam Ethernet teriam problemas, pois o hardware que é otimizado para o tamanho máximo do quadro de 1500 octetos de dados mais 18 octetos de cabeçalho e FCS, não estaria de acordo com o tamanho do novo quadro por dois octetos. Uma solução seria a redução do tamanho máximo de "payload" dos dados em 4 octetos, fazendo assim com que o tamanho do quadro se mantivesse. O 802.1p especifica um mecanismo para indicar a prioridade baseado em um campo de priorização já existente, ou incluído pelo 802.1Q. Através desse campo, é possível definir 8 classes de tráfego, pois foram alocados 3 bits para armazenar prioridades. O tratamento da prioridade é feito quadro-a-quadro, portanto caso exista uma rajada de tráfego é possível que o mecanismo de prioridade introduza latência no fluxo tratado. O 802.1p faz um reordenamento dos quadros no seu buffer, pode acontecer, portanto, de mensagens críticas sofrerem sensíveis ao atraso serem prejudicados por esse mecanismo [29]. Apesar de todas as padronizações propostas e homologadas, o 802.1p e 802.1Q não poderiam ser efetivados na prática se não fosse feita uma proposta de modificação do quadro para a solução da falta de um campo no quadro Ethernet. Este campo seria o responsável pela identificação do quadro para uma determinada VLAN e pela identificação de qual prioridade este quadro teria diante de outros na fila de encaminhamento. Vale ressaltar que muitos parâmetros podem ser utilizados para configurar VLAN's, tais como: número da porta, endereços MAC, endereços IP e também a combinação destes [28].

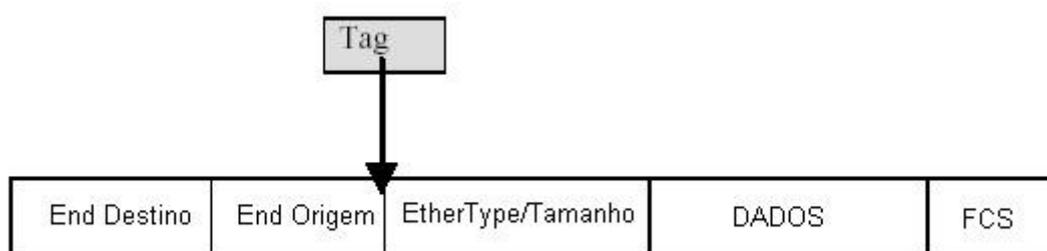


Figura 8: Localização do TAG no quadro Ethernet
(Retirado do arquivo PDF IEEE802.1D-1998 obtido em www.ieee802.org)

Esses quatro octetos são os bits responsáveis tanto pela identificação da VLAN, para a norma IEEE 802.1Q, quanto pela marcação da prioridade do quadro, referente a norma IEEE 802.1p. O TAG, Figura 9, foi inserido logo após o campo de Endereço de Origem e antes do campo "EtherType" (para Ethernet v.2), ou Tamanho do Quadro (para IEEE 802.3). As normas 802.1Q e 802.1p dividem o mesmo TAG.

		Cabeçalho do TAG						
		TPID	TCI					
48 bits	48 bits	16 bits	3 bits	1 bit	12 bits	16 bits	até 1500 octetos	32 bits
End. Destino	End. Origem	TPID	Prioridade	CFI	VLAN ID	Tamanho /Tipo	DADOS	FCS
		0x8100	0 – 7	0-1	0-4095			

Figura 9: Detalhamento do Tag

Fonte : [12]

Esse novo campo do cabeçalho de 4 bytes contém [32]:

- **TPID - Tag Protocol Identifier:** dois bytes de valores fixos igual a 0x8100. Esse valor específico determina que os próximos dois bytes carregam informações do TAG dos padrões 802.1p e 802.1Q.
- **TCI - Tag Control Information:** com as seguintes informações
 - **Prioridade:** responsável por carregar a informação de user_priority através de LANS com Pontes. Os três bits são capazes de representar oito diferentes níveis de prioridades - de 0 a 7.
 - **CFI - Canonical Format Indicator:** em '0' indica forma canônica, enquanto em '1' indica forma não-canônica. Isso é usado no método de acesso ao meio roteados por FDDI/Token-Ring para sinalizar a ordem da informação de endereço encapsulado no quadro.
 - **VID - VLAN Identifier:** identifica a qual VLAN o quadro pertence. Pelo seu tamanho pode-se calcular o número máximo de VLANs que podem ser unicamente identificadas - 4096, sendo que a VLAN 0 e a VLAN 4095 são reservadas.

De acordo com IEEE 802.3 o quadro Ethernet não pode exceder 1518 octetos, então se ao quadro é adicionado o TAG do 802.1Q/p, o tamanho máximo passará a ser de 1522, o que abre uma janela de possíveis problemas com equipamentos que implementam o Ethernet e fazem isso através de hardware.

16 Equipamentos de uma SLAN

Além da escolha do IED, para o perfeito funcionamento do sistema os projetistas devem conhecer e selecionar todos os equipamentos de uma rede da subestação, desta forma, avaliar possíveis falhas e a necessidade de redundância.

16.1. Hub

Hub é um equipamento com várias portas, este retransmite todos os dados que recebe em uma porta para todas as outras portas. Operando na camada física do modelo OSI, permite a construção de redes com topologia em estrela, porém logicamente a topologia usada e de barramento. Os Hubs somente operam no modo half-duplex e têm um MTBF médio de 118,9 anos [11].

16.2. Switches

Um switch é um dispositivo multiplexador inteligente que monitora os dados recebidos em uma porta para determina a entrega somente para os endereços do destinatário. Um switch opera na camada de Link de Dados do modelo da rede OSI, analisando os pacotes. Se um pacote de dados está incompleto ou é indecifrável, o switch o ignora e não retransmite esse pacote. Se um pacote de dados está intacto, o switch retransmite a outra porta, baseado no dado de endereçamento incluído no pacote e os endereços associados a cada porta do switch . Os switches Ethernet possuem um MTBF médio de 11,5 anos, sendo recomendável que os switches sejam gerenciáveis e atender aos requisitos das normas IEC 61850, IEEE 1613 class 2, para aplicações da SLAN. Deverão possuir taxa zero de colisão de dados e serem concebidas sem ventiladores ou partes móveis, ou seja, refrigeração por convecção ainda é recomendável que possua Interfaces de gerenciamento para configuração através de Telnet. Os seguintes softwares e funcionalidades de gerenciamento deverão estar disponíveis, SNMPv1, SNMPv2c, SNMPv3 (Simple Network Management Protocol), RMON (com histórico de alarmes, eventos, estatística), RSTP, Port Mirroring, BootP/DHCP, FTP, Telnet, SNTTP, suporte para IPv6 e IPv4 ; Deverão possuir função de auto-monitoração com alarme através de um contato onde esta função deverá monitorar tanto o hardware quanto o software.

16.3. Roteador

Um roteador é um dispositivo multiplexador inteligente utilizado para conectar duas redes, uma na outra. Ele pode ser um dispositivo complexo, com muitas funções. Ele opera na camada de Rede do modelo OSI e é programado para ignorar tráfego intra-segmento e para rotear o tráfego inter-segmento para o segmento de destinação apropriado. Os roteadores Ethernet possuem um MTBF

médio de 9,5 anos, porém com investimento 20 vezes maior, eles são disponíveis com um MTBF de 35 anos.

16.4. Gateway

É o nome dado ao dispositivo de rede que tem por função regular o tráfego entre redes distintas e podendo impedir a transmissão de dados nocivos ou não autorizados de uma rede a outra. Dentro deste conceito incluem-se, geralmente, os firewall de filtros de pacotes e proxy de protocolos, sendo utilizado para evitar que o tráfego não autorizado possa fluir de um domínio de rede para o outro. Apesar de se tratar de um conceito geralmente relacionado à proteção contra invasões, o firewall não possui capacidade de analisar toda a extensão do protocolo, ficando geralmente restrito ao nível 4 da camada OSI, estes existem na forma de software e na forma de hardware, ou na combinação de ambos. A instalação depende do tamanho da rede, da complexidade das regras que autorizam o fluxo de entrada e saída de informações e do grau de segurança desejado.

Para proteção da SLAN é desejável unidades robustas para comunicação Ethernet segura entre redes privadas, possuir interoperabilidade com outros dispositivos utilizados pela TI, sistemas de controle e supervisão sobre Protocolo Internet Seguro (IPsec) Rede Privada Virtual (VPN). Essas unidades deverão proteger redes privadas de tráfegos maliciosos com firewall completo e forte controle de autenticação para acesso. Deverá possuir simples configuração de VPN, manutenção e configuração utilizando interface web segura (HTTPS), eliminando a necessidade de software para configuração e ser configurável até 16 VPN's (Virtual Private Networks) conectadas através de 3 portas Ethernet. Deverá possuir certificado X.509 para garantir a autenticação para requisição de conexão e protocolo de verificação em tempo real do certificado X.509 e armazenar até sessenta mil registros de eventos de segurança.

O gateway deverá possuir sincronização via IRIG-B e possuir 2 portas Ethernet traseira e 1 porta Ethernet frontal, LEDs frontais indicando o estado dos canais de comunicação e contato de alarme para self-test.

16.5. Servidores de Portas Ethernet: SPE

Os servidores de portas são unidades conversoras que permitem o acesso via rede Ethernet aos equipamentos que possuem somente interface de comunicação serial EIA232 ou EIA-485/422. Deve ser utilizado para os casos retrofit de SE's onde haja a necessidade de integração de equipamentos já existentes em rede de comunicação Ethernet, estes servidores deverão estabelecer conexões Ethernet seguras utilizando SSH, Telnet ou encapsulamento TCP. O SPE deverá possuir sincronização via IRIG-B e contato de alarme para self-test (Watchdog)

16.6. Módulo de sincronismo de tempo via satélite: GPS

O módulo de sincronismo de tempo via satélite, GPS, deverá ser responsável pela sincronização de relógios através de sinal enviado por satélites, garantindo que todos os dispositivos do sistema estarão operando na mesma base de tempo com uma resolução nas estampas de tempo da ordem de microsegundos e com precisão de 100 microsegundos.

17 Segurança das SLAN

Todo sistema elétrico é um recurso crítico que precisa ser tratado com cautela e prevenção, por isto as questões envolvendo a segurança das instalações devem ser uma preocupação constante nos dias atuais, pois uma invasão poderá ter sérios prejuízos, além de por em risco a vida das pessoas. Os sistemas, que antes eram isolados, ficaram mais vulneráveis, pois deixamos de utilizar o processamento central e protocolos proprietários, os quais o conhecimento e o acesso são mais restritos, para utilizar redes distribuídas e protocolos abertos, além de muitas vezes utilizarmos uma rede pública para interligação destas redes, originalmente isoladas por meio destes protocolos e por redes proprietárias.

Também o rápido aumento da população com habilidades e conhecimentos consistentes em redes de computadores contribuiu para o aumento dos riscos de invasão, além da disseminação de literatura e ferramentas de hackers pela internet.

As subestações de energia elétrica são pontos vulneráveis, porque permitem acesso remoto, sendo que poucas possuem mecanismos de proteção como IDS, IPS ou firewalls, com o agravante que uma falha pode assumir proporções nacionais. Desta forma é evidente que os problemas de segurança em redes de computadores passaram a integrar as preocupações e estudos dos profissionais de tecnologia de automação para garantir sua operação, abaixo relatamos alguns termos usados e que deverão estar relacionado em qualquer projeto de rede de subestação. Diante deste cenário, a segurança das SLAN passa também a ser uma preocupação constante dos projetistas destas redes, que devem compreender e avaliar não somente a qualidade dos serviços de comunicação, mas também saber utilizar as ferramentas que irão prover a adequada segurança de toda a instalação.

O utilização de ferramentas e procedimentos para prevenir acessos indevidos e aumentar a segurança dos sistemas são recomendados, porém segurança em redes deverá ser uma preocupação constante. Abaixo destacamos algumas ferramentas, procedimentos:

- ✓ utilização de firewall com os centros de controle;
- ✓ ativação e verificação de logs dos equipamentos;
- ✓ limitar a faixa de IP utilizado para os IED's;

- ✓ não utilizar senhas originais de fábrica;
- ✓ utilizar senhas fortes;
- ✓ implantar controle de acesso físico;
- ✓ desabilitar serviços que não serão utilizados.

Há diversas soluções para mitigar os problemas de segurança das redes SLAN. Abaixo destacamos alguns termos usado em segurança de redes:

17.1. Ataque

Denomina-se ataque qualquer tentativa, com êxito ou não, de invadir redes e equipamentos de um sistema. Existem várias modalidades de ataque a um computador. Sobretudo existem inúmeras variantes de métodos clássicos, variantes estas que são atualizadas e aprimoradas constantemente, explorando qualquer nova oportunidade ou técnica que venha a aparecer. Resumidamente, as principais modalidades de ataque a um computador são:

- ✓ Arquivos maliciosos recebidos como anexos de e-mails (vírus, worms, trojans, macros, dialers, spywares, adwares, malwares, backdoors...).
- ✓ E-mail com códigos malignos incorporados.
- ✓ Sites visitados contendo códigos maliciosos;
- ✓ Arquivos baixados ou recebidos;
- ✓ Mídias externas inseridas no PC (CDs, DVDs, pendrives)
- ✓ Redes locais/intranet, WiFi e Bluetooth.
- ✓ Ataques e invasões de hackers diretamente no computador, quando conectado à internet (muitas vezes aproveitando falhas de segurança ou do sistema operacional).
- ✓ Dados deixados em lugares acessíveis por descuido (CDs, pendrives, web mails).

17.2. Invasão

Invasão é o acesso à subestação por um canal para manipular ou causar distúrbios no SEP, portanto é um ataque que foi bem sucedido. Uma invasão pode causar danos e prejuízos as companhias, além do perigo a exposição dos riscos a sociedade. Os invasores podem abrir ou fechar válvulas, disjuntores, seccionadores, desta forma causando desligamentos e até acidentes.

17.3. Assinatura Digital

Como podem estar sob constantes ameaças de ataques cibernéticos. O novo protocolo IEC 61850 ainda não trata a questão de segurança, porém o IEC está emitindo uma nova norma IEC 62531-6 que trata a questão de segurança do protocolo IEC 61850, usando a técnica de assinatura digital. Mesmo assim é altamente recomendado implementar e verificar as políticas e prioridades de segurança usados pela empresa, assim como classificar e priorizar tráfego e políticas de segurança nos elementos e IEDs da rede, a fim de prover propriedades dinâmicas à rede. Implementar planos de recuperação de faltas e desastres em todos os níveis da empresa e em todas as camadas de rede de forma compatível com os requisitos de redundância, disponibilidade e tempos de recuperação. Infelizmente tenho constatado que as empresas iniciaram o processo de convergência tecnológica sem prepararem uma política de segurança. Justamente porque a organização não sabe quem deve elaborar essa política. A questão da segurança pode ser tratada em diversos níveis e em distintos graus de profundidade. Depende muito dos objetivos perseguidos e das áreas da empresa que serão alvo da abordagem de segurança. O ideal é toda a empresa. Mas de fato há que se decidir algumas vezes por manter a liberdade total a proteger certos sistemas.

18 Etapas de aplicação do IEC 61850

Qualquer projeto de subestação deve começar com as características técnicas e operacionais desta, como estas etapas são comuns às subestações convencionais não abordaremos neste trabalho, mas alertamos que estas são a base para os esquemas de troca de informações via IEC 61850.

Definido estas características, podemos começar a projetar os esquemas de proteção, automação e comunicação do SAS. O melhor método prático é o uso de uma ferramenta de criação dos arquivos SCL, descrevemos algumas destas ferramentas e diferenças no item 13, estas irão auxiliar na configuração do sistema, criando pacotes de dados e método que identificam quais os dados serão enviados e para quem estes devem ser transmitidos.

Alguns fabricantes optaram por construir a configuração do IEC 61850 juntamente como os ajustes de proteção, o que demanda mais atenção dos usuários, pois quando fizerem o download da configuração IEC 61850 devem tomar as precauções necessárias para não interferir nos ajustes e lógicas de proteção, mesmo assim deverá ser feito testes e comissionamento de todos os ajustes. Outros fabricantes tiveram o cuidado de separar estes ajustes de proteção da configuração IEC 61850, e todo o processo de configuração em nada impacta nos ajustes de proteção, isto garante uma segurança a mais na implantação do sistema.

As ferramentas de configuração que definem as características do IED, também executam o enlace lógico residentes em um IED, desta forma com os dados e enlaces lógicos definidos devemos detalhar os serviços de comunicação em que operam os dados, incluindo as regras na normalização para permitir novos enlaces lógicos. E nesta hora que são criados os arquivos ICD com os detalhes de cada IED.

Um requisito importante e que deve ser atendido pelos IED's é a precisão dos tempos de sincronização, ainda a melhor opção é o uso do sinal IRIG-B com equipamentos de recepção e distribuição deste sinal para todos os IED's da rede. O uso do SNTP, mesmo sendo um protocolo incluído na série IEC 61850 pode não fornecer a precisão desejadas na rede. Existe uma polemica com relação a adoção desse protocolo, pois alguns fabricantes, como por exemplo, a *Schweitzer Engineering Laboratories* (SEL), que diz o SNTP não e adequado para as aplicações com precisões de ate 1 μ s previstas na IEC 61850. A SEL adota como alternativa o IRIG-B. Oficialmente o SNTP e o padrão adotado pela IEC 61850, mas em breve será lançado um novo padrão para sincronização, o IEEE 1588. Ainda com a ferramenta de configuração dos sistema, para onde todos os arquivos são importados, é feita a configuração das funcionalidades do sistema da SE, alocando os IED's importantes e definindo relações de comunicação e endereços. O resultado é o arquivo de Descrição do Sistema – SCD.

Definidos os IED's é suas funções, devemos partir para escolha da melhor tipo de SLAN com base no tipo de equipamentos redundantes que desejamos ter, também pode ser utilizado o cálculo de taxa de falha para definir os detalhes da rede.

Resumo dos passos:

- 1) Classificar os tipos de mensagens da IEC 61850 e respectivos mapeamentos em termos de protocolos de comunicação;
- 2) Definição dos nós lógicos e funções operacionais com respectivos requisitos;
- 3) Revisão da arquitetura operacional;
- 4) Especificação de WAN e LAN para os requisitos do IEC 61850;
- 5) Especificação dos elementos de borda (IEDs, terminais, etc.);
- 6) Metodologia e setup de testes de atendimento a requisitos de tempo e integridade de tráfego;
- 7) Testes do IED's no sistema;

19 Impacto com sistemas legado

As empresas de energia elétrica do Brasil, que possivelmente serão os maiores usuários de equipamentos IEC 61850, possuem um grande parque de

subestações digitalizadas que utilizam protocolos como: IEC-750-5-101/104, DNP3.0, ModBus e protocolos proprietários. A migração para o protocolo IEC-61850 deve ser realizada de uma forma lenta e gradual para um dos dois tipos de sistema (Implementação completa ou implementação parcial) através de retrofit das proteções de bays no caso de subestações convencionais ou da construção de uma nova subestação. Durante o período de migração existirá um período de convivência de um novo padrão de nomes proporcionado pelo protocolo IEC-61850 e o padrão de nomes proporcionado pelos sistemas existentes atualmente nas empresas. Várias companhias já decidiram adotar o protocolo IEC-61850 para os novos empreendimentos e já incorporaram ao seu parque subestações que utilizam o protocolo IEC-61850 para comunicação ao nível de rede de subestação. Nesta subestações podem ser adotados centro de controle ao nível de subestação. O sistema deverá ter a facilidade de tratar os pontos físicos com o padrão de nomes do IEC-61850 e associar estes pontos a pontos lógicos com o padrão de nomes existentes com o sistema utilizado, pois todas as operações lógicas e de distribuição de dados são realizadas com os pontos lógicos [24]. Adotando esta arquitetura fica garantido todo investimento realizado em aplicações tais como: ferramentas de configuração, tratamento de alarme, estimador de estado, simulador de operadores que utilizam o padrão de nomes existentes. Apesar de ser uma solução que resolve esta divergência de padrão de nomes, continuamos com um problema de que a associação entre pontos físicos e pontos lógicos não é automatizada. Este fato mostra a necessidade da elaboração de um dicionário de conversão de nomes entre o protocolo IEC-61850 e o padrão de nomes existentes. A implementação desta conversão pode ser de forma manual ou automatizada. Outro fator preocupante é a questão que os nós lógicos não apresentam todas as necessidades de informações do padrão existente de projeto de supervisão da subestação. Esta questão se torna mais crítica nas empresas estatais que são obrigadas a realizar concorrências públicas permitindo a aquisição de fabricantes diferentes para cada novo empreendimento ou ampliação. Este fato permite a implantação de diferentes soluções dentro de uma mesma subestação mesmo utilizando o protocolo IEC-61850. Há uma necessidade da elaboração por parte de cada empresa que deseje realizar a migração para o protocolo IEC-61850 de um padrão lógico de dados que resolva como serão tratados estes tipos de pontos que não são cobertos pela norma IEC-61850, para estas aquisições devem sempre ter o cuidado de análise do modelo atual com todos os possíveis impactos, evitando desta forma possíveis problemas posteriores.

20 Considerações Finais

A série IEC 61850 fornece métodos, padrões e requisitos para o desenvolvimento das melhores práticas de engenharia para todo o sistema de uma subestação, entretanto para implantar um novo sistema baseado nesta norma, engenheiros devem se orientar principalmente na norma e ensaios, porém esta nova

tecnologia exigirá trabalhar com outros parâmetros, ferramentas e tecnologias antes não dedicadas às suas funções. Além da parametrização das funções de proteção, ou seja, a definição dos ajustes dos elementos de proteção é necessário configurar o IED para as suas outras finalidades, além disso, deveram possuir sólidos conhecimento em redes de computadores para facilitar os testes e a implantação dos sistemas.

Além de especificar elementos de protocolos (como bytes são transmitidos na rede), a IEC 61850 provê um modelo compreensivo de como dispositivos do sistema de potência devem organizar dados de maneira consistente para todos os tipos e marcas de dispositivos. Isso elimina muito do esforço de configuração não relacionado ao sistema de potência, uma vez que os dispositivos podem se configurar. Alguns dispositivos usam um arquivo SCL para configurar os objetos e o engenheiro precisa apenas importar este arquivo para configurar este dispositivo. Assim a aplicação cliente pode extrair as definições de objeto do dispositivo através da rede. O resultado é uma grande economia no custo e no esforço de configuração dos dispositivos IEC 61850.

O processo de aquisição de qualquer equipamento IEC 61850 deve ser baseado na especificação e em testes para validar seu desempenho individual e em rede, será necessário um conjunto de procedimentos que garantirá a interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes e das funções do SAS, garantindo um projeto adequado sem congestionamentos e atrasos nas mensagens que podem ocasionar em problemas para o sistema elétrico. Também podemos pensar em projeto piloto para adquirir experiência como o novo protocolo.

Os canais redundantes deverão apresentar funcionalidades iguais. No caso de falha no canal ativo, o segundo canal deverá ser utilizado. Deverá ser possível a detecção e sinalização de qualquer falha no canal inativo. O sistema deverá ter capacidade para futuras expansões as quais não deverão introduzir degradação de desempenho na parte existente, isto é, não deverá haver interrupções no sistema de comunicação com o acréscimo de novas unidades no sistema.

Para o desenvolvimento de uma plataforma real para um projeto de automação de subestações devem ser realizados testes de homologação de IEDs, switches e SeriaServer com concepção baseada na Norma IEC61850, e a integração destes ao sistema supervisorio que a concessionária de energia utiliza. Devem ser utilizados roteiros elaborados a partir dos testes descritos na norma (IEC 61850-10 Conformance Testing) e procedimentos específicos dos equipamentos e sistema envolvidos no teste, necessário ainda análise e negociação dos tempo nas mensagens Goose e SV, servindo estes tempos como subsídios para definição da topologia e quantitativos de redes e subredes.. Este procedimento permiti que o fabricante e o cliente final possam avaliar de maneira prática o comportamento do

novo desenvolvimento, implementando soluções e metodologias mais adequadas para a nova realidade de cada concessionária.

Será necessário investimentos e atualizações constantes na área de segurança, com implantação e manutenção de uma sólida Política de Segurança, combinando o uso de diferentes tecnologias para aumentar o nível de segurança.

GLOSSÁRIO

802.1Q padrão de rede criado para a otimização de VLANs, a fim de que larguras de banda de transmissão sejam devidamente otimizadas de acordo com os tipos de serviços.

Bays conjunto de equipamentos que faz a conexão entre uma linha de transmissão e a subestação.

Broadcast é um segmento lógico de uma rede em que um computador ou qualquer outro dispositivo conectado à rede é capaz de se comunicar com outro sem a necessidade de utilizar um dispositivo de roteamento.

Cliente-servidor modelo computacional que separa clientes e servidores, sendo interligados entre si geralmente utilizando-se uma rede de computadores. Cada instância de um cliente pode enviar requisições de dado para algum dos servidores conectados e esperar pela resposta.

CLP é um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para armazenar internamente instruções e para implementar funções específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, controlando, por meio de módulos de entradas e saídas

DNP protocolo desenvolvido para ser utilizado no setor elétrico, onde uma estação mestre se comunica com IEDs.

Ethernet tecnologia de interconexão para redes locais (LAN) - baseada no envio de pacotes.

Ethertype é um campo de pacote Ethernet, que define qual protocolo de camada superior o pacote transporta. O tamanho do campo Ether type é de dois bytes.

Gateway máquina intermediária geralmente destinada a interligar redes, separar domínios de colisão, ou mesmo traduzir protocolos.

IEC 61850 norma da IEC que trata de sistemas de comunicação para automação de subestações.

IHM interface homem-máquina utilizada nas indústrias para converter a linguagem de baixo nível em imagem, e os comandos do operador para o acionamento do equipamento.

Lan redes privadas locais de computadores contidas em uma sala ou prédio.

Mestre-escravo tipo de protocolo de comunicação, que um dispositivo, o mestre, interroga os demais dispositivos que somente responde as chamadas do mestre.

MMS é um protocolo da camada de aplicação, projetado para o monitoramento e controle de dispositivos industriais como IED.

Modbus protocolo de comunicação de dados utilizado em sistemas de automação industrial.

MTBF valor atribuído a um determinado dispositivo ou aparelho para descrever a sua confiabilidade. Este valor atribuído indica quando poderá ocorrer uma falha no aparelho em questão. Quanto maior for este índice, maior será a confiabilidade no equipamento e, conseqüentemente, a manutenção será avaliada em questões de eficiência.

Multicast tipo de comunicação em que existe múltiplos destinatários para a mesma mensagem.

Oscilografia registro de ciclos de grandezas analógicas, que em caso de falta, defeitos serão analisadas.

Polling é uma interação de solicitações e respostas síncronas entre mestre e escravo de uma comunicação.

Publicador-assinante diferentemente da arquitetura cliente-servidor, as mensagens são publicadas em um domínio multicast ou broadcast e somente as estações interessadas, ou seja, assinantes do serviço, recebem as mensagens.

Retrofit processo de atualização de equipamentos de proteção e automação dos bay do setor elétrico.

Router equipamento que opera na camada 3 do modelo OSI usado para fazer a comutação de protocolos e a comunicação entre diferentes redes de computadores provendo a comunicação entre computadores distantes entre si.

Scada sistemas que utilizam software para adquirir, monitorar e supervisionar as variáveis e os dispositivos de uma subestação.

SEP conjunto de equipamentos que operam de maneira coordenada com a finalidade de fornecer energia elétrica dentro de certos padrões de qualidade (confiabilidade, disponibilidade), segurança e custos.

Sistemas de tempo real são sistemas que possuem criticidade em relação ao tempo dos eventos, sendo que a especificação temporal deve ficar dentro do tempo da temporização especificada.

SLAN rede local de comunicação aplicada em áreas de energia, seja subestações, usinas, etc.

Stream pode ser definido como um fluxo de dados em um sistema computacional.

TC equipamento que reproduz no seu circuito secundário, a corrente que circula em um enrolamento primário com sua posição vetorial definida, conhecida e adequada.

TP equipamento usado principalmente para sistemas de medição e proteção de tensão elétrica, com capacidade de reduzir a tensão do circuito para níveis compatíveis com a máxima suportável pelos instrumentos.

Trip ponto em que o relé de proteção fecha os contatos de saída.

UML é uma linguagem para visualização, especificação, construção e documentação de artefatos de um software em desenvolvimento.

VLAN é uma rede local que agrupa um conjunto de máquinas de maneira lógica e não física.

X.509 é um padrão infra-estruturas de chaves públicas que especifica, entre outras coisas, o formato dos certificados digitais.

XML linguagem de marcação que provê um formato para apresentar dados estruturados.

BIBLIOGRAFIA

- [1] **MENEZES, Amaury A.** Subestações e Pátio de Manobras de Usinas Elétricas. Rio de Janeiro – RJ, 1977. Vol. 2.
- [2] **PAREDES, A.E.R.O.** Integração de Sistemas de Supervisão, Proteção e Automação de Subestações de Energia Elétrica. Disponível em: <http://200.131.186.194/phl/pdf/0031132.pdf> Acessado em 05 Nov. 2011.
- [3] **MIRANDA, Licinio Ribeiro de.** IEC 61850: A norma global de comunicação em subestações. Eletricidade Moderna, São Paulo, 2006, nº 383, p. 110-121.
- [4] **IEC 61850-1**, Communication Networks and Systems in Substations - Part 1: Introduction e Overview / 2003.
- [5] **IEC-61850-2**, Communication Networks and Systems in Substations - Part 2: Glossary / 2002.
- [6] **IEC-61850-3**, Communication Networks and Systems in Substations - Part 3: General Requirements / 2002.
- [7] **IEC-61850-4**, Communication Networks and Systems in Substations - Part 4: System and Project management / 2002.
- [8] **IEC-61850-5**, Communication Networks and Systems in Substations - Part 5: Communication requirements for functions and device models / 2003.
- [9] **IEC-61850-6**, Communication Networks and Systems in Substations - Part 6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs / 2004.
- [10] **IEC-61850-7**, Communication Networks and Systems in Substations - Part 7 / 2004.
- [11] **TORRES, Gabriel.** Redes de Computadores. Rio de Janeiro – RJ, 2009.
- [12] **TANENBAUM, Andrew S.,** Redes de Computadores. Terceira Edição. Rio de Janeiro – RJ, 1997.
- [13] **PEREIRA Junior, P. S., et alii.** Uma abordagem prática do Barramento de Processos (IEC 61850-9-2).IX SIMPASE 2011.
- [14] **CRISPINO, F., et alii.** Uma experiência aplicando um padrão orientado a objetos: IEC61850 na integração de IEDs na automação de subestações. Disponível em: http://www.cteep.com.br/port/institucional/artigos/Artigo_T05_0068_024_2002.pdf. Acesso em: 20 dezembro 2011.

- [15] **MAURÍCIO, S. Luis Fabiano**, Uma abordagem prática do IEC 61850 para automação, proteção e controle de subestações, IV SIMPASE 2007.
- [16] **GURJÃO, Edmar Candeia, et alii**, “A comunicação entre equipamentos de proteção da norma IEC 61850. São Paulo: Eletricidade Moderna, 2007 – Vol.397.
- [17] **MACKIEWICZ, Ralph E.**, Overview of IEC 61850 and benefits. IEEE: 0-7803-9193-4/06. 2006.
- [18] **PAULINO, Marcelo E de Carvalho**, Testes de conformidades em reles multifuncionais baseados na norma IEC 61850. Seminário Técnico de Proteção e Controle. VIII SPTC. Rio de Janeiro, 2005.
- [19] **FLORES, V. M, et alii**, Case Study: Desing and Implementation of IEC61850 from Multiple Vendors at CFE La Venta II. Western power Delivery Automation conference, Spokane, WA, 2007.
- [20] **IEC-61850-8**, Communication Networks and Systems in Substations - Part 8 /2004.
- [21] **IEC-61850-9**, Communication Networks and Systems in Substations - Part 9 /2003.
- [22] **J. ALZATE, D. Dolezilek, V. M. Flores, and D. Espinosa**, “Case Study: Design and Implementation of IEC 61850 From Multiple Vendors at CFE La Venta II,” proceedings of the 9th Annual Western Power Delivery Automation Conference, Spokane, WA, April 2007.
- [23] **COPEL. STR** . Grupo de Automação de Subestações; Proposição para o Sistema de Transmissão . s.d.
- [24] **COPEL. SISTEMA DE AUTOMACAO DE SUBESTACAO - SASE**. CURITIBA, s.d. 4767.
- [25] **HERRMANN H. J. et al.**. Implementation experience on IEC 61850-based substation automation systems.Paris ID: B5-104, Cigré. 2006.
- [26] **WILKS. J. et al.**. Developmens in power system protection.Canberra, Australia, Agosto 2002.
- [27] **PEREIRA Junior, P. S., et alii**. Experimento sobre carga com 15000 mensagens Goose por segundo em uma rede IEC 61850, e a investigação de suas consequências. XX SNPTEE 2009.
- [28] **MIRANDA, Juliano C.** IEC61850: Interoperabilidade e Intercambialidade entre Equipamentos de Supervisão, Controle e Proteção através das Redes de Comunicação de Dados. Janeiro – Dissertação de mestrado- São Carlos- SP 2009.

- [29] **OLIVER, Natalia e OLIVER Victor.** Redes de Computadores: princípios e tecnologias e protocolos para o projeto de redes. Rio de Janeiro: LTC 2008.
- [30] **PAULINO, Marcelo E Carvalho,** Testes de IEDs baseados na norma IEC 61850. IEEE. Rio de Janeiro, 2006.
- [31] **APOSTOLOV, Alexander e VANDIVER, Benton.** Testes de esquemas de proteção baseados na IEC 61850. Eletricidade Moderna, São Paulo, 2011, nº 449, p. 170-177.
- [32] **IEEE 802.1p,** Qos na camada MAC- Prof. Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte, disponibilizado em http://www.gta.ufrj.br/grad/02_2/802.1p/.
- [33] **BASTOS, Mario R e CASTRO, Eduardo,** A evolução dos sistemas de proteção e controle com a IEC 61850 São Paulo: Eletricidade Moderna, 2005
- [34] **ALBUQUERQUE, Carlos F,** Artigo: O uso do protocolo IEC 61850 para implementação de sistemas integrados de controle de processo de energia. disponibilizado em: <http://pt.scribd.com/doc/64701099/InTech129-IEEE-NORMA-61850>
Acesso em: 20 dezembro 2011.