

DOCUMENTAÇÃO DE PROJETOS EXECUTADOS COM O USO DA NORMA IEC 61850

Lívia Costa Marques de LUCENA¹, Wellington Silva OLIVEIRA² e Oberdan Rocha PINHEIRO³

¹CS Construções e Empreendimentos, e-mail: livia@gmlprojetos.com.br;

²SEL – *Schweitzer Engineering Laboratories*, e-mail: wellington_oliveira@selinc.com;

³Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, e-mail: oberdan.pinheiro@fieb.org.br.

DESIGN DOCUMENTATION EXECUTED USING THE IEC 61850 STANDARD

Resumo: Apesar de não ser recente a implantação de automação em subestações utilizando a norma IEC (*International Electrotechnical Commission*) 61850, algumas concessionárias de energia elétrica ainda estão iniciando o processo de automação de subestações baseando-se na referida norma e outras continuam com a filosofia convencional. Devido a esta mudança, existe uma necessidade real em substituir ou até mesmo integrar a documentação técnica existente dos projetos atuais em projetos de Sistema de Automação em Subestações (SAS) utilizando a norma IEC 61850. O objetivo deste artigo é sugerir documentos adicionais para sistema de automação com o uso da norma IEC 61850 e que estes possam compor os arquivos do projeto de automação e seja reconhecido e aprovado por várias empresas.

Palavras-Chaves: Documentos da norma IEC 61850; Padronização de projetos; Documentação para projetos de automação de subestação.

Abstract: *Although the not recent implementation of automation in substations using the IEC 61850 standard, some electric utilities are still starting the substation automation process based on this standard and others continue with the conventional philosophy. Due to this change, there is a real need to replace or even integrate the existing technical documentation of the current projects into substation automation system (SAS) projects using the IEC 61850 standard. The purpose of this article is to suggest additional documents for automation systems using the IEC 61850 standard and that they can compose the files of the automation project and be recognized and approved by several companies.*

Keywords: *IEC 61850 standard documents; Standardization of projects; Documentation for substation automation project.*

1. INTRODUÇÃO

Existem vários artigos relacionados com automação e a norma IEC 61850 sobre diversos temas e aspectos. Relacionados com automação cita-se: Proteção, Controle e Automação de Subestações com uso da Norma IEC 61850 [1]; Consolidação da Norma IEC 61850 na Automação de Sistemas [2]; Aplicação do IEC 61850 no Mundo Real: Projeto de Modernização de 30 Subestações Elétricas [3]; dentre outros, porém poucos tratam da apresentação de documentos complementares de forma estruturada e padronizada para projetos de automação executados com o uso da norma IEC 61850, fato este que estimulou a escrever este artigo.

Além da sua maior aplicação que é a interoperabilidade entre os Dispositivos Inteligentes Eletrônicos IEDs (*Intelligent Electronic Devices*) de diferentes fabricantes para troca de informações e uso dessas informações nas lógicas de proteção, automatismo e intertravamento, possibilitando o desenvolvimento de um sistema de automação descentralizado. A norma IEC 61850 busca estabelecer o mais avançado e universal padrão para comunicação para projetos de automação de subestação que é enviada por meio de comunicação de alto desempenho e confiabilidade, com estas características torna o uso da norma tão pesquisada.

Diferente da automação convencional, o uso da comunicação de alta velocidade em rede de comunicação *ethernet* é um dos pontos mais relevantes desta modernização. É importante que os projetos de SAS especifiquem equipamentos compatíveis com a topologia de arquitetura adotada e com os protocolos de redundâncias com tempo de recuperação praticamente zero.

Sabe-se que a automação de sistemas elétricos esta diretamente relacionada com configurações de IEDs e gerenciamento de *softwares*. Como o objetivo do artigo é sugerir documentos técnicos que possam complementar a documentação eletrônica existente nos *softwares* para projetos de automação de subestações, será dado um pequeno destaque a parte 6 da norma IEC 61850-6 [4] Linguagem de Configuração de Subestações, a qual define parâmetros do IED, configuração do sistema, formato de arquivo para descrever a comunicação relacionada com a configuração do IED, estrutura da subestação e a inter-relação entre estes arquivos.

Serão citados dois *softwares* didáticos e com *download* gratuito relacionados com ajustes e configurações IEDs. Por fim, será apresentada a estrutura de arquivos sugerida para compor o acervo técnico de projetos, tais como: apresentação da estrutura de projeto de automação que traz a sequência de páginas de forma ordenada, identificação da numeração dos IEDs, diagrama unifilar de proteção com a numeração dos *bays*, monitoramento dos IEDs para alarme no Centro de Operação CO em caso de falha de algum IED, legenda contendo as informações necessárias para a compressão do diagrama lógico, lista de comunicação de GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*), representação do diagrama lógico, configurações padrão para os IEDs e arquitetura de comunicação.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Redes de Comunicação Ethernet

A comunicação é considerada um ponto crítico na operação em tempo real em Sistema Elétrico de Potência SEP. Na transmissão dos dados de proteção em redes de comunicação aplicadas ao SAS, a eficiência da transmissão é um fator preponderante nos projetos de automação. A escolha da topologia de rede e testes de certificação da rede de comunicação são pontos essenciais para garantir o tempo máximo admissível de transmissão da mensagem. Neste contexto a especificação dos equipamentos que irá compor o sistema e a redundância da rede, passa a integrar a confiabilidade e disponibilidade da rede. A redundância deve abranger não só os dispositivos de proteção, mas também os sistemas de comunicação dentro da subestação na camada de enlace.

Um dos equipamentos principais para projeto de SAS são os *switches ethernet*, utilizados para atender uma rede de comunicação redundante e mantê-la em operação. Os protocolos redundantes do tipo *layer 2* podem executar duas melhorias significativas na arquitetura de comunicação: identificar todas as possíveis rotas entre os dispositivos na rede e colocar as rotas alternativas em *standy-by* (bloqueadas) evitando que dados em duplicidade fiquem circulando pela rede (*loops*) [5].

Devido a seguridade requerida na transmissão dos dados de comunicação, uma solução proposta é o protocolo PRP (*Parallel Redundancy Protocol*) que é um protocolo de alta disponibilidade, este implementa a redundância no nível do dispositivo através de nós duplos operando de acordo com as regras do PRP.

2.2. Topologia de rede - PRP

Cada nó PRP, chamado de DANP (*Doubly Attached Node with PRP*), que significa um IED que possui duas interfaces *ethernet*, é conectado a duas redes locais independentes que podem possuir topologias diferentes. As redes operam em paralelo e desta forma possuem um tempo de recuperação praticamente zero e permitem verificação contínua da redundância para evitar falhas ocultas [6].

Cada nó em um PRP tem dois controladores de barramento *ethernet* conforme mostrado na Figura 1, que possuem o mesmo endereço MAC (*Media Access Control*) e os mesmos endereços IP (*Internet Protocol*). Contudo PRP é uma redundância *layer 2*, que permite que protocolo de gerenciamento operem sem modificações, simplificando a engenharia de desenvolvimento [6].

Para automação de subestação, uma redundância *layer 2* significa que o PRP suporta integralmente mensagens GOOSE e SV (*Sampled Value*). Observa-se ainda na Figura 1 que uma entidade de *link* redundante LRE (*Link*

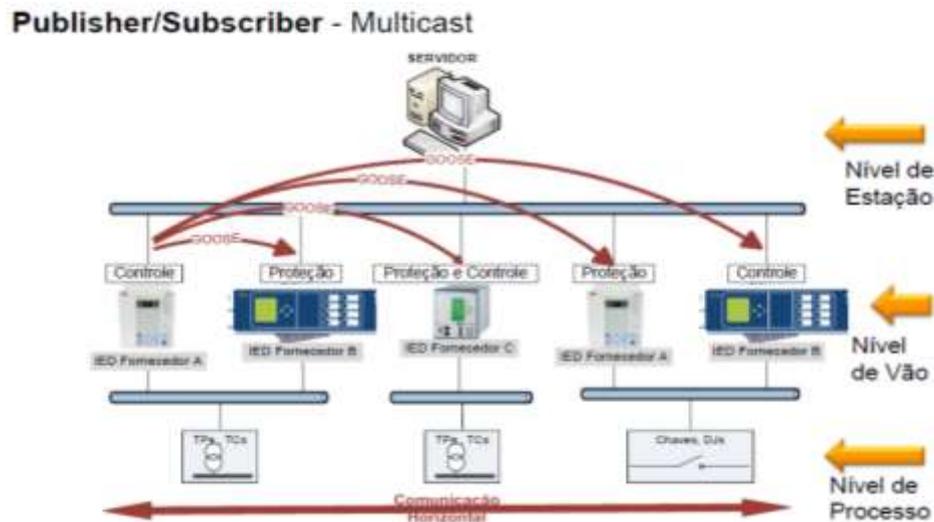


Figura 2. Comunicação horizontal – Nivel de Vão [8]

O mapeamento das mensagens com restrições críticas de tempo diretamente na camada de enlace resolve o problema do atraso inserido pelas demais camadas no envio das mensagens, porém retira a confiabilidade que seria garantida por meios de estabelecimento de seções e confirmações de recepção pelas camadas que não foram utilizadas. Para garantir a confiabilidade, são inseridos outros mecanismos de retransmissão, podendo citar a repetição da mensagem GOOSE enviada continuamente em torno de 1s máximo. Quando um evento ocorre uma nova mensagem é gerada e o período de envio diminui para 2 ms e em seguida esse período é incrementado até que o tempo máximo seja atingido ou que outro evento ocorra, gerando uma nova mensagem [9].

2.4. Linguagem de Configuração

Para garantir a interoperabilidade entre todos os IEDs de uma subestação, verificou a necessidade de uma descrição formalizada do SAS, com todos os links de comunicação existentes, de modo a garantir a compatibilidade na troca de informações entre IEDs e entre as ferramentas de engenharia. A norma IEC 61850 estabeleceu padrão para o formato dos arquivos de configurações de subestações os quais apresentam as interfaces e informações que devem ser trocadas entre si e através dos softwares a serem aplicados no projeto.

Os IEDs que suportam integralmente a parametrização por arquivo de configuração são chamados de nativos e estes arquivos são chamados de Linguagem de Configuração Padronizada SCL (*Substation Configuration Description Language*), é baseada na linguagem de marcação para criação de documentos com dados organizados hierarquicamente XML (*eXtensible Markup Language*) e pela linguagem de modelagem unificada UML (*Unified*

Modelling Language), que é uma linguagem gráfica padrão para a elaboração de estrutura de projetos complexos de *software*.

Conforme definido na norma IEC 61850-6 [4], a linguagem SCL é restrita aos seguintes aspectos:

- Especificação funcional do sistema de automação da subestação descreve como os equipamentos estão conectados e quais as funções que serão utilizadas;
- Descrição das configurações dos IEDs e como estes estão conectados nas redes e sub-redes de comunicação;
- Descrição do diagrama unifilar da subestação.

Através do diagrama unifilar da Figura 3, é possível visualizar os aspectos da linguagem SCL citados acima, ilustrando algumas possibilidades para descrição do sistema.

Example T 1-1

2 Voltage Levels

D1 – 220 kV
 E1 – 132 kV

5 Bays

- 1 – D1Q1 Feeder with Transformer, CT
- 2 – E1Q2 Feeder with DIS, CBR, CT, VT
- 3 – E1Q4 Static Busbar
- 4 – E1Q1 Feeder with DIS, CBR, CT, VT
- 5 – E1Q3 Feeder with DIS, CBR, CT, VT

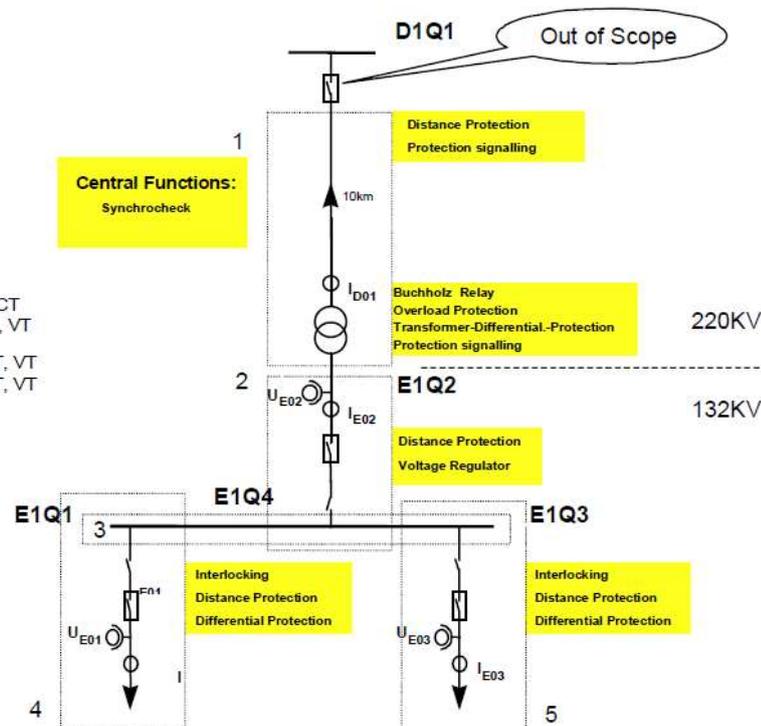


Figura 3. Exemplo T1-1 - Configuração da Subestação [4]

A linguagem SCL utiliza vários arquivos para realizar a descrição formal dos modelos, sendo composta pelos arquivos: Descrição das Características dos IEDs (*IED Capability Description - ICD*), Descrição da Especificação do Sistema (*System Specification Description - SSD*), Descrição da Configuração do Sistema (*Substation Configuration Description - SCD*) e a Descrição do IED Configurado (*Configured IED Description - CID*). Estes arquivos contem os dados da subestação, das relações dos equipamentos de manobra, das funcionalidades dos IEDs e de todos os serviços de comunicação. Os arquivos

são utilizados para a troca de informações de configurações entre ferramentas de diferentes fabricantes [9].

A Figura 4 ilustra a arquitetura de um sistema de configurações utilizando a linguagem SCL. Nesta figura observa-se uma estação de engenharia (*Engineering Workplace*) rodando o aplicativo de gerenciamento de configuração, o configurador do sistema que recebe os arquivos ICD e SSD para realizar as operações necessárias para configurar o sistema. O aplicativo de gerenciamento de configuração transfere através do *gateway* os arquivos contendo a configuração para os IEDs [9].

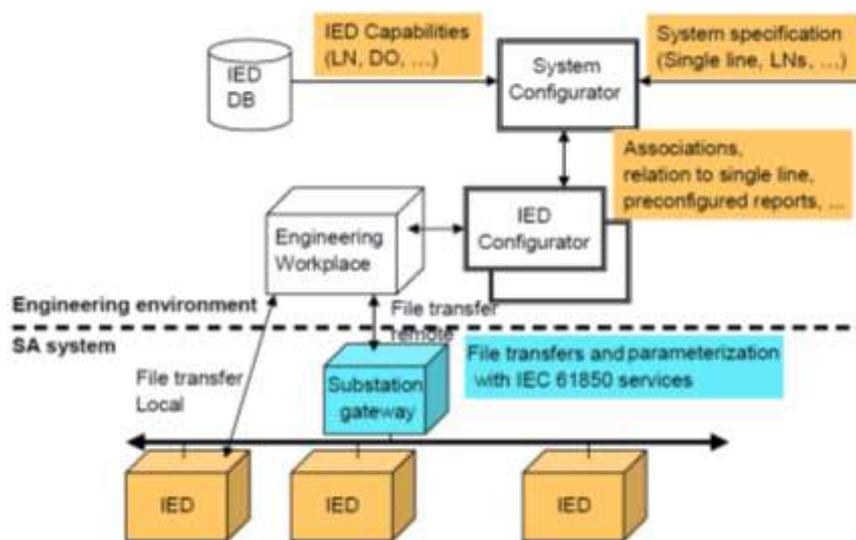


Figura 4. Arquitetura do sistema de configuração que utiliza linguagem SCL [9]

3. SOFTWARES DE CONFIGURAÇÕES E COMUNICAÇÃO

Existem diversos *software* no mercado com aplicações da norma IEC 61850, porém para este artigo será citado dois *softwares* didáticos e com disponibilidade para fazer *download* pelo *site* da SEL (*Schweitzer Engineering Laboratories*), são o *AcSELerator QuickSet* e *AcSELerator Architect*. Algumas informações relacionadas abaixo para os *softwares* foram extraídas do guia prático de instalação dos mesmos [10] e [11].

3.1. *AcSELerator Quickset*

O *software AcSELerator QuickSet* – SEL-5030 é uma poderosa ferramenta para realização de ajustes, análise de eventos e visualização de relatórios e medições fornecidas pelos IEDs da SEL. O *software* pode ser aplicado a todos os principais relés de proteção, medidores e módulos. Este *software* facilita a realização das seguintes atividades:

- Criação e gerenciamento de ajustes com regras e permitindo o desenvolvimento de ajustes *off-line*;

- Coletar, analisar e armazenar eventos de oscilografias;
- Controle de disjuntores, através de chaves remotas.

Podendo visualizar ou editar as equações lógicas de controle *SELogic* através de editores de textos ou gráficos. A Interface Homem-Máquina (IHM) permite a visualização das medições analógicas, estado de *bits*, fasores, *status* do IED, além de controle em tempo real [10].

3.2. AcSELerator Architect

O *software AcSELerator Architect* – SEL-5032 permite a edição e a programação dos parâmetros relacionados a norma IEC 61850. Este *software* possibilita a execução das seguintes tarefas:

- Criação e edição de *datasets*;
- Criação de pacotes para transmissão de mensagens GOOSE;
- Mapeamento e *links* GOOSE entre IEDs SEL e não fabricados pela SEL;
- Criação de arquivos CID;
- Leitura de arquivos de configuração da subestação (SCD, ICD e CID).

O *software* SEL-5032 pode ser aplicado a todos os relés de proteção, módulos e processadores de lógicas SEL que possuem compatibilidade com a norma IEC 61850 [11].

Os *softwares* para aplicação da norma IEC 61850 contém informações que poderá ser comparada a documentação convencional de projetos de automação. Podendo fazer uma analogia do cabo metálico com a mensagem GOOSE, a qual será vista como cabo virtual com diversas vias virtuais.

Na programação das mensagens GOOSE, cada cabo virtual é identificado por um endereço MAC virtual e recebe o “nome” (*Message Name*) e uma breve descrição de seu conteúdo (*Description*). As informações dentro do *dataset* da mensagem GOOSE representam as vias desse cabo virtual com informações de estado e medições analógicas. Nesta também é identificada a VLAN, analogamente representada por uma bandeja de cabos virtuais GOOSE, que permite que *switches* direcionem o cabo virtual somente para as portas habilitadas com os IEDs que utilizam informações contidas nele [12].

Uma ferramenta de fundamental importância para a documentação de projetos em IEC 61850 é a Lista de Pontos Recebidos via GOOSE – *GOOSE Receive Point List*. Esta lista documenta todo o projeto de “fiação virtual” entre os IEDs de proteção e controle da Subestação, substituindo o tradicional diagrama de fiação convencional. Esta lista pode ser impressa ou salva e constitui um documento importante para o projeto em IEC 61850 [12]. A proposta deste artigo é complementar esta lista com a identificação dos *switches*. Na Figura 5 apresenta alguns dados do *GOOSE Receive*.

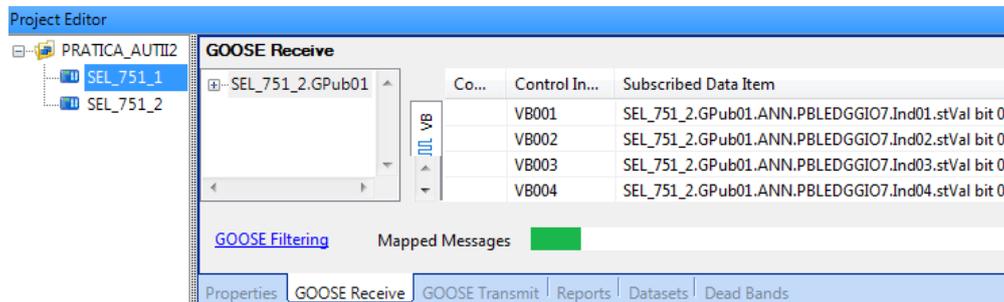


Figura 5. Software AcSELERator Architect – Print Screen – Goose Receive.

4. ESTRUTURA COMPLEMENTAR PARA PROJETOS DE AUTOMAÇÃO

Para documentação complementar dos projetos de automação de subestação executados com o uso da norma IEC 61850, será apresentada uma estrutura organizada desde numeração dos IEDs e sequência das páginas até a configuração dos IEDs.

A numeração dos IEDs será sequenciada em ordem numérica do lado de alta para o lado de baixa tensão. A numeração deve ser prevista pensando numa possível expansão da subestação com no máximo 4 linhas e 2 Trafos em paralelo. Os IEDs dos alimentadores devem começar a partir da numeração 14, prevendo uma expansão máxima de 5 alimentadores por Trafo.

- IED1, IED2, IED3 e IED4 – Linha;
- IED5 – Transferência da alta;
- IED6 – Geral de alta do Trafo 1;
- IED7 – Geral de baixa do Trafo 1;
- IED8 – Diferencial do Trafo 1;
- IED9 – Medidor contido no bay do Trafo 1;
- IED100 – IED de regulação do Trafo 1;
- IED150 – IED de temperatura do Trafo 1;
- IED14, IED15, IED16, IED17 e IED18 - Alimentadores barra 1;
- IED19 – Transferência da baixa 1;
- IED20 e IED21 – Banco de capacitores do barramento 1;
- IED31 e IED32 – IEDs de serviços auxiliares.

Um método encontrado para numerar as páginas, é utilizar uma numeração alfanumérica, conforme apresentado na Tabela 1, seguindo a mesma sequência adotada pela numeração de IEDs do lado de alta tensão para o lado de baixa tensão, desta forma facilitará a identificação do tipo de documento a ser gerado, entretanto alguns documentos como Diagrama Unifilar, Monitoramento de IEDs, Rota de Cabos e folhas Índices podem ser numeradas com algarismos arábicos com 3 dígitos.

Tabela 1. Estrutura para Projetos de Automação de Subestação

ESTRUTURA PARA PROJETO DE AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÃO		
PÁGINA	SEQUÊNCIA	DESCRIÇÃO DO TÍTULO DO DOCUMENTO
###	001, 002, 003,	Diagrama Unifilar de Proteção
###	001, 002, 003,	Monitoramento de IEDs
###	001, 002, 003,	Rota de Cabos - Planta Baixa
###	001, 002, 003,	Índice de páginas
AX	A1, A2, A3,	Lay-out - Casa de Comando (Vistas)
BX	B1, B2, B3,	Serviços Auxiliares - Entradas Digitais & Saídas Digitais
CX	C1, C2, C3,	Retificador e Bateria
DX	D1, D2, D3,	Arquitetura de Comunicação - Geral, Lista de VLANs e Lista de Cabos
EX	E1, E2, E3,	Armários - Vistas, Fiação interna, Lista de Materiais e Topográfico
FX	F1, F2, F3,	Interligação - Equipamento de campo
GX	G1, G2, G3,	Lista de Cabos - Equipamento de campo
HX	H1, H2, H3,	Bay AT - Trifilar + TCs + TP, ligações analógicas e funcional disjuntor
IX	I1, I2, I3,	Conexão Trafo AT - Trifilar + TCs + TP, ligações analógicas e funcional disjuntor
JX	J1, J2, J3,	Trifilar (ligações analógicas AT, BT e 87), funcional do trafo, funcional do CDC, EDs e SDs IED de IT, EDs e SDs IED de regulação, EDs e SDs IED diferencial
KX	K1, K2, K3,	Conexão Trafo BT - Trifilar + TCs + TP, ligações analógicas e funcional disjuntor
LX	L1, L2, L3,	DJ Transf. BT - Trifilar + TCs + TP, ligações analógicas e funcional disjuntor
MX	M1, M2, M3,	Alimentador BT - Trifilar + TCs + TP, ligações analógicas e funcional disjuntor
NX	N1, N2, N3,	Bancos - Trifilar + TCs + TP, ligações analógicas e funcional disjuntor
PX	P1, P2, P3,	Diagrama Lógico – Legenda, Lista de Comunicação de GOOSE, Diagrama Lógico e Configurações dos IEDs

Para melhor entendimento do agrupamento a ser realizado nos projetos de automação por bay da subestação, será mostrada a localização de cada conjunto no Diagrama Unifilar na Figura 6.

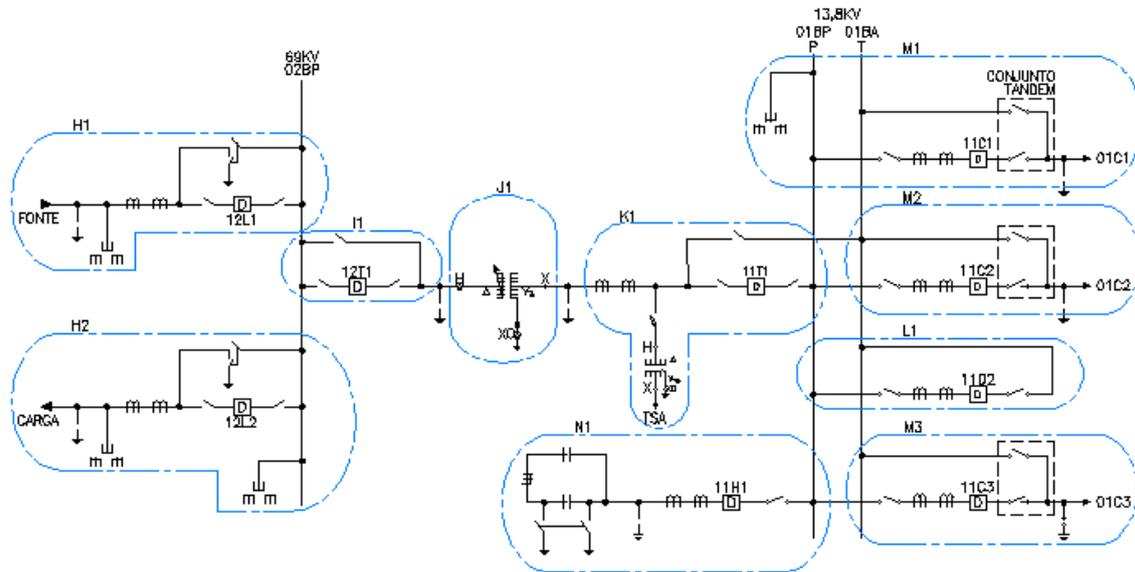


Figura 6. Diagrama Unifilar – Estrutura para numeração dos Bays.

Em subestações operadas remotamente é importante ter o monitoramento de todos os IEDs do projeto, conforme pode ser visto na Figura 7. Onde o usuário configura o autodiagnóstico do relé em um contato de saída digital (OUT) e que esta OUT seja ligado a uma entrada digital (IN) de outro relé. Desta forma, caso o sistema supervisorio perca a comunicação com algum relé, o outro informa esta falha, por conseguinte o operador saberá que se trata de uma falha física no relé e não no sistema de comunicação.

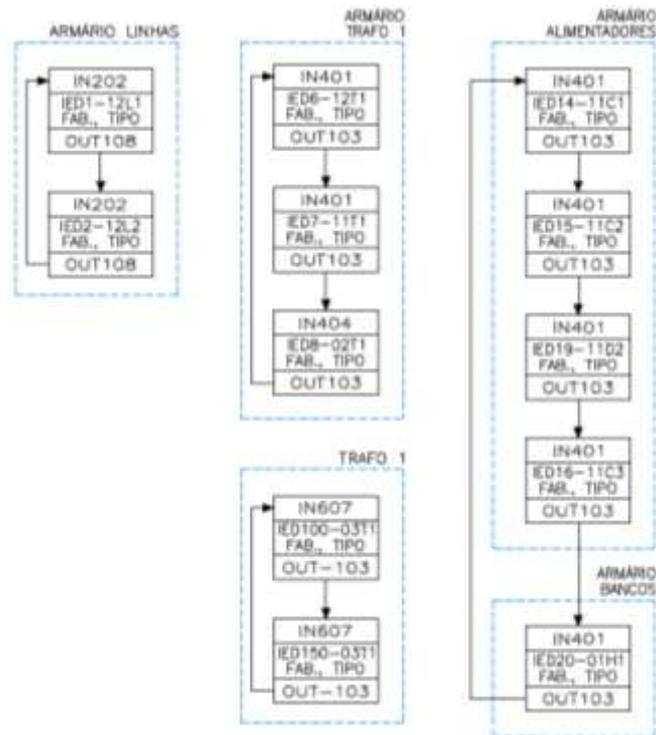


Figura 7. Monitoramento dos IEDs.

FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

A maioria dos documentos relacionados na Tabela 1 são documentos comumente adotados nos projetos de automação, porém o destaque para este artigo são os documentos que farão parte do grupo da letra PX (Diagrama Lógico), formado pela Legenda, Lista de Comunicação GOOSE e o Diagrama Lógico, onde as premissas básicas são definidas pelo Cliente.

Na Legenda constarão todos os símbolos e abreviaturas a serem utilizados no diagrama lógico, conforme pode ser visto na Figura 8.

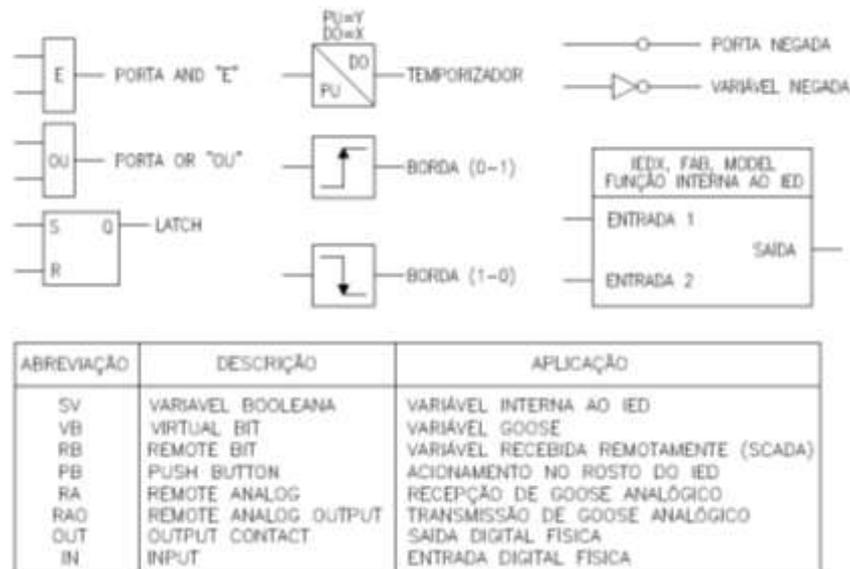


Figura 8. Diagrama Lógico - Legenda

A comunicação das mensagens GOOSE é *multicast*, possui endereços MAC de origem e de destino, podendo o endereço de destino ser utilizado por vários assinantes ao mesmo tempo. Em complementação a lista de pontos recebida via GOOSE dos *softwares*, que pode ser impressa, uma lista única poderá ser criada para acrescentar informações adicionais, tais como: campo para revisão, identificação do *bay*, identificação do *switch* e a porta associada, que poderá ser chamada de Lista de Comunicação GOOSE, conforme representada na Figura 9, estas informações servirão de bases para possíveis intervenções da equipe de configurações e da manutenção.

LISTA DE COMUNICAÇÃO GOOSE										
REV.	VLAN	BAY	SWITCH PRINC.	SWITCH BACK UP	PORTA	GOOSE	DADOS ENT.	DADOS SAÍDA	ENDEREÇO MAC	
Exemplo:	0	800	12T1	SW1_IED4	SW2_IED4	3	Goose DSet13	VB002	SVGGI03.In01.stVal	01-0C-CD-01-00-09

IDENTIFICADOR DA VLAN	IDENTIF. SWITCH PRINCIPAL	IDENTIF. SWITCH BACK UP	IDENTIF. DA PORTA DO SWITCH
TAG EQUIP. DISJUNÇÃO			
			ENDEREÇO MAC DO IED
			VARIÁVEL DE SAÍDA DO IED
			VARIÁVEL DE ENTRADA DO IED
			IDENTIF. GOOSE CONFIGURADO

Figura 9. Lista de Comunicação de GOOSE

Os IEDs possuem internamente lógicas já pré-programadas, onde cabe ao usuário selecioná-las ou criá-las durante a parametrização do IED. Estas lógicas de controle são usadas para substituir as chaves de controle/lâmpadas de sinalização do painel, relés biestáveis e eliminar fiação entre o relé e a Unidade Terminal Remota (UTR) [13]. No diagrama lógico da Figura 10, será representado a lógica para falha de disjuntor, utilizando as convenções das variáveis internas do fabricante, que neste caso são da SEL.

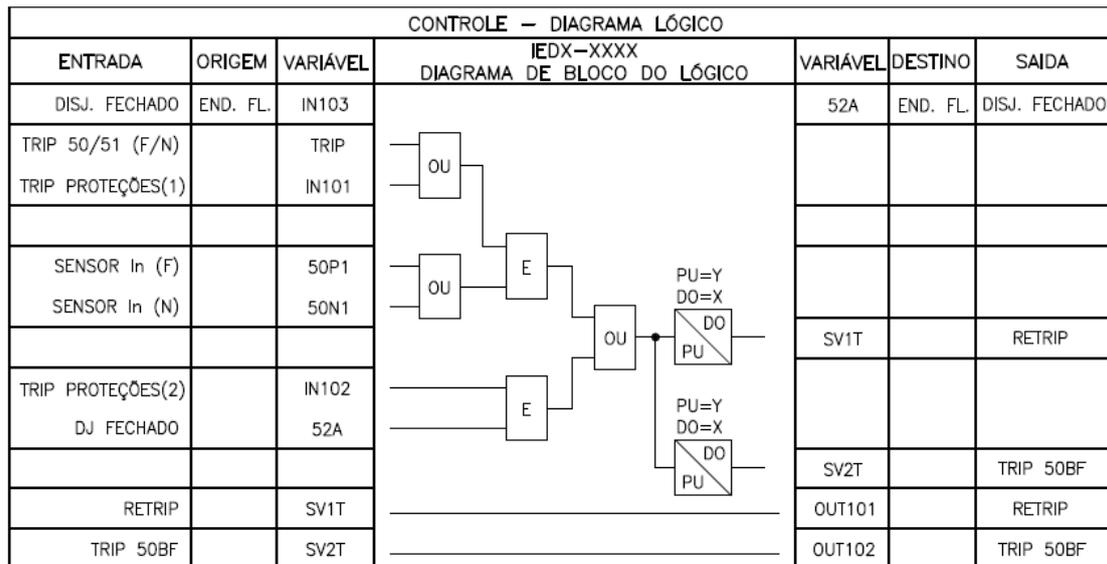


Figura 10. Diagrama Lógico - Proteção de falha de disjuntor

As equações lógicas devem esta escrita em um documento, junto ao diagrama lógico para possível consulta e/ou adequação durante o comissionamento ou manutenção. Estas equações são constituídas por variáveis lógicas que são definidos pelos fabricantes. No diagrama lógico da Figura 10 é representada a lógica para proteção de falha de disjuntor, cujas variáveis lógicas para o fabricante SEL, são as apresentadas abaixo.

$$SV1 = (TRIP+IN101)*(50P1+50N1)+IN102*52A$$

$$SV2 = SV1$$

$$OUT101 = SV1T$$

$$OUT102 = SV2T$$

$$IN103 — 52A$$

Para obter uma padronização das entradas e saídas lógicas para todos os tipos e aplicação dos IEDs no projeto, independente da sua posição na subestação, de linha, geral de alta, geral de baixa, disjuntor de transferência, alimentadores, banco de capacitores, acoplamento de barras ou serviço auxiliar é preciso padronizar as configurações. Como são muitas as aplicabilidades dos relés, nas Figuras 11 e 12 são representadas as configurações para o IED multifunção do geral de baixa (IED7-11T1) do armário de Trafo1, relacionadas

FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

com informações usuais de saída, para monitoramento e ação no Centro de Operação das subestações.

LED'S		DISPLAY	
LED1	CONTROLE HABILITADO	D1	ASF6
LED2	TRIP	D2	BSF6
LED3	50/51 FASE	D3	TEI
LED4	50/51 NEUTRO	D4	NUOP
LED5	RESERVA	D5	DCA
LED6	DISP 86BF	D6	DCF
LED7	50/62BF	D7	MOLA
LED8	DJL	D8	WATCHDOG
LED9**	RESERVA	D9	IA
LED10**	RESERVA	D10	IB
LED11**	BFDJ (DESBLOQ./BLOQ.)	D11	IC
LED12**	DJ (ABERTO/FECHADO)	D12	VA
LED13**	B51N (DESBLOQ./BLOQ.)	D13	VB
LED14**	L/R DO IED (LOCAL/REMOTO)	D14	VC
LED15**	RESERVA	D15	TID
LED16**	BTES (OPERAÇÃO/TESTE)	D16	BAY TRANSFERIDO
		D17	APP
		D18	RESERVA

TECLAS	
T1	RESERVA
T2	GRUPO
T3	BFDJ
T4	DJ (ABRIR/FECHAR)
T5	B51N
T6	L/R (IED)
T7	RESERVA
T8	BTES

** LED DO PUSH-BUTTON
 TEI - ALARME TEMPO EXCESSIVO DE INTERRUPTÕES
 NUOP - NUMERO DE OPERAÇÕES
 TID - NOME DO BAY
 APP - ALARME PERDA DE POTENCIAL
 BFDJ - FALHA DISJUNTOR

Figura 11. Configurações dos LEDs, Teclas e Display do IED multifunção.

IED MULTIFUNÇÃO	GERAL DE BAIXA	ENTRADAS ANALÓGICAS	
ENTRADAS		EA1 - Z01	IA P
ED1 - IN101	52A	EA2 - Z02	IA R
ED2 - IN102	52B	EA3 - Z03	IB P
ED3 - IN301	MOLA	EA4 - Z04	IB R
ED4 - IN302	DCA	EA5 - Z05	IC P
ED5 - IN303	DCF	EA6 - Z06	IC R
ED6 - IN304	RESERVA	EA7 - Z07	IN P
ED7 - IN401	WATCHDOG	EA8 - Z08	IN R
ED8 - IN402	ASF6	EA9 - Z09	VA
ED9 - IN403	BSF6	EA10 - Z10	VB
ED10 - IN404	DJL	EA11 - Z11	VC
ED11 - IN501	RESERVA	EA12 - Z12	N
ED12 - IN502	RESERVA		
ED13 - IN503	RESERVA		
ED14 - IN504	FHRE SWITCH		
ED15 - IN505	RESERVA		
ED16 - IN506	RESERVA		
ED17 - IN507	RESERVA		
ED18 - IN508	RESERVA		
SAÍDAS		PORTAS DE COMUNICAÇÃO	
SD1 - OUT101	RESERVA	1A (2FO LC)	SWITCH 1
SD2 - OUT102	RESERVA	1B (2FO LC)	SWITCH 2
SD3 - OUT103	WATCHDOG		
SD4 - OUT301 *	TRIP 1		
SD5 - OUT302 *	CLOSE		
SD6 - OUT303 *	OPEN		
SD7 - OUT304 *	RESERVA		
SD8 - OUT401	RESERVA		
SD9 - OUT402	RESERVA		
SD10 - OUT403	RESERVA		
SD11 - OUT404	RESERVA		

* SAÍDAS DE ALTA CAPACIDADE DE CORTE
 MOLA - MOLA DESCARREGADA
 DCA - DEFEITO CIRCUITO ABERTURA
 DCF - DEFEITO CIRCUITO FECHAMENTO
 WATCHDOG - DEFEITO INTERNO DO IED
 ASF6 - ALARME GÁS SF6
 BSF6 - DISPARO GÁS SF6
 DJL - DISJUNTOR EM LOCAL
 FHRE - FALHA DE HARDWARE DO SWITCH

Figura 12. Configurações para as Entradas e Saída, Entradas Analógicas e Portas de Comunicação do IED multifunção.

5. ARQUITETURA DE COMUNICAÇÃO

Existem vários tipos de topologia de comunicação, a escolha do tipo da arquitetura a ser adotada está diretamente ligada a vários fatores, podendo citar: desempenho da rede, disponibilidade da rede, confiabilidade e custo-benefício, além da necessidade da especificação correta dos *switches* gerenciáveis. Para verificação do desempenho da rede faz-se testes para identificar os tempos de comutação da rede, carregamento e latência em várias condições de operação [2]. Para exemplificar estes testes, algumas informações do Artigo de Bolso da SEL [14], serão inseridas neste item.

O Artigo de Bolso [13] contém ilustrações dos métodos de teste em IEDs e dispositivos de teste para verificação do desempenho de redes *ethernet* com comparações das topologias em anel, estrela dupla e em camadas (“*ladder*”) usando RSTP (*Rapid Spanning Tree*) para reconfiguração. Estas topologias usam *links backbone gigabit* de fibra óptica ao invés de porta *gigabit* de cobre. Durante os testes, verificou-se que o desempenho real da topologia em estrela dupla não era apropriado para a troca de sinais. Este desempenho era desconhecido previamente e só passou a ser conhecido com resultado direto destes testes [14].

A topologia em camadas ilustrada na Figura 13 apresentou o melhor desempenho, os IEDs são facilmente conectados em duplas no modo *failover* entre os dois *switches* de cada camada. Através dos testes realizados pela referência [14], foi possível confirmar que a topologia em camadas pode garantir um desempenho aceitável (uma reconfiguração em menos de 15 milissegundos), independente de qual par de *switches* não-raiz ocorrer a falha. Outro benefício com esta topologia é a segregação do tráfego de rede, o que reduz as preocupações de latência e saturação [14].



Figura 13. Topologia Ethernet em Camadas [13].

Observa-se ainda na Figura 13, a arquitetura é basicamente formada de *switches*, que são dispositivos inteligentes de rede e para serem aplicados na

norma IEC 61850 devem ser *switches ethernet gerenciáveis layer 2* e suportar VLANs.

Por definição a VLAN é uma rede local logicamente independente. Trata-se de uma forma de dividir uma rede local (física) em mais de uma rede virtual. As VLANs têm por objetivo separar não somente os pacotes que trafegam na rede *ethernet*, como também os domínios de acessibilidades aos usuários. Quando aplicado às mensagens GOOSE as VLANs reduz o problema do comportamento das mensagens *multicast*, que são disseminados para todas as portas do *switch*. Na Tabela 2 é sugerida uma distribuição de VLANs para as mensagens GOOSE por tipo de aplicação, para padronização nos projetos de automação de subestação.

Tabela 2. Definição de VLANS

VLAN ID	APLICAÇÃO
100	Utilizada para GOOSE na barra de 13,8 kV
200	Utilizada para GOOSE na barra de 69 kV
300	Utilizada para GOOSE na barra de 138 kV
500	Utilizada para GOOSE analógicos para controle de reativos
600	Utilizada para GOOSE de Trafo (86T, <i>trips</i> , 86BF da baixa)
700	Utilizada para GOOSE do Paralelismo
800	Utilizada para GOOSE gerais (tem em todos os IEDs)
900	Utilizada para GOOSE na barra de 34,5 kV

6. RESULTADOS

Sabe-se por hábito que os responsáveis pelo setor de automação faz as lógicas pelo conhecimento que as tens e as testas, validando as equações e configurações, mais raramente as mantem atualizadas em documentação. O que se pretende com este artigo é abolir esta prática para que todas as alterações sejam registradas, a fim de que qualquer pessoa responsável pelo projeto de automação possa consulta-la e se preciso for, modifica-la.

Tendo em vista a importância da rede de comunicação para um sistema de automação de subestações, deve-se realizar testes da arquitetura de comunicação proposta para obter a certificação da confiabilidade e qualidade do envio das mensagens antes da implementação em campo.

É esperado que a padronização sugerida atendesse inicialmente a todos os projetos de automação e que seja aplicada em várias empresas e concessionárias de energia, tornando uma referência em padrão de documentação.

7. CONCLUSÕES

A utilização da norma IEC 61850 em algumas concessionárias e empresas já é uma realidade, devido a interoperabilidade entre os equipamentos independentes da função que exerce na subestação.

A norma estabelece um conjunto de regras e procedimentos a serem seguidos para obter um equilíbrio de informações entre as Projetistas. Os *softwares* que utilizam a norma IEC 61850 já trazem documentos em forma de listas e relatórios que poderão ser impressos, porém não são suficientes para compor uma documentação completa de projetos de automação de subestação, que precisa ter outros documentos tais como: Diagrama unifilar, diagrama funcional, monitoramento de IEDs e diagramas lógicos impressos e palpável para todos envolvidos.

Neste contexto, este artigo propôs uma documentação complementar de forma estruturada para que todos os envolvidos no projeto possam acompanhar o desenvolvimento e revisão do mesmo. E estruturar a apresentação dos documentos foi a forma inicial encontrada para que todos tenham a mesma leitura dos projetos e a partir desta criar documentos que complementem a documentação já proposta pela norma, como por exemplo a criação de uma lista de comunicação GOOSE única integrando as informações dos *softwares* com as identificações dos *switches ethernet* a serem utilizados no projeto, a representação do diagrama lógico de forma simples porém didática incluindo a legenda e as equações lógicas e a padronização das configurações para os IEDs.

Outra vantagem de ter uma documentação existente da subestação, é criar a consciência de mantê-la atualizada, possibilitando a realização de manutenção preventiva evitando assim, prejuízos e risco de interrupção indesejada ao sistema.

8. REFERÊNCIAS

1 - MAGALHÃES, Felipe Lotte de Sá; SILVA, Bruno Alberto Calado; NAZARETH, Paulo Rogério Pinheiro. Proteção, Controle e Automação de Subestações com uso da Norma IEC 61850. **Revista Acadêmica Multidisciplinar**, Minas Gerais, ano 3, n.3, 2015.

2 - SOUZA, Marco Aurélio; BERNARDES, Renan Mauad. **Consolidação da Norma IEC 61850 na Automação de Sistemas**. Disponível em: <www.inatel.br/biblioteca/artigos-cientificos/2014/9330-a...iec-61850.../file>. Acesso em: 07 jul 2017.

3 - KIMURA, Sergio; ROTTA, André; Elektro Eletricidade e Serviços S.A. – ABOUD Ricardo; MORAES Rogério; ZANIRATO Eduardo; BAHIA Juliano. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. **Aplicação do IEC 61850 no Mundo Real: Projeto de Modernização de 30 Subestações Elétricas**. Disponível em: < <https://selinc.com/api/download/3511/?lang=pt>>. Acesso em: 03 out 2017.

4 - INTERNATIONAL Electrotechnical Commission. **IED 61850-6: Communication networks and systems in substations – Part 6 Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs**. Genova, 2004.

5 - ARAÚJO, M. L. P. **Proposta de Proteção de Sobrecorrente no âmbito Industrial através de Comunicação de IEDs baseados na norma IEC 61850**. 2014. 160f. Dissertação de Mestrado – Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

6 – CARVALHO, P. C. **Arquiteturas de rede ethernet de alta disponibilidade para sistemas de proteção e controle baseados na norma IEC 61850**. In: SNPTEE, 21. 23-26 out 2011. Florianópolis. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgI5AAG/gpc-xxi-snp tee-floripa-gpc-25?part=2>. Acesso em: 25 out 2017.

7 – CECHINEL et. al. **Padrão IEEE 802.1p – Priorização na camada MAC**. In: IFSC. 15 mar 2016. Campos São Paulo. Disponível em: <https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/8/85/IEEE802.1p.pdf>. Acesso em: 01 nov 2017.

8 – LOPES et. al. **Minicurso – Smart Grid e IEEE 61850: Novos desafios em Redes e Telecomunicações para o Sistema Elétrico**. 2012. Brasília. Disponível em: www.sbirt.org.br/sbirt2012/publicacoes/99346_1.pdf. Acesso em: 23 ago 2017.



FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

- 9 - GURJÃO, E. C.; CARMO, U. A.; SOUZA, B. A. **Aspectos de Comunicação da Norma IEC 61850.** Disponível em: <www.ceb5.cepel.br/arquivos/grupos.../Referencias/Sobre61850/145_SBSE_2006.pdf>. Acesso em: 05 set 2017.
- 10 - SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES - SEL. **Guia Prático Instalação e Utilização do Software SEL-5030 AcSELerator Quickset**, 2012.
- 11 - SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES - SEL. **Guia Prático Instalação e Utilização do Software SEL-5032 AcSELerator Architect**, 2012.
- 12 - FRANCO, Paulo; OLIVEIRA, Carlos; ROCHA GERALDO - Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. **Aumento da confiabilidade de esquemas de proteção e controle em IEC 61850 com o uso de Message Quality.** Disponível em: <www1.selinc.com.br/.../Aumento_da_confiabilidade_de_esquemas_de_proteção_e_controle...pdf>. Acesso em: 04 out 2017.
- 13 - SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES - SEL. **Tutorial de Diagramas Lógicos de Esquemas de Proteção e Controle.** Revisão 1.0 3. Ed., 2015.
- 14 - CHELLURI, Saroj; DOLEZILEK, David; KALRA, Amandeep. **Artigo de Bolso – Entendendo e Validando Redes Ethernet para Aplicações de Proteção, Automação e Controle de Missões Críticas.** 2015.