ROBSON GOMES DA SILVA

METODOLOGIA DE DOCUMENTAÇÃO DO PROTOCOLO GOOSE DA
NORMA IEC 61850 EM SUBESTAÇÕES

São Paulo

2021

ROBSON GOMES DA SILVA

METODOLOGIA DE DOCUMENTAÇÃO DO PROTOCOLO GOOSE DA
NORMA IEC 61850 EM SUBESTAÇÕES

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Mestre em ciências

Área de Concentração: Sistemas de Potência
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Milana Lima dos Santos

São Paulo

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação a versão original, sob a responsabilidade única do autor e com anuência de seu orientador.

São Paulo, ____ de _____ de _____

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

Catálogo-na-publicação

SILVA, ROBSON GOMES DA
METODOLOGIA DE DOCUMENTAÇÃO DO PROTOCOLO GOOSE
DA NORMA IEC 61850 EM SUBESTAÇÕES / R. G. D. SILVA -- versão corr.
-- São Paulo, 2021.

123 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.IEC 61850 2. SUBESTAÇÕES 3. PROTOCOLO GOOSE I.
Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II t

Nome: Silva, Robson Gomes da

Título: Metodologia de documentação do protocolo GOOSE da norma IEC
61850 em subestações

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Elétrica

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento:

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento:

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento:

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que com sua onipresença deu-me a força que precisava para vencer mais essa etapa da minha vida.

Agradeço aos meus pais, que com todo o sacrifício esforçaram-se em dar-me o que podiam e me transformaram no ser humano que sou.

A minha família, meu porto seguro. A minha esposa Andréia que me apoiou incansavelmente e jamais deixou de acreditar em mim. Aos meus filhos Emanuel e Winnie que mesmo pequenos colaboraram com sua paciência.

A todos os meus amigos que contribuíram com o seu conhecimento e incentivo conduzindo-me a procurar o que buscava.

Agradeço a minha orientadora, Professora Doutora Milana Lima dos Santos, pelo apoio e dedicação em me colocar no caminho do pensamento, pela paciência e por me conduzir nessa etapa final.

RESUMO

Com a adoção cada vez maior da estrutura de comunicação referenciada na norma IEC 61850, a proteção e o controle de sistemas elétricos utilizam intensamente a troca horizontal de informações entre IEDs (Dispositivos Eletrônicos Inteligentes), por meio do protocolo GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event). A utilização desse protocolo reduz consideravelmente a necessidade de interligação elétrica entre IEDs com o fim de compartilhar informações. Contudo, a anterior interligação elétrica era detalhadamente descrita em diagramas elétricos, de forma que, consultando esses diagramas, usualmente disponíveis em formato impresso, era possível rastrear e acompanhar todo o caminho percorrido pelo sinal elétrico, em caso de manutenção programada ou corretiva. A configuração da comunicação por GOOSE é expressa em arquivos de configuração de IEDs previstos na norma IEC 61850 em formato XML (eXtensible Markup Language). Apesar dos arquivos de configuração dos IEDs serem padronizados conforme a norma, suas informações não são de fácil compreensão pelo leitor humano, já que foi concebido para ser importado por um software. Este trabalho de pesquisa propõe uma metodologia de documentação das mensagens GOOSE, disponíveis nos arquivos de configurações dos IEDs, visando torná-las amigáveis aos usuários responsáveis pela operação e manutenção das subestações, uma vez que, as mesmas, são apresentadas no padrão dos projetos elétricos já utilizados atualmente, no formato DWG da Autocad.

Palavras-chave: IEC 61850, Subestações. GOOSE. Arquivos SCD. Arquivos ICD. Arquivos CID. Arquivo DWG.

ABSTRACT

With the increasing adoption of the communication structure referenced in the IEC 61850 standard, the protection and the control of electrical systems use the horizontal exchange of information between intelligent devices (IEDs); for this purpose GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) protocol is used. It considerably reduces the need for electrical interconnection among IEDs in order to share information. As the previous electrical interconnection was described in detail in electrical diagrams, it was possible, by consulting these diagrams, usually available in printed form, to track the entire path for the electrical signal for corrective maintenance. GOOSE communication configuration is expressed in IEC 61850 files in the XML (eXtensible Markup Language) format. Although IED configuration files are standardized by IEC 61850, their information is not easily understood by the human reader, because they were designed to be imported by a software. This research proposes a methodology for GOOSE messages documentation, based in the information available in the IEDs configuration files, aiming to make them friendly for the operators and maintainers of the substations. The information is present in Autocad DWG format, which is currently used in the substation projects. The final format of this documentation is integrated in usual project, such as .DWG files.

Key words: IEC 61850, Substations. GOOSE. SCD files. ICD files. CID files. DWG files.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Subestação com Relés Eletromecânicos	18
Figura 2 - Subestação com Relés Digitais	21
Figura 3 - Arquitetura de uma subestação com Relés Digitais	22
Figura 4 – Projeto Trifilar Típico.....	31
Figura 5 – Projeto Unifilar Típico	34
Figura 6 – Projeto Funcional Típico	35
Figura 7 – Projeto Lógico Típico	36
Figura 8 – Lista de Variáveis de um Projeto Lógico Típico	37
Figura 9 – Projeto Topográfico Típico.....	38
Figura 10 – Projeto Construtivo Típico.....	39
Figura 11 – Estrutura da Norma IEC 61850.....	40
Figura 12 - Conceito de Interoperabilidade.....	44
Figura 13 – Exemplo de um arquivo SCD.....	46
Figura 14 – Modelo OSI segundo Tanenbaum	48
Figura 15 – Especificação da Camada Física.....	49
Figura 16 – Frame no padrão Ethernet II.....	52
Figura 17 - Frame no padrão Ethernet 802.3.....	52
Figura 18 – Formato do endereçamento MAC.....	53
Figura 19 – Arquitetura das VLANs	54
Figura 20 – Conceito portas “ <i>Trunk</i> ” e “ <i>Edge</i> ”	55
Figura 21 – Mecanismo <i>Publisher/Subscriber</i>	56
Figura 22 – Modelo de comunicação com o GOOSE	57
Figura 23 – Modelamento de dados da norma IEC 61850	58
Figura 24 – Frame GOOSE	59
Figura 25 – Endereçamento MAC recomendado pela IEC 61850	60
Figura 26 – Tipos de <i>ethertype</i>	60
Figura 27 – Valores padrões VID e <i>Priority</i>	61
Figura 28 – Arquitetura proposta	63
Figura 29 – Foto do laboratório.....	65
Figura 30 – Imagens dos Relés	65
Figura 31 - Foto das aplicações.....	66
Figura 32 - Configuração dos pontos IEC 61850 do IED_000000002 ...	67

Figura 33 - Estrutura dos Pontos IEC 61850 do IED_000000002	68
Figura 34 - Mapeamento GOOSE IED_000000002.....	70
Figura 35 - Configuração dos DATASETs do IED_000000002	71
Figura 36 - Catálogo de pontos do IED_000000002.....	72
Figura 37 - Configuração dos pontos IEC 61850 do IED_000000006 ...	73
Figura 38 - Estrutura dos Pontos IEC 61850 do IED_000000006	74
Figura 39 - Configuração dos DATASETs do IED_000000006	75
Figura 40 - Mapeamento GOOSE IED_000000006.....	76
Figura 41 - Catálogo de pontos do IED_000000006.....	77
Figura 42 - Configuração Comunicação	79
Figura 43 - Estrutura de um LLN0	80
Figura 44 - Estrutura da Inputs	81
Figura 45 - Fluxograma básico da ferramenta	82
Figura 46 - Exemplo IED/LD/LN0 do fabricante A	83
Figura 47 - Exemplo IED/LD/LN0 do fabricante B	83
Figura 48 – Exemplo IED/LD/LN0 do fabricante C	83
Figura 49 – Exemplo IED/LD/LN0 do fabricante D	83
Figura 50 - Ambiente de desenvolvimento Delphi	86
Figura 51 - Interface da ferramenta de análise	87
Figura 52 - Botões de comando.....	88
Figura 53 - Selecionar arquivo de configuração	88
Figura 54 - Exportar arquivo ploter	89
Figura 55 - Contadores da ferramenta.....	90
Figura 56 - Comandos de seleção da ferramenta.....	90
Figura 57 - Caixa de seleção de IED	91
Figura 58 - Caixa de seleção de <i>Logical Devices</i>	91
Figura 59 - Caixa de seleção de <i>Logical Nodes</i>	92
Figura 60 – Caixa de texto com o arquivo original completo	93
Figura 61 – Caixa de texto com as informações de comunicação	93
Figura 62 – Caixa de texto com as informações dos <i>logicals nodes</i>	94
Figura 63 – Caixa de texto com as informações dos <i>datasets</i>	94
Figura 64 – Caixa de texto com as informações das inputs.....	95
Figura 65 - Análise <i>Publisher/Subscriber</i>	97
Figura 66 - Ferramenta AUTOCAD®.....	99

Figura 67 - Ambiente de colaboração On-line da Autodesk.....	102
Figura 68 - Ambiente de desenvolvimento Visual Studio.....	103
Figura 69 - Fluxograma básico da API.....	104
Figura 70 - Execução do comando NETLOAD	107
Figura 71 - Execução do comando OPENFILE	108
Figura 72 - Dados plotados no Autocad.....	109
Figura 73 – Exemplo de aplicação da metodologia	111
Figura 74 - Melhoria na apresentação dos dados.....	113
Figura 75 - Melhoria na ferramenta de análise	114
Figura 76 - Diagrama de interligação Lógico	115
Figura A. 1 - Exemplo de um arquivo PI6	118
Figura B. 1 - Função de plotagem na API	120
Figura C. 1 - Função de desenhar linha na API	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de Endereçamento.....	64
Tabela 2 – “ <i>Part Numbers</i> ” dos Equipamentos.....	64
Tabela 3 - Pontos IEC 61850 IED_000000002.....	68
Tabela 4 - Pontos IEC 61850 IED_000000006.....	74
Tabela 5 - Dados selecionados para a documentação	78
Tabela 6 - Recursos de Integração do AUTOCAD®.....	101
Tabela 7 - Dados plotáveis do GOOSE OUT.....	104
Tabela 8 - Dados plotáveis do GOOSE IN.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

100BASE-T	Padrão de redes Ethernet de 100 megabits
10BASE-T	Padrão de redes Ethernet de 10 megabits
ACSI	<i>Abstract Communication Service Interface</i>
AD	Analógico Digitais
API	<i>Application Programming Interface</i>
APPID	<i>Application Identifier</i>
ARP	<i>Address Resolution Protocol</i>
AS	<i>Address Source</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CD	<i>Collision Detection</i>
CFI	<i>Canonical Format Indicator</i>
CID	<i>Configured IED Description</i>
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i>
CSMA	<i>Carrier Sense Multiple Access</i>
DA	<i>Destination Address</i>
DLL	<i>Data Link Library</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
E1	Padrão norte-americano de comunicação digital
EPRI	<i>Electric Power Research Institute</i>
FAT	Teste de Aceitação em Fábrica
FCS	<i>Frame Check Sequence</i>
FDDI	<i>Fiber Distributed Data Interface</i>
GGIO	<i>Generic Process I/O</i>
GOOSE	<i>Generic Object Oriented Substation Event</i>
GSE	<i>Generic Substation Event</i>
GSSE	<i>Generic Substation Status Event</i>
HDLC	<i>High-Level Data Link Control</i>
ICD	<i>IED Capability Description</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IED	<i>Intelligent Electricronic Devices</i>

IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IID	<i>Instantiated IED Description</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LC	<i>Lucent Connector</i>
LD	<i>Logical Device</i>
LLC	<i>Logical Link Control</i>
LLN0	<i>Logical Node Zero</i>
LN	<i>Logical node</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MMS	<i>Manufacturing Message Specification</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PEER-TO-PEER	Característica de uma rede de computadores onde um elemento de rede funciona tanto como cliente quanto como servidor, descentralizando as funções convencionais de rede.
PPP	<i>Point-to-Point Protocol</i>
RS-232	Método assíncrono de comunicação serial
QoS	<i>Quality of Service</i>
SCD	<i>Substation Configuration Description</i>
SCL	<i>Substation Configuration Language</i>
SDK	<i>Software development kit</i>
SE	Subestação de Energia
SED	<i>System Exchange Description</i>
SONET	<i>Synchronous optical networking</i>
SSD	<i>System Specification Description</i>
ST	<i>Straight Tip</i>
SV	<i>Sampled Values</i>
T1	Padrão europeu de linha telefônica digital
TAC	Teste de Aceitação em Campo
TAF	Teste de Aceitação em Fábrica
TC	Transformador de Corrente
TCI	<i>Tag Control Information</i>

TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TF	Transformador de Força
TP	Transformador de Potencial
UCA	<i>Utility Communications Architecture</i>
UP	<i>User Priority</i>
UTP	<i>Unshield Twisted Pair</i>
V.34	É um padrão de telecomunicações para transmissão de dados síncrona/assíncrona, full-duplex, por ligação de dois fios.
V.35	Método de transmissão de Dados em 48 Kbps Utilizando Circuitos Group Band de 60-108 KHz.
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	SURGIMENTO DA IEC 61850	21
1.1.1	Manutenção antes da norma IEC 61850	22
1.1.2	Manutenção depois da norma IEC 61850	23
1.2	MOTIVAÇÃO / JUSTIFICAVA	24
1.3	CONTEXTUALIZAÇÃO / OBJETIVO	25
1.3.1	Subestações de Energia	25
1.3.2	IED - Intelligent Electronic Device	25
1.3.3	Metodologia proposta nesta pesquisa	25
1.4	ESTADO DA ARTE	26
1.5	ORGANIZAÇÃO	28
2.	DOCUMENTAÇÃO TÍPICA DE UMA SUBESTAÇÃO	30
2.1	DIAGRAMA TRIFILAR	30
2.2	DIAGRAMA UNIFILAR	30
2.3	DIAGRAMA FUNCIONAL.....	32
2.4	DIAGRAMA LÓGICO	32
2.5	DIAGRAMA CONSTRUTIVO E TOPOGRÁFICO	33
3.	NORMA IEC 61850	40
3.1	HISTÓRICO	40
3.1.1	IEC 61850-1	41
3.1.2	IEC 61850-2	41
3.1.3	IEC 61850-3	41
3.1.4	IEC 61850-4	41
3.1.5	IEC 61850-5	41
3.1.6	IEC 61850-6	41
3.1.7	IEC 61850-7	42

3.1.8	IEC 61850-8	42
3.1.9	IEC 61850-9	42
3.1.10	IEC 61850-10	42
3.2	INTEROPERABILIDADE	42
3.3	LINGUAGEM SCL	43
3.3.1	Padrão XML	45
3.3.2	Tipos de arquivos SCL previstos na norma	45
3.4	ESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO PREVISTA NA NORMA ...	48
3.4.1	Camadas 1 e 2 do modelo de camadas OSI	48
3.4.2	Padrão Ethernet – IEEE 802.3	50
3.4.3	LANs Virtuais	54
3.4.4	GSE (Generic Substation Events)	55
3.4.5	GOOSE (<i>Generic Object Oriented Substation Events</i>)	57
3.4.6	Aplicação do protocolo	61
4.	METODOLOGIA PROPOSTA	62
4.1	ARQUITETURA EXEMPLO PROPOSTA	62
4.2	Laboratório de teste	64
4.2.1	Configuração do IED_000000002	66
4.2.2	Configuração do IED_000000006	72
4.2.3	Preparação da documentação	77
4.3	VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA - SOFTWARE DE ANÁLISE	81
4.3.1	Ambiente de desenvolvimento	84
4.3.2	Desenvolvimento do código	85
4.4	RECURSO DE INTEGRAÇÃO COM O AUTOCAD®	95
4.4.1	O software AUTOCAD®	96
4.4.2	Desenvolvimento da integração	100
5.	RESULTADOS OBTIDOS	110

6.	CONCLUSÃO	112
6.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	112

1. INTRODUÇÃO

Essa pesquisa nasce em um contexto onde os projetos de proteção, automação e controle de subestações de energia sofrem uma reformulação e, por isso, visa apresentar uma metodologia para a documentação de um dos protocolos utilizados nesse novo contexto, o protocolo GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) que, será detalhado no decorrer desse trabalho. Essa reformulação altera os projetos elétricos, funcionais e lógicos que são alguns dos documentos pertinentes à instalação, operação e manutenção de subestações de energia elétrica. A esses, juntam-se outros documentos, tais como projetos construtivos, planta baixa, documentação técnica de equipamentos, entre outros.

Toda essa documentação foi pensada para a arquitetura das subestações anterior ao surgimento da norma IEC 61850 (IEC 61850, 2003), ou seja, uma arquitetura de componentes discretos, na qual as trocas de informação entre dispositivos de comando e proteção são realizadas por meio de fios com sinais de tensão, e, por isso, podem ser verificadas por instrumentos de medição elétrica. A Figura 1 mostra uma subestação com relés de proteção eletromecânicos, transferências de trips, bloqueios de fechamento, intertravamentos, e demais funcionalidades eram planejadas considerando as interligações elétricas necessárias.

Figura 1 – Subestação com Relés Eletromecânicos

Fonte: Acervo pessoal

As primeiras subestações de energia possuíam seu sistema de proteção e controle baseado em equipamentos eletromecânicos. Os primeiros relés eletromecânicos desenvolvidos com finalidades específicas para atuações pela variação de alguma grandeza elétrica eram baseados na atuação de forças produzidas pela interação eletromagnética entre as correntes e o fluxo magnético sobre um condutor móvel. Este era constituído por um disco ou um cilindro, como se fosse um motor.

A expansão, o aumento da complexidade e a mudança das características das cargas no SEP (Sistema Elétrico de Potência) moderno causaram um aumento da necessidade de um sistema de proteção cada vez mais confiável e seguro. Consequentemente houve a necessidade do aumento da velocidade e a inclusão de sofisticadas características nos relés de proteção. Nesse sentido, com o desenvolvimento dos componentes semicondutores, iniciou-se o projeto de relés de proteção mais rápidos que utilizavam componentes discretos ou integrados, ao contrário dos eletromecânicos que aplicavam componentes mecânicos.

Além do aumento de velocidade na tomada de decisão, a implantação destes novos equipamentos eletrônicos possibilitou a diminuição do espaço físico das cabines de proteção nas subestações, uma vez que, onde era necessária a utilização de diversos relés eletromecânicos, passou-se a utilizar um único relé, como uma proteção de sobrecorrente, por exemplo. Além disso, houve o aumento da flexibilidade nas filosofias de proteção e a alteração das características pelo ajuste dos elementos lógicos. Todavia, estes dispositivos apresentavam alguns problemas em relação ao ambiente de instalação, uma vez que a capacidade de tolerância à temperatura e à umidade era limitada, além da necessidade de fonte extra de suprimento de energia, induzindo a implantação de sistemas adicionais de alimentação.

Com a larga utilização de microprocessadores, os relés de proteção sofreram uma grande evolução, tanto nos aspectos construtivos quanto no seu funcionamento, o que possibilitou um aumento considerável no desempenho e na confiabilidade dos sistemas de proteção.

Os relés microprocessados ou numéricos, assim como os eletromecânicos, usam correntes e tensões provenientes do SEP como sinais de entrada. Contudo os algoritmos necessitam da representação digital dos

mesmos, ou seja, que os sinais analógicos sejam amostrados e condicionados para o início do processamento do relé, e isso só se tornou possível através da utilização dos conversores AD (analógicos digitais).

Além dos relés microprocessados, os microprocessadores possibilitaram a criação das UTRs (Unidades Terminais Remotas) para realizar a interface entre os sinais disponíveis nas subestações e os sistemas de controle. Inicialmente as UTRs coletavam sinais digitais e analógicos através de cartões de entradas e controlavam equipamentos através de cartões de saídas.

Com o surgimento dos relés microprocessados e das UTRs, surge também a possibilidade de estabelecer uma forma desses equipamentos se comunicarem, inicialmente através de protocolos seriais, muitas vezes proprietários. Essas novas funcionalidades foram inseridas nos equipamentos conforme eles evoluíam.

A partir dos anos 2000, melhorias nas tecnologias de rede mudaram drasticamente o entendimento do que é viável para a automação de subestações. Tecnologias como Ethernet (IEEE 802.3), roteamento, TCP / IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*), redes de longa distância e de alta velocidade, bem como computadores de alto desempenho e baixo custo forneceram recursos que mal poderiam ser imaginados quando os primeiros protocolos de automação de subestações foram projetados. A Figura 2 ilustra uma subestação com relés de proteção digital, também conhecidos como IEDs (*Intelligent Electronic Device*).

Projetos elétricos de subestações nesse novo conceito exigem novas informações para que as equipes de manutenção e operação das subestações possam atuar de forma segura e eficaz.

A metodologia de documentação aqui proposta inclui a análise dos arquivos SCLs de forma fácil e intuitiva, para identificar a origem e o destino das mensagens GOOSE de todos os IEDs da subestação. Além da análise, a metodologia apresenta uma forma de integrar as informações do protocolo GOOSE na documentação atual das subestações, utilizando um recurso do software de análise e um recurso do software AUTOCAD®, que possui sua utilização em larga escala nos projetos elétricos das subestações.

Com essa metodologia é criada uma documentação similar a um projeto funcional, que pode se denominar “Projeto Funcional Digital”, do qual constam todas as informações a respeito da configuração do protocolo GOOSE.

Essa documentação integrada torna a verificação das lógicas mais simples e acessível às equipes de manutenção e operação e reduz a chance de erros na manutenção, ou mesmo na modernização gradativa das subestações pré-IEC 61850.

Figura 2 - Subestação com Relés Digitais

Fonte: <https://selinc.com/pt/products-section/protective-relays/>

1.1 SURGIMENTO DA IEC 61850

A fim de consolidar a aplicação dessas tecnologias, a IEC (*International Electrotechnical Commission*) desenvolveu e lançou um novo padrão global para automação de subestações chamado IEC 61850: um conceito de modelo virtual compreendendo dispositivos físicos e lógicos que inclui um conjunto de serviços de comunicações padronizados.

A norma IEC 61850 inclui novos serviços para suportar dispositivos autodescritivos e troca de dados peer-to-peer orientada a objeto, trazendo grandes benefícios, entre eles a redução de custos. A linguagem de configuração

da subestação apresentada na IEC 61850 permite padronizar a configuração da subestação, transformando a forma de se pensar a sua automação.

Outra funcionalidade introduzida com a norma é a comunicação horizontal entre os IEDs, por meio do protocolo GOOSE.

A utilização do protocolo GOOSE nos remete a dois pontos fundamentais da automação de subestações: a realização de manutenção e sua ampliação. Há uma grande diferença entre o tipo de intervenção realizada nas subestações antes e depois da norma. A Figura 3 ilustra uma arquitetura de rede exemplo de uma subestação com IEDs, onde são utilizados protocolos de comunicação vertical e horizontal.

Figura 3 - Arquitetura de uma subestação com Relés Digitais

Fonte: Acervo pessoal

1.1.1 Manutenção antes da norma IEC 61850

Nas subestações pré-IEC 61850, quando uma intervenção em um dispositivo era necessária para fins de manutenção ou ampliação, eram consultados os projetos elétricos, funcionais e lógicos, para identificar quais dispositivos seriam afetados na respectiva intervenção. Em outro exemplo, para atestar o correto funcionamento de uma lógica, na qual um dispositivo de proteção envia ordem de abertura para outros dispositivos — como no esquema

de falha de disjuntor adjacente —, era necessário identificar a integridade de ligação elétrica entre os dispositivos, descrita nos diagramas de projeto.

Todo esse trabalho exigia uma grande quantidade de horas dos profissionais que atuavam nas subestações, exigindo inclusive, a atuação de mais de um profissional. Além disso, havia também um risco constante por os profissionais estarem expostos aos sinais elétricos disponíveis nos cabos de sinais.

1.1.2 Manutenção depois da norma IEC 61850

Quando as subestações possuem uma arquitetura de automação baseada na norma IEC 61850, mais especificamente utilizando o protocolo GOOSE, as intervenções de manutenção ou ampliação exigem não somente uma análise física dos IEDs afetados, mas também uma análise lógica, devido a possível troca de informações horizontal entre eles.

Para que as trocas de informação por GOOSE, e as consequentes execuções de lógicas e algoritmos de proteção, sejam executadas de maneira adequada, cada IED recebe uma configuração, por meio de um software proprietário, na qual são indicados os conjuntos de dados (datasets) que serão utilizados nas respectivas execuções.

Conforme descrito na parte 6 da norma IEC 61850, a configuração detalhada do GOOSE, bem como outras informações relevantes da subestação e dos IEDs, podem ser exportadas em um arquivo texto no formato XML (*Extensible Markup Language*) que usa a linguagem SCL (*System Configuration Description Language*). Estes arquivos SCL podem ser importados em softwares de outros fabricantes, de forma a permitir que as configurações de todos os dispositivos estejam compatíveis entre si.

Contudo, a disposição das informações neste arquivo, pensada de forma a organizar entidades diferentes, com vários atributos opcionais e de formatos distintos, não são muito adequadas ao entendimento humano, principalmente em um momento de emergência. Em caso de necessidade de se verificar as informações entre os dispositivos estão realmente sendo enviadas, é necessário acessar o arquivo SCL (normalmente armazenado de forma eletrônica) e procurar essa informação de forma bastante meticulosa, o que pode não ser

viável em uma manutenção corretiva ou na busca de causas de falha de operação, por exemplo.

1.2 MOTIVAÇÃO / JUSTIFICAVA

A motivação desse trabalho é baseada na utilização cada vez mais comum dos padrões estabelecidos na norma IEC 61850 (IEC 61850, 2003), onde os sistemas de proteção e controle das subestações de energia elétrica utilizam o protocolo GOOSE para trocar informações. A utilização desse protocolo traz benefícios, pois reduz consideravelmente a necessidade de interligação elétrica entre IEDs, uma vez que, as informações são trocadas através do protocolo em questão. Entretanto, nas subestações onde não se aplica o padrão IEC 61850 existem, de forma detalhada, diagramas elétricos que, ao serem consultados permitem rastrear e acompanhar todo o caminho percorrido por um sinal elétrico, em caso de manutenção programada ou corretiva. Com a implantação do padrão IEC 61850 houve a necessidade de reformular esses diagramas que, além de possuir informações de conexões elétricas passaram também a possuir informações lógicas, mostrando o caminho que um sinal lógico percorre da sua origem até o seu destino.

Esses sinais lógicos são enviados de um dispositivo para outro através do protocolo GOOSE e todas as informações sobre o caminho lógico estão expressas em arquivos de configuração, podendo ser no formato SCD (*Substation Configuration Description*, em formato XML), ou outro. Essas informações do caminho que o sinal percorre que estão no arquivo de configuração precisam ser documentadas em um projeto para que qualquer equipe que necessite intervir na subestação saiba exatamente quais equipamentos serão afetados pela intervenção. Apesar dos arquivos de configuração serem padronizados conforme a norma IEC 61850, as informações nele disponíveis não são de fácil absorção pelo leitor humano, já que o mesmo foi concebido para ser importado por um software. Esse projeto de pesquisa propõe a confecção de uma documentação amigável desses sinais lógicos e por consequência os seus caminhos, a partir dos arquivos de configuração previstos na norma IEC 61850, e que essa documentação seja integrada aos diagramas lógicos e funcionais existentes na subestação.

1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO / OBJETIVO

1.3.1 Subestações de Energia

As subestações de energia são compostas de máquinas, equipamentos e circuitos cuja finalidade é modificar os níveis de tensão e corrente, alterar direção de fluxos de potência, prover compensação reativa, entre outros serviços, permitindo a distribuição de energia a sistemas e linhas diversos. Dentre os equipamentos contidos em uma subestação, destacam-se os IED, TC (transformadores de corrente), TP (transformadores de potencial) e TF (transformadores de força).

Segundo (MCDONALD, 2016), existem quatro tipos principais de subestações elétricas. As primeiras são as que conectam geradores à rede elétrica e também fornecem energia para determinada planta industrial. O segundo é conhecido como a subestação do cliente. O terceiro tipo de subestação envolve uma transferência de grande escala de energia por uma rede de transmissão, também conhecido como estação de comutação. O quarto e último tipo de subestação é a de distribuição, que é o tipo mais comum em sistemas de energia elétrica.

1.3.2 IED - Intelligent Electronic Device

IED ou “Dispositivo Eletrônico Inteligente”, na tradução literal, é um termo usado no mercado elétrico para descrever equipamentos baseados em microprocessadores. Entretanto, o termo é mais usual quando se trata de equipamentos, tais como, relés de proteção, unidades terminais remotas, medidores, controladores, entre outros.

1.3.3 Metodologia proposta nesta pesquisa

É fundamental para a correta operação dos equipamentos mencionados nos itens 1.3.1 e 1.3.2 a existência de uma série de documentos, os quais mostram como esses devem funcionar. Esse conjunto de documentos é comumente chamado de projeto elétrico: composto de, desde diagramas de conexões eletro/mecânicas, até descritivos de funcionamento de equipamentos. Com a evolução dos equipamentos de proteção e controle de subestação para a utilização de redes de computadores, passou-se a ser necessária a inclusão de novas informações, agora de caráter lógico, nesses projetos. A metodologia

aqui proposta vem ao encontro de atender uma parte desse novo cenário, pois visa propor uma forma de inserir as informações do protocolo GOOSE da norma IEC 61850 no projeto elétrico das subestações, considerando o padrão de projeto já utilizado atualmente.

1.4 ESTADO DA ARTE

A norma IEC 61850 é tema de pesquisa científica desde a sua criação e é aplicada no Brasil desde o início dos anos 2000. A seguir são apresentadas algumas linhas de pesquisas sobre a norma.

No trabalho de (VICENTE, 2011), foi pesquisada a aplicação da norma IEC 61850 em subestações compartilhadas entre a transmissão e a distribuição de energia elétrica. O trabalho propõe utilizar recursos previstos na norma IEC 61850 para a troca padronizada de informações entre os agentes, visando substituir sinais elétricos por sinais lógicos. Sua proposta é facilitar a troca de informações quando uma subestação possui mais de um proprietário, ou seja, onde muitos equipamentos são compartilhados.

No trabalho de (NETTO, 2012), foi estudado um parâmetro para monitoramento do desempenho de mensagens GOOSE do padrão IEC61850. O autor enfatiza que a confiabilidade do sistema de proteção passou a depender da rede de comunicação de dados. Diante disso o autor propõe o uso de um serviço de priorização de pacotes QoS (Quality of Service) e a ocupação da banda dos IEDs para determinar um parâmetro que garanta o desempenho das mensagens GOOSE em uma rede IEC61850.

No trabalho de (ASSIS SEGUNDO, 2014), o autor aborda uma metodologia para a criação de um mapa para a validação de mensagens GOOSE. No seu estudo ele apresenta uma forma de criar uma tabela com todas as mensagens GOOSE que estão sendo utilizadas em uma subestação. De posse desse mapa é possível se utilizar de um software de monitoramento de redes para saber se as mensagens GOOSE estão trafegando de forma correta. Além disso, o autor destaca que utilizando essa metodologia é possível facilitar a capacitação de profissionais que atuam na área de subestações. Vale ressaltar que a criação desse mapa é uma tarefa manual, ou seja, um profissional precisa inserir todos os dados na tabela.

No trabalho de (FONTES, 2015), foi tratado um projeto de plataforma didática compatível com a norma IEC 61850 para comissionamento de sistema digital de controle e proteção de subestação de energia elétrica. A ideia do autor foi desenvolver uma plataforma de testes em forma de protótipo, com o intuito de disseminar o conhecimento de aplicações de proteção em IEC 61850. Ele utiliza equipamentos e softwares comumente utilizados por profissionais do setor, e através de configurações definidas é possível realizar os testes e validação de aplicação da norma IEC 61850 em laboratório.

No trabalho de (LEÓN, 2015), foi apresentada uma modelagem de dispositivos eletrônicos inteligentes para barramento de processos baseado na norma IEC 61850. O autor aborda um outro ponto da norma, que é o barramento de processo, ou seja, ele propõe o modelamento dos IEDs que utilizam o protocolo *Sampled Value* para transmissão de dados analógicos em uma rede IEC61850. Esse protocolo não foi objeto de pesquisa no trabalho aqui proposto, mas é compreendido que a metodologia de documentação também possa ser aplicada a ele, conforme exposto na seção “Trabalhos futuros” desta dissertação.

Entre os trabalhos pesquisados, o trabalho de (ASSIS SEGUNDO, 2014), é o que mais se assemelha a metodologia apresentada nessa pesquisa. A diferença é que a metodologia aqui apresentada visa a utilização dos dados de mensagens GOOSE já disponíveis nos arquivos de configurações das subestações e a sua apresentação no padrão atual dos projetos das subestações, o padrão DWG da Autocad, enquanto no trabalho de (ASSIS SEGUNDO, 2014) é utilizado uma planilha padronizada. Outra diferença é que ao utilizar os dados de mensagens GOOSE já disponíveis nos arquivos de configuração, são evitados os possíveis erros de digitação ocorridos quando é necessária a inserção de dados manuais. Um ponto de convergência é que ambas as metodologias podem contribuir com a capacitação de profissionais que atuam na área de automação de subestações.

1.5 ORGANIZAÇÃO

Esse trabalho está organizado da seguinte forma:

- Capítulo 1. Introdução;
- O Capítulo 1 aborda o que é um projeto elétrico de uma subestação de energia e do que ele é composto. Aborda resumidamente o surgimento da norma IEC 61850 e suas características principais. Introduz também detalhes sobre redes de computadores e como elas são aplicadas em subestações. Descreve o objetivo desse trabalho de pesquisa, incluindo sua justificativa, contextualização e organização. Além disso também é apresentado uma revisão da literatura, ou seja, o estado da arte apontando como está a pesquisa sobre o tema aqui abordado, entre vários pesquisadores.
- Capítulo 2. Documentação típica de uma subestação;
- O Capítulo 2 apresenta uma documentação tipicamente utilizada hoje pelos responsáveis pela operação e manutenção de subestações. Apresenta um projeto elétrico típico e sua composição, tal como, projeto funcional, lógica, unifilar, etc.
- Capítulo 3. Norma IEC 61850;
- O Capítulo 3 apresenta a norma IEC 61850, abordando um breve histórico e as suas 10 partes básicas de forma resumida. Além disso, detalha as partes 6 e 7, que contém as informações foco da metodologia proposta nessa pesquisa.
- Capítulo 4. Metodologia de documentação proposta;
- O capítulo 4 detalha a metodologia proposta nessa pesquisa. Apresenta uma arquitetura proposta para teste, bem como um laboratório que visa validar a metodologia, informando todos os equipamentos utilizados para tal validação.
- Capítulo 5. Validação da metodologia - Ferramenta de análise

O Capítulo 5 apresenta uma ferramenta de análise que foi desenvolvida como fruto da pesquisa da metodologia. Essa ferramenta visa auxiliar na análise das informações propostas pela metodologia para serem documentadas. Detalha como a ferramenta foi construída, seu ambiente de desenvolvimento, fluxogramas principais, funcionamento, etc.

- Capítulo 6. Recurso de integração com o AUTOCAD®;
O capítulo 6 aborda o recurso de integração da documentação com o software AUTOCAD®. Esse recurso é parte fundamental da pesquisa, pois, de maneira geral os projetos elétricos de uma subestação são desenvolvidos ou disponibilizados no formato do AUTOCAD®. Nesse capítulo é detalhado como funciona o recurso de integração e as ferramentas para desenvolvê-lo.
- Capítulo 7. Resultado Obtido;
O Capítulo 7 apresenta os resultados obtidos com a aplicação da metodologia e apresenta um produto, que é a documentação do protocolo GOOSE já no padrão do AUTOCAD®.
- Capítulo 8. Conclusão.
O Capítulo 8 apresenta as conclusões do trabalho, mostrando que é possível criar uma documentação do protocolo GOOSE da norma IEC 61850 capaz de se integrar ao padrão de documentação hoje utilizada nos projetos elétricos de subestações.

2. DOCUMENTAÇÃO TÍPICA DE UMA SUBESTAÇÃO

As subestações de energia possuem um tipo de documentação que diz respeito a toda sua parte elétrica, denominada projeto elétrico da subestação. Dentro desse projeto constam subprojetos, que são comumente denominados, Projeto Trifilar, Projeto Unifilar, Projeto Funcional, Projeto Construtivo, Projeto Lógico, Projeto Topográfico, Projeto de Interligação, entre outros. Cada um desses subprojetos possui particularidades específicas, e em conjunto, permitem que os responsáveis pela subestação entendam todo o seu funcionamento.

Antes das digitalizações das subestações todos os sinais transmitidos nas subestações eram sinais analógicos ou discretos e, portanto, as informações de conexão entre esses sinais constavam no projeto funcional. As Figuras de Figura 4 a Figura 10 mostram um exemplo do projeto elétrico atualmente utilizado em subestações de energia.

2.1 DIAGRAMA TRIFILAR

O diagrama trifilar detalha todo o arranjo da subestação. Ele é responsável, por exemplo, por detalhar cada uma das fases e o lado das fontes de alimentação, as características e posições dos transformadores de potencial e de corrente, incluindo sua polaridade. Detalha os transformadores de força, disjuntores, chaves seccionadoras, para-raios, banco de capacitores, reatores, caixas de interligação de equipamentos, entre outros detalhes. Quando se trata das características elétricas das subestações, ter-se um diagrama trifilar adequado é fundamental. A Figura 4 ilustra uma página exemplo de um diagrama trifilar.

2.2 DIAGRAMA UNIFILAR

Os diagramas unifilares são a versão compacta dos diagramas trifilares, sua função é de mostrar de forma macro o arranjo da subestação. O diagrama unifilar é uma importante ferramenta da equipe de manutenção e operação.

A horizontal number line with three tick marks. The first tick mark is at the left end. The second tick mark is labeled '4'. The third tick mark is labeled '5'. The segment between the first and second tick marks is labeled '4'. The segment between the second and third tick marks is labeled '5'.

Ao contrário do diagrama trifilar que apresenta de forma detalhada a conexão elétrica de cada equipamento da subestação, o diagrama unifilar tem por função mostrar toda a subestação, permitindo que quem a analise seja capaz de visualizar todos os circuitos e equipamentos envolvidos em um evento de falha, por exemplo.

Para as empresas que trabalham com projetos elétricos de subestações, o diagrama unifilar é a pedra fundamental para seus projetos, inclusive para a construção de painéis de proteção e controle.

A Figura 5 ilustra um diagrama unifilar de uma subestação real. Nela é possível ver desde a entrada de linha, passando pelos transformadores de força, até a saída das linhas. Nota-se que, ao olhar para o unifilar, já é possível saber onde se encontram os disjuntores, as seccionadoras, os transformadores de força, para-raios, etc. Nesse, em específico, destacam-se até as funções de proteção e controle de cada vão da subestação.

2.3 DIAGRAMA FUNCIONAL

Os diagramas funcionais descrevem as conexões físicas, internas e externas de painéis de proteção, controle e serviços auxiliares, por exemplo. Além disso, eles são responsáveis por indicar todas as interfaces que determinado painel possui com outros painéis.

A Figura 6 ilustra uma única página simplificada de um projeto funcional. Ele normalmente é um projeto extenso, porque precisa documentar todas as conexões elétricas dos painéis.

No exemplo apresentado na Figura 6 é mostrado uma página que destaca a conexão elétrica dos sinais disponíveis de um disjuntor a um relé de proteção e controle.

2.4 DIAGRAMA LÓGICO

Outro subprojeto do projeto elétrico é o projeto ou diagrama lógico. O diagrama lógico apresenta diagramas de blocos referentes às decisões e automatismos definidos para a subestação, resultando em comandos de abertura e fechamento de chaves e disjuntores, intertravamentos e bloqueios, entre outros. Frequentemente, esses diagramas incluem dados que são enviados ou recebidos de outros IEDs. Se esses dados forem compartilhados de

forma elétrica, serão abordados no diagrama funcional. Se forem comunicados por protocolo de comunicação, tal como, GOOSE, serão detalhados no projeto lógico. Há um certo rastreamento do caminho dos dados, mas não de maneira completa, pois essa conexão lógica é feita por meio dos softwares de configuração dos IEDs. A Figura 7, ilustra uma folha simplificada de um projeto lógico, nela é possível observar os blocos lógicos “E”, “OU”, “FLIPFLOP”, etc. Além disso, é possível notar os comandos envolvidos, os nomes das variáveis lógicas e as páginas envolvidas nas lógicas.

Como mencionado no parágrafo anterior, no projeto lógico constam os nomes das variáveis lógicas, as quais são responsáveis pelos sinais de entrada e saída em um projeto lógico e normalmente estão também disponíveis em uma lista de variáveis, conforme ilustrado na Figura 8.

2.5 DIAGRAMA CONSTRUTIVO E TOPOGRÁFICO

Os projetos construtivo e topográfico, apresentados nas Figura 9 e Figura 10 são responsáveis por detalhar a parte mecânica dos painéis de automação, proteção e controle, sendo de extrema importância para as equipes de manutenção e engenharia, uma vez que são utilizados para realização de intervenções e ampliações no sistema de automação, proteção e controle.

Figura 5 – Projeto Unifilar Típico

Fonte: Acervo Pessoal

Figura 6 – Projeto Funcional Típico

Fonte: Acervo Pessoal

Figura 7 – Projeto Lógico Típico

Fonte: Acervo Pessoal

Figura 8 – Lista de Variáveis de um Projeto Lógico Típico

1 2 3 4 5 6 7 8							
1A	PPG - PROTEÇÃO GERAL 69KV						
	R_52_1 - LISTA DE VARIÁVEIS INTERNAS						
A	TAG	DESCRIÇÃO	ORIGEM	DESTINO	FOLHA ORIGEM	FOLHA DESTINO	
	VI5501	TC 69KV - LT1 FASE V	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/55.A7	/56.B1	
B	VI5502	TC 69KV - LT1 FASE A	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/55.A7	/56.B1	
	VI5503	TC 69KV - LT1 FASE B	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/55.B7	/56.B1	
C	VI5504	TC 69KV - LT1 NEUTRO	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/55.B7	/56.B1	
	VI5505	TP 69KV - BARRA FASE V	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/55.B7	/56.C1	
D	VI5506	TP 69KV - BARRA FASE A	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/55.C7	/56.C1	
	VI5507	TP 69KV - BARRA FASE B	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/55.C7	/56.C1	
E	VI5508	CANAL DE TENSÃO (RESERVA)	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/55.C7		
	VI5601	SECCIONADORA 29-1 ABERTA	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/56.A7	/59.A1	
F	VI5602	SECCIONADORA 29-1 FECHADA	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/56.A7	/59.B1	
	VI5603	SECCIONADORA 29-2 ABERTA	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/56.B7	/59.D1	
G	VI5604	SECCIONADORA 29-2 FECHADA	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/56.B7	/59.D1	
	VI5605	SECCIONADORA 29-6 ABERTA	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/56.B7	/60.A1	
H	VI5606	SECCIONADORA 29-6 FECHADA	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/56.C7	/60.B1	
	VI5607	DISJUNTOR 52-1 ABERTO	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/56.C7	/61.A1	
I	VI5608	DISJUNTOR 52-1 FECHADO	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/56.C7	/61.B1	
	VI5609	DISJUNTOR 52-1 CHAVE L/R - REMOTO	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/56.D7	/62.C1 /73.E1	
J	VI5610	DISJUNTOR 52-1 MOLA DESCARREGADA	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/56.D7	/79.B1	
	VI5611	DISJUNTOR 52-1 BLOQ. TRIP CAPACITIVO	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/56.D7	/64.A1 /79.B1	
K	VI5612	DISJUNTOR 52-1 BLOQ. SUBTENSÃO	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/56.D7	/64.B1 /78.E1	
	VI5613	DISJUNTOR 52-1 SF6 - 1º ESTÁGIO	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/56.E7	/64.B1 /79.B1	
L	VI5614	DISJUNTOR 52-1 SF6 - 2º ESTÁGIO	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/56.E7	/64.B1 /78.D1	
	VI5615	DISJUNTOR 52-1 SUP. BCB: ABERT.FECH.	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/56.E7	/64.B1 /79.B1	
M	VI5616	DISJUNTOR 52-1 FALTA 125Vcc	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/56.F7	/64.C1 /78.E1	
	VI5701	PPT1 62/51 - 86T ATUADO	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/57.A7	/64.C1 /72.A1 /73.C1 /74.A1 /73.E1	
N	VI5702	PPT2 62/51 - 86T ATUADO	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/57.B7	/64.C1 /72.C1 /73.C1 /74.B1 /73.E1	
	VI5703	CIRC. CMD. DJ 52-1 FALTA 125Vcc	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/57.B7	/79.A1	
O	VI5704	DJ-TP1 FALHA TP	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/57.B7	/79.A1	
	VI5801	CORRENTE NO BAY DISJ. 52-1	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/58.B7	/67.B1 /69.A1	
P	VI5802	CORRENTE DE NEUTRO NO BAY DISJ. 52-1	R_52_1	LÓGICA INTERNA	/58.B7	/68.B1	

Fonte: Acervo Pessoal

Figura 9 – Projeto Topográfico Típico

Fonte: Acervo Pessoal

Figura 10 – Projeto Construtivo Típico

Fonte: Acervo Pessoal

3. NORMA IEC 61850

3.1 HISTÓRICO

A norma (IEC 61850, 2003) foi publicada inicialmente entre 2002 e 2005. A norma foi resultado de mais de 10 anos de trabalho dentro do IEEE/EPRI (*Electric Power Research Institute*) em “UCA (*Utility Communications Architecture*) (IEEE-AS TR1550)” e dentro do grupo de trabalho “*Substation Control and Protection Interfaces*” do IEC Comitê Técnico 57.

O escopo inicial da norma foi a padronização da comunicação em sistemas de automação de subestações, sendo uma dessas padronizações o foco do trabalho de pesquisa aqui desenvolvido.

A norma está dividida em 10 partes, iniciando pela introdução até os testes de conformidade em sua última parte, conforme ilustrado na Figura 11, a qual apresenta todas as partes básicas da norma com seus respectivos títulos. A sequência recomendada para leitura da norma é iniciar pela parte 1 e sequencialmente ir até a parte 10. A norma possui novos capítulos adicionais que não fazem parte do escopo desse trabalho.

Figura 11 – Estrutura da Norma IEC 61850

Fonte: IEC 61850 Standard (2013)

3.1.1 IEC 61850-1

A primeira parte da norma tem um caráter introdutório, ou seja, aborda de forma geral o que contempla a norma, incluindo as suas partes. Ela é denominada “*Introduction and Overview*”.

3.1.2 IEC 61850-2

Denominada “*Glossary*”, ela contém a coleção das terminologias e definições utilizadas em todas as partes da norma.

3.1.3 IEC 61850-3

A terceira parte diz respeito aos requisitos gerais, dentre eles, segurança, interoperabilidade, disponibilidade, manutenibilidade, confiabilidade, condições de temperatura, humidade, compatibilidade eletromagnética, humidade, entre outros. Ela é denominada “*General Requirements*”

3.1.4 IEC 61850-4

A quarta parte ou “*System and Project management*” é responsável por estabelecer os requisitos de engenharia, tais como, documentação, classificação do parâmetro, ferramenta de engenharia. Além disso, determina o ciclo de vida do sistema e garantias de qualidade. No ciclo de vida e tratado versões do produto, descontinuação e suporte depois da descontinuação. Já na garantia da qualidade e tratado pontos como, responsabilidades, equipamentos de teste, testes de tipo, sistemas de teste, TAF e TAC.

3.1.5 IEC 61850-5

“Communication requirements for functions and device models of a Power Utility Automation system” é nome da quinta parte da norma. Ela descreve requisitos básicos, funções, nós lógicos requeridos (agrupamento, descrição textual, número da função no dispositivo, relação entre função e nó lógico), links de comunicação lógica e cenários dinâmicos.

3.1.6 IEC 61850-6

A sexta parte especifica um formato de arquivo que descreve a relação de comunicação e configuração entre os IEDs. Ela também define a linguagem de configuração SCL (*System Configuration Language*), que por sua vez é baseada na linguagem XML (*Extensible Markup Language*). Esta parte é denominada

“Configuration description language form communication in eletrical susbtations related to IEDs”.

3.1.7 IEC 61850-7

Dividida em cinco sub partes, a sétima parte da norma descreve os métodos de modelamento, princípios de comunicação e modelos de informação. Entre outras definições, esta parte é responsável por detalhar a estrutura dos dados, inclusive as classes de dados.

3.1.8 IEC 61850-8

A oitava parte diz respeito a definições normativas do mapeamento ACSI (Abstract Communication Service Interface), exceto serviços de comunicação relacionado a “*sample values*”. Chamada de “*Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Mappings to MMS (Manufacturing Message Specification) (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3*” ela também possui informações de especificação técnica relacionada ao mapeamento de comunicação.

3.1.9 IEC 61850-9

A nona parte denominada “Communication Service Mapping (SCSM) – *Sampled values* over ISO/IEC 8802-3”, trata especificamente do “*Sampled values*” e seu mapeamento.

3.1.10 IEC 61850-10

A última parte da norma trata dos testes de conformidade. Ela especifica os métodos e testes que precisam ser garantidos nos dispositivos partes de um sistema implementado conforme a norma. Essa parte é chamada de “*Conformance testing*”

O foco desse trabalho são as partes 6 e 7, que tratam da linguagem SCL e da estrutura de comunicação, respectivamente.

3.2 INTEROPERABILIDADE

Uma das principais intensões, propósitos da norma IEC 61850 é a interoperabilidade, ou seja, a condição de poder se ter em uma mesma rede IEC 61850 IEDs de diferentes fabricantes. Desta forma os usuários não precisam

ficar vinculados a um único fabricante de IED, aumentando a competitividade do mercado. A Figura 12 ilustra o conceito de interoperabilidade previsto na norma.

Apesar da norma em questão ter surgido com esse conceito, ainda existem grandes desafios para os fabricantes de equipamentos. Um deles diz respeito ao parque de equipamentos já instalados (sistemas legados), por exemplo. Outro ponto importante é que existem parâmetros previstos na norma que são opcionais, ou seja, é facultativo ao fabricante de equipamentos utilizá-los, ou não.

Com relação a essa pesquisa, a interoperabilidade é algo fundamental; não seria cabível poder documentar os dados do fabricante X, mas não ser capaz de documentar os dados do fabricante Y. De fato, esse foi o ponto de maior desafio da pesquisa, poder documentar os arquivos de configuração de qualquer fabricante de equipamento que esteja em “*compliance*” com a norma IEC 61850.

3.3 LINGUAGEM SCL

Segundo a norma IEC 61850, a linguagem SCL (*System Configuration Description Language*) foi baseada na linguagem XML (*Extensible Markup Language*) e tem por propósito principal garantir a capacidade de interoperabilidade dos IED que estão de acordo com a norma IEC 61850. Com foco no seu propósito principal, a SCL determina como e o que devem conter os arquivos de configurações dos IEDs que estão de acordo com a norma. A SCL é uma linguagem estruturada e, portanto, utiliza ponteiros para determinar a construção dos arquivos de configuração, bem como, as subconfigurações dentro do arquivo.

Um arquivo de configuração construído conforme a linguagem SCL sempre é iniciado com a identificação da versão do XML “<?xml version=“1.0” encoding=“utf-8”?>”, seguido do ponteiro “<SCL” que determina que é um arquivo construído com a linguagem SCL. Seguindo a mesma lógica a string (ponteiro) que indica o fim do arquivo é “</SCL>”. É importante notar que um ponteiro de início sempre começa com o sinal “<” e o ponteiro de final começa com o sinal “</”. Esses ponteiros são utilizados em todo o arquivo de configuração, iniciando e finalizando configuração específicas, como o endereçamento de rede, por exemplo.

Figura 12 - Conceito de Interoperabilidade

Fonte: Acervo Pessoal

O tópico seguinte analisará com maior detalhamento a estrutura de um arquivo de configuração, sendo nesse caso um arquivo de configuração de subestação SCD. Alguns fabricantes inserem em seus arquivos de configuração algumas informações antes do ponteiro "<SCL"; as mesmas dizem respeito a características específicas do próprio fabricante.

3.3.1 Padrão XML

O XML é uma linguagem para representação de dados, compacta e flexível, que faz parte de uma iniciativa para estabelecer um padrão mundial para a troca de dados. O W3C (*World Wide Web Consortium*) é o comitê responsável pela formatação e evolução da linguagem XML, de forma que os desenvolvedores possam utilizar o padrão para construir soluções que envolvam intercâmbio de dados e publicação de documentos. Ela provê uma representação estruturada dos dados, tornando-a fácil de ser implementada.

O XML pode codificar o conteúdo, as semânticas e as esquematizações para uma grande variedade de aplicações, desde as mais simples até as mais complexas. Uma característica importante é que, uma vez tendo sido recebido o dado pelo cliente, tal dado pode ser manipulado, editado e visualizado.

O XML é considerado de grande importância na Internet, intranets e entre diversos fabricantes de equipamentos, porque provê a capacidade de interoperação de equipamentos, por ter um padrão flexível e aberto e independente de dispositivo. As aplicações podem ser construídas e atualizadas mais rapidamente e permitem múltiplas formas de visualização dos dados estruturados.

Devido a essa característica, de permitir a interoperabilidade dos dados entre equipamentos, o padrão XML foi escolhido para o desenvolvimento da linguagem SCL, (IEC 61850, 2003).

3.3.2 Tipos de arquivos SCL previstos na norma

Os seguintes tipos de arquivos são especificados:

- SSD (*System Specification Description*) – descreve a conectividade do sistema, a partir do diagrama unifilar, bem como lista os nós lógicos previstos para essa subestação;

- ICD (*IED Capability Description*) – descreve a estrutura de dados (dispositivos lógicos e nós lógicos) disponível para configuração em cada IED;
- IID (*Instantiated IED Description*) – define a configuração de um IED para um projeto específico e é usado como formato de troca de dados do configurador de IED para o configurador de sistema.
- SCD (*Substation Configuration Description*) – descreve a configuração completa da subestação, incluindo todos os IEDs e os detalhes de comunicação;
- CID (*Configured IED Description*) – descreve as configurações realizadas em um IED específico, podendo ser considerado como parte do arquivo SCD referente a este IED;
- SED (*System Exchange Description*) – este arquivo deve ser trocado entre as equipes de configuração de subestações distintas. Ele descreve as interfaces entre os dois projetos, incluindo eventuais alterações realizadas para integração.

A documentação proposta neste trabalho interpreta a configuração já realizada nos IEDs, podendo, portanto, acessar arquivos SCD ou CID. Os resultados aqui apresentados têm, como base, arquivos SCD.

Dentre todas as informações contidas neste arquivo, exemplificado na Figura 13, três subestruturas são relevantes para a configuração das mensagens GOOSE:

- o cabeçalho, que inclui informações sobre a data da última versão do arquivo;
- os detalhes de comunicação dos IEDs, tais como, endereços IP, MAC, APPID e VLAN;
- a estrutura IED, que contém os *logical devices*, os *logical nodes* e, por consequência, os *datasets* com as mensagens GOOSEs dos IEDs.

Figura 13 – Exemplo de um arquivo SCD

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<SCL xmlns="http://www.iec.ch/61850/2003/SCL" xmlns:scl="http://www.iec.ch/61850/2003/SCL"
xsi:schemaLocation="http://www.iec.ch/61850/2003/SCL SCL.xsd" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns:IEC_60870_5_104="http://www.iec.ch/61850-80-1/2007/SCL"
```

```

xmlns:sip4="http://www.siemens.com/energy/2009/09/siprotec4/Sip4"
xmlns:sieedc="http://www.siemens.com/energy/2011/11/Sieedc" xmlns:siedig="http://www.siemens.com/energy/2011/11/Siedig">
  <Private type="Siemens-ScLib-V5-Version">V03.10.02.000</Private>
  <Private type="Siemens-ScLib-V5-EditTime">27.01.2019 14:07:30</Private>
  <Private type="Siemens-Configurator-Version">V5.80</Private>
  <Private type="Siemens_SiedigGooseApplicationStorage">
    <siedig:GooseApplicationStorage>
      <Header id="IEC 61850 station" version="1" revision="16" toolID="IEC 61850 System Configurator, Version: V5.80 "
nameStructure="IEDName">
        <Text>IEC 61850 station</Text>
        <History>
          <Hitem version="1" revision="1" when="Sunday, November 25, 2018 7:24:24 AM" who="Licenced
User: ROBSON Machine: LAPTOPRGS User: ROBSON" what="Device IED_000000002 is imported from
C:\Siemens\DIGSI4\D4PROJ\Mestrado\I7D\IGV\SD\00000002\en100par.iid" why="IEC 61850 System Configurator Automatic
Startup: Insert Comment" />
          <Hitem version="1" revision="2" when="Sunday, November 25, 2018 7:24:24 AM" who="Licenced
User: ROBSON Machine: LAPTOPRGS User: ROBSON" what="Device IED_000000006 is imported from
C:\Siemens\DIGSI4\D4PROJ\Mestrado\I7D\IGV\SD\00000006\en100par.iid" why="IEC 61850 System Configurator Automatic
Startup: Insert Comment" />
        </Communication>
        <SubNetwork name="NETWORK1" type="8-MMS">
          <Private type="Siemens-Start-Address">172.16.0.1</Private>
          <ConnectedAP iedName="IED_000000002" apName="P1">
            <Private type="Siemens-Redundant-SubnetId">1</Private>
            <Address>
              <P type="OSI-AP-Title">1,3,9999,23</P>
              <P type="OSI-AE-Qualifier">23</P>
              <P type="OSI-PSEL">00000001</P>
              <P type="OSI-SSEL">0001</P>
              <P type="OSI-TSEL">0001</P>
              <P type="IP" xsi:type="tP_IP">192.192.192.1</P>
              <P type="IP-SUBNET" xsi:type="tP_IP-SUBNET">255.255.255.0</P>
              <P type="IP-GATEWAY" xsi:type="tP_IP-GATEWAY">0.0.0.0</P>
            </Address>
            <GSE IdInst="CTRL" cbName="Control_DataSet">
              <Address>
                <P type="MAC-Address" xsi:type="tP_MAC-Address">01-0C-
CD-01-00-00</P>
                <P type="VLAN-ID" xsi:type="tP_VLAN-ID">000</P>
                <P type="VLAN-PRIORITY" xsi:type="tP_VLAN-
PRIORITY">4</P>
                <P type="APPID" xsi:type="tP_APPID">0001</P>
              </Address>
            </IED desc="7SJ641 V4.9" name="IED_000000002" type="Siprotec-7SJ6xx" manufacturer="SIEMENS" configVersion="1.0">
              <Private type="Siemens-Inkrement">2</Private>
              <Private type="Siemens-BRCB-StoragePercentageMemoryForBuffer">PROT\LLN0\brcbA|12</Private>
              <Private type="Siemens-BRCB-StoragePercentageMemoryForBuffer">PROT\LLN0\brcbB|12</Private>
              <LDevice desc="Control" inst="CTRL">
                <Private type="IsNodeProcessed" />
                <LN0 InClass="LLN0" inst="" InType="IED_000000002/CTRL/LLN0"
desc="General">
                  <DataSet name="DataSet">
                    <Private type="Siemens-
GUID">224dccb0b9e14f4b2244e3e47dfe1ff</Private>
                    <FCDA IdInst="CTRL" prefix="INTSIG"
InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO6" daName="stVal" fc="ST" />
                    <FCDA IdInst="CTRL" prefix="INTSIG"
InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO6" daName="q" fc="ST" />
                  </DataSet>
                  <Inputs>
                    <Private type="Siemens_SiedigExtRefs">
                      <siedig:ExtRefs>
                        <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO2" daName="stVal"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO1/stVal" controlBaseRef="125e0a40add1492381516a397f6076f9" />
                        <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO2" daName="q"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO1/q" controlBaseRef="125e0a40add1492381516a397f6076f9" />
                        <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO3" daName="stVal"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO2/stVal" controlBaseRef="8abbee9115a6446794064eaa6e340274" />
                        <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO3" daName="q"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO2/q" controlBaseRef="8abbee9115a6446794064eaa6e340274" />
                        <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO4" daName="stVal"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO3/stVal" controlBaseRef="bcb146279eac4b1dba03d962cc3d0c85" />
                        <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO4" daName="q"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO3/q" controlBaseRef="bcb146279eac4b1dba03d962cc3d0c85" />
                        <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO5" daName="stVal"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO4/stVal" controlBaseRef="8c9619cf52574e78a4a0dad6bdf58374" />
                        <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO5" daName="q"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO4/q" controlBaseRef="8c9619cf52574e78a4a0dad6bdf58374" />

```

```

        <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" InClass="LLN0" InInst="" doName="Loc" daName="stVal"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO5/stVal" controlBaseRef="823f062e76cb4dd6a2d88dcd10461729" />
        <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" InClass="LLN0" InInst="" doName="Loc" daName="q"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO5/q" controlBaseRef="823f062e76cb4dd6a2d88dcd10461729" />
        </siedig:ExtRefs>

```

Fonte: Acervo Pessoal

3.4 ESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO PREVISTA NA NORMA

Os conceitos que serão apresentados a seguir são de vital importância na utilização dos padrões de comunicação previstos na norma. Conceitos como o modelamento OSI, o padrão Ethernet (IEEE_802.3, 2018), redes ethernet virtuais, são utilizados nos protocolos de comunicação, tais como, GOOSE, GSE, entre outros.

3.4.1 Camadas 1 e 2 do modelo de camadas OSI

O modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) deriva de uma proposta desenvolvida pela ISO (*International Standard Organization*). O modelo OSI trata da interconexão de sistemas abertos estabelecida em sete camadas, conforme mostrado na Figura 14. Cada camada possui sua função específica, iniciando com a camada chamada física até a camada da aplicação.

Figura 14 – Modelo OSI segundo Tanenbaum

Fonte: Adaptado (TANENBAUM, 2011)

A camada 1 é a responsável pelas conexões físicas, ou seja, é nela que é definido, por exemplo, se o meio físico é ótico ou elétrico, se for meio ótico qual o tipo de fibra, monomodo ou multimodo. Ela especifica todo o cabeamento, pinagens, conectores de rede, os tipos de sinais elétricos ou luminosos. Também é responsável pela modulação dos bits e determina as características mecânicas dos dispositivos. Exemplos de protocolo de camada física são RS-232 (Método assíncrono de comunicação serial), V.35, V.34, T1 (Padrão europeu de linha telefônica digital), E1 (Padrão norte-americano de comunicação digital), 10BASE-T (Padrão de redes Ethernet de 10 megabits), 100BASE-TX (Padrão de redes Ethernet de 100 megabits), ISDN (*Integrated Services Digital Network*), SONET (*Synchronous optical networking*), DSL (*Digital Subscriber Line*). A camada física é peça chave nos padrões de comunicação, inclusive no padrão Ethernet. Para que uma rede Ethernet seja construída é necessário que haja a interconexão entre vários elementos de rede, sendo esta possível através da camada 1 do modelo OSI. A Figura 15, mostra algumas características da camada física no padrão ethernet.

Figura 15 – Especificação da Camada Física

Padrão	MAC Especificação	Comprimento do cabo	Tipo de Cabo
10Base5	802.3	500m	50-ohm coaxial
10Base2	802.3	185m	50-ohm coaxial
10BaseT	802.3	100m	UTP, Cat 3, 4 ou 5
10BaseFL	802.3	2000m	Fibra
100BaseTx	802.3u	100m	UTP cat 5
100BaseT4	802.3u	100m	UTP cat 3
100BaseT2	802.3u	100m	UTP, Cat 3, 4 ou 5
100BaseFx	802.3u	400/2.000 m	Fibra Multimodo
100BaseFx	802.3u	10.000 m	Fibra Monomodo
1000BaseSx	802.3z	220 – 550 m	Fibra Multimodo
1000BaseLx	802.3z	3000 m	Fibra (MM ou SM)
1000BaseCx	802.3z	25 m	Cobre Blindado
1000BaseT	802.3ab	100 m	UTP cat 5
10GBaseT	802.3an	100 m	UTP cat 6

Fonte: Acervo Pessoal

Outra camada fundamental é a camada 2 ou de link de dados. Ela é responsável pela montagem dos frames que são transmitidos pela camada física. É nela que está o LLC (*Logical Link Control*), o endereçamento MAC (*Media Access Control*) que realiza a comunicação direta da placa adaptadora à camada física. Os padrões utilizados na camada 2 são: Ethernet, Token Ring, FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*), ARP (*Address Resolution Protocol*), PPP (*Point-to-Point Protocol*), HDLC (*High-Level Data Link Control*), *Frame Relay*, ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), *Fibre Channel*.

A camada de link de dados (também chamada camada de enlace) trata os pacotes de dados recebidos da camada de rede e os transforma em quadros que serão trafegados pela rede, adicionando informações como o endereço da placa de rede de origem, o endereço da placa de rede de destino, dados de controle, os dados em si e o CRC (*Cyclic Redundancy Check*).

Por exemplo, na comunicação em rede Ethernet o frame criado pela camada link de dados é enviado para a camada física, que converte esse quadro em sinais elétricos para serem enviados através do cabo da rede.

Quando o receptor recebe um quadro, a sua camada link de dados confere se o dado chegou íntegro, recalculando o CRC. Se os dados estão corretos, ele envia uma confirmação de recebimento (chamada *acknowledge* ou simplesmente *ack*). Caso essa confirmação não seja recebida, a camada link de dados do transmissor reenvia o quadro, já que ele não chegou até o receptor ou então chegou com os dados corrompidos.

3.4.2 Padrão Ethernet – IEEE 802.3

Ethernet é uma arquitetura baseada em um conceito de rede de comunicação no qual vários dispositivos distribuídos possam se comunicar uns com os outros sobre um único canal; emprega uma topologia de barramento. Atualmente o padrão Ethernet é controlado pelo IEEE. Segundo (COMER, 2001) a Ethernet foi inventada no Centro de Pesquisa da Corporação Xerox em Palo Alto, no início dos anos 70. Tempos depois a Digital Equipment Corporation, Intel Corporation e Xerox se uniram para desenvolver um padrão de produção, que foi informalmente chamado de DIX Ethernet devido às iniciais das três companhias.

Ainda segundo (COMER, 2001) em sua versão original, uma LAN Ethernet consistia em um cabo coaxial único, chamado de éter, aos quais múltiplos computadores se conectam. Os engenheiros usam o termo “segmento” para se referir ao cabo coaxial de Ethernet. Um dado segmento de Ethernet é limitado a 500 metros de comprimento, e o padrão exige uma separação mínima de 3 metros entre cada par de conexões. O hardware Ethernet original operava em uma largura de banda de 10 Megabits por segundo (Mbps); uma versão posterior conhecida como Fast Ethernet opera a 100 Mbps, e a versão mais recente, que é conhecida como Gigabit Ethernet, opera a 1.000 Mbps ou 1 Gigabit por segundo (Gbps).

A Ethernet utiliza o padrão CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection*) para gerenciar o acesso compartilhado a mídia. O CSMA/CD é um protocolo desenvolvido para gerenciar a comunicação de mídia compartilhada. Elementos de rede verificam se o barramento está disponível antes de enviar dados, monitoram o barramento e identificam colisão nos nós, ocorrendo um “time out” depois de 15 tentativas. Uma vez disponível o barramento os dados são enviados pelo elemento de rede.

O CSMA solicita que o elemento de rede realize o seguinte procedimento antes de enviar os seus dados:

- Verifica a presença de sinal na linha;
- Inicia a transmissão somente se a linha estiver disponível;
- Monitora constantemente a linha;
- Se uma colisão for detectada envia uma informação na rede para anunciá-la e aguarda um período aleatório para voltar a transmitir;
- Um algoritmo determina quando a estação que está colidindo pode retransmitir;
- Time out depois de 15 tentativas.

O padrão ethernet segue os princípios definidos no modelamento de camadas OSI (*Open Systems Interconnection*), conforme descrito no item 3.4.1. Dentro da camada de enlace dois padrões são comumente utilizados, o Ethernet II e o Ethernet 802.3.

O Ethernet II possui o frame apresentado na Figura 16, seguido pela descrição da sua composição.

Figura 16 – Frame no padrão Ethernet II

Preâmbulo	DA	AS	Type	Dado (Variável)	FCS
8 By	6 By	6 By	2 By	46 - 1500	4 By

Fonte: Acervo Pessoal

- Preâmbulo: Oito bytes alternados 1,0 indica o início da mensagem;
- DA (*Destination Address*): Endereço MAC (Media Access Control) de destino;
- SA (*Source Address*): Endereço MAC de origem;
- *Length or Type*: Ethernet_II utiliza como campo de tipo para a camada de protocolo de rede, mas a 802.3 usa como campo de comprimento;
- Dado: Dados a serem transmitidos, variáveis de 46 a 1500 bytes;
- FCS (*Frame Check Sequence*): O FCS é o campo de CRC que permite verificar se os dados recebidos foram os transmitidos através de um *checksum*.

O Ethernet 802.3 possui o frame demonstrado na Figura 17, seguido pela descrição da sua composição. No padrão 802.3 o campo *Type* foi substituído pelo campo *Length* que indica o comprimento dos dados.

Figura 17 - Frame no padrão Ethernet 802.3

Preâmbulo	DA	AS	Length	Dado (Variável)	FCS
8 By	6 By	6 By	2 By	46 - 1500	4 By

Fonte: Acervo Pessoal

- Preâmbulo: Oito bytes alternados 1,0, indica o início da mensagem.
- DA: Endereço MAC de destino
- SA: Endereço MAC de origem
- *Length or Type*: 802.3 usa como campo de comprimento, mas a ethernet_II utiliza como campo de tipo para a camada de protocolo de rede.
- Dado: Dados a serem transmitidos, variáveis de 46 a 1500 bytes.

- FCS: O FCS é o campo de CRC que permite verificar se os dados recebidos foram os transmitidos através de um *checksum*.

O endereço MAC ou endereço de hardware é um identificador único, ou seja, cada elemento de rede possui o seu, ele é composto de 48 bits (6 bytes) no formato hexadecimal.

Os switches, que são os equipamentos responsáveis pela conexão dos elementos de rede, possuem internamente uma tabela denominada tabela MAC, a qual, é responsável por indicar em qual porta física está conectado cada elemento de rede, ou seja, ela relaciona porta física com endereço MAC.

Os *frames* que trafegam pelo switch podem ser *unicast* ou *multicast*. Frames *unicast* são frames encaminhados para todas as portas de um switch se o endereço MAC de destino não for encontrado na tabela MAC, mas eles serão encaminhados somente para o dispositivo se o endereço de destino for encontrado, ou seja, são direcionados para um único dispositivo ou elemento de rede. Os frames *multicast*, como o nome sugere, são frames direcionados para mais de um dispositivo, ou seja, a informação é enviada para ser usada por mais de um elemento de rede. A Figura 18 mostra a estrutura do MAC.

Figura 18 – Formato do endereçamento MAC

3.4.3 LANs Virtuais

VLAN (*Virtual Local Area Network*) é um agrupamento lógico de portas em um mesmo hardware físico separadas em redes, ou seja, uma VLAN promove a conectividade entre os links de dados para uma sub-rede. Um ou mais switches de rede permitem oferecer suporte a várias VLANs independentes, criando implementações de sub-redes na camada 2 (link de dados) do modelo OSI. Logo, é possível se ter uma única rede física, com uma série de redes virtuais.

O padrão 802.1Q permite transportar múltiplas VLANs em uma mesma porta física. Elementos de rede na mesma VLAN compartilham o mesmo domínio de broadcast e podem-se comunicar entre si se houver um roteador.

A Figura 19 ilustra a possível conexão de elementos de rede em diferentes switches e diferentes VLANs, ou seja, ela demonstra a criação de diferentes redes físicas e lógicas. Os elementos de rede com tela verde pertencem a uma VLAN, enquanto os elementos de rede com tela azul pertencem a outra.

Figura 19 – Arquitetura das VLANs

Fonte: Acervo Pessoal

Uma das vantagens de se utilizar VLANs é a possibilidade de criar redes virtuais, ou seja, fisicamente conectadas, mas logicamente separadas.

Para se implementar VLANs, os switches precisam possuir características específicas. Uma delas é o tipo de conexão na porta de comunicação. As portas podem ser consideradas como portas “*Edge*” ou portas “*Trunk*”. As portas “*Edge*” permitirão o tráfego de somente uma VLAN específica, enquanto as portas “*Trunks*” permitirão o tráfego de várias VLANs. As portas “*Edge*” são utilizadas para conexão dos IEDs, já as portas “*Trunks*” para a interconexão entre switches. A Figura 20 ilustra o conceito de portas “*Trunks*” e “*Edges*”, onde a conexão entre dois switches através de um *link* tronco que permite o tráfego de três VLANs: “Green”, “Red” e “Blue”. Por outro lado, as portas “*Edge*” permitem somente que o tráfego da respective VLAN.

Figura 20 – Conceito portas “*Trunk*” e “*Edge*”

Fonte: Acervo Pessoal

3.4.4 GSE (Generic Substation Events)

O GSE (*Generation Substation Events*) é um modelo de controle que fornece, segundo a norma IEC 61850, um mecanismo rápido e confiável de transferência de dados de eventos sobre redes de comunicação ethernet, em subestações de energia elétrica.

Segundo a norma, o GSE garante que a mensagem de um evento seja recebida por um ou vários dispositivos físicos usando serviços *multicast* ou de

broadcast. O modelo de controle de GSE é subdividido em GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Events*) e GSSE (*Generic Substation State Events*).

A diferença entre o GSSE e o GOOSE é que o primeiro é uma extensão de um mecanismo de transferência de evento previsto no UCA2.0 (*Utility Communications Architecture*), onde somente um dado de Status pode ser trocado usando uma *string* de bits; já o GOOSE é um mecanismo em que qualquer formato de dado com status ou valor pode ser agrupado dentro de um *dataset*. O GOOSE tem um período típico de transmissão de 4 milissegundos, enquanto o GSSE por ser um formato mais simples é mais rápido do que o GOOSE em alguns dispositivos.

As informações trocadas são baseadas no mecanismo *Publisher/Subscriber*. O Publisher escreve os valores em um buffer local do lado de quem está enviando, ou seja, é quem publica as informações na rede. Por outro lado, o *Subscriber* lê os valores do buffer local do lado de quem está recebendo, ou seja, é quem recebe as informações publicadas. Em uma rede de comunicação em IEC 61850, podem existir diversos *Publishers* e diversos *Subscribers*, inclusive dispositivos que façam ambas as funções. A Figura 21 ilustra o mecanismo *Publisher/Subscriber*.

Figura 21 – Mecanismo *Publisher/Subscriber*

Fonte: IEC 61850 Standard (2013)

3.4.5 GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Events*)

O protocolo GOOSE permite a troca de eventos da subestação através de objetos genéricos orientados (*Generic Object Oriented Substation Events*).

A Figura 22 é um exemplo do modelo de comunicação com o protocolo GOOSE, retirada de um monitoramento utilizando o software de análise de rede Wireshark (WIRESHARK, 2019). Trata-se de um frame GOOSE típico com uma informação enviada de um IED para outro.

Figura 22 – Modelo de comunicação com o GOOSE

Fonte: Acervo Pessoal

Uma mensagem GOOSE é trocada com base em uma aplicação *multicast*, ou seja, ela é disponibilizada na rede de comunicação para que vários IEDs possam acessá-la. As mensagens GOOSE são sempre baseadas em uma estrutura denominada “*Dataset*”. Os “*Datasets*” podem conter uma ou mais informações que serão enviadas para a rede. Essas informações são denominadas atributos. De forma prática quando fazemos a análise de uma rede IEC 61850 com protocolo GOOSE, o que analisamos são os “*Datasets*”. A Figura 23 ilustra o modelamento de dados na IEC 61850. Dentro de uma mensagem

GOOSE os parâmetros *Physical Device*, *Logical Device*, *Logical Node*, *Data Object* e *Data Attribute* são imprescindíveis, mas não limitados somente a esses.

Figura 23 – Modelamento de dados da norma IEC 61850

Fonte: IEC 61850 Standard (2013)

3.4.5.1 Características principais

O protocolo GOOSE foi criado para a comunicação do tipo “Peer-to-Peer” entre IEDs. Alguns benefícios da utilização do GOOSE são destacados abaixo, segundo (ENERNEX, 2011):

- Substitui o cabeamento de sinais elétricos entre os relés por fibra óptica;
- Cada IED pode enviar e receber informações de vários IEDs;
- Retransmite as mensagens imediatamente;
- Retransmissão periódica;
- Tempo de transmissão menor que 4ms o que garante alta confiabilidade;
- Ideal para sistemas que utilizam intertravamentos;

3.4.5.2 Descrição do frame de mensagem do protocolo GOOSE

Esse trabalho de pesquisa não visa detalhar todas as informações contidas em um frame GOOSE, mas apresenta as que estão diretamente vinculadas com a documentação do respectivo protocolo.

A Figura 24 mostra um exemplo de captura de frame do protocolo GOOSE realizado no software Wireshark.

Figura 24 – Frame GOOSE

Fonte: Acervo Pessoal

No frame capturado é possível identificar parâmetros que precisam ser de conhecimento de quem precisar intervir em uma subestação com protocolo GOOSE.

- O endereço MAC de origem é o endereço físico da placa de rede do equipamento que está enviando a mensagem. Cada equipamento possui um endereço MAC exclusivo, a fim de garantir a origem da informação.
- O endereço MAC de destino é o endereço físico da mensagem GOOSE, ou seja, cada Dataset possui um endereço exclusivo. Se

nenhum endereço for configurado, o valor que constará no frame GOOSE será 00-00-00-00-00-00. Alguns fabricantes de IEDs consideram um mesmo endereço MAC para todos os GOOSES configurados, outros permitem a configuração individual. A Figura 25 mostra os endereços MAC recomendado pela IEC 61850.

Figura 25 – Endereçamento MAC recomendado pela IEC 61850

Service	Recommended address range assignments	
	Starting address (hexadecimal)	Ending address (hexadecimal)
GOOSE	01-0C-CD-01-00-00	01-0C-CD-01-01-FF
GSSE	01-0C-CD-02-00-00	01-0C-CD-02-01-FF
Multicast sampled values	01-0C-CD-04-00-00	01-0C-CD-04-01-FF

Fonte: IEC 61850 Standard (2013)

- A tabela da Figura 26 mostra os tipos de *Ethertype* previsto na norma IEC 61850. Trata-se de um campo de pacote Ethernet, que define qual protocolo de camada superior o pacote transporta. O seu tamanho é de dois bytes.

Figura 26 – Tipos de *ethertype*

Use	Ethertype value (hexadecimal)	APPID type
IEC 61850-8-1 GOOSE Type 1	88-B8	0 0
IEC 61850-8-1 GSE Management	88-B9	0 0
IEC 61850-9-2 Sampled Values	88-BA	0 1
IEC 61850-8-1 GOOSE Type 1A	88-B8	1 0

Fonte: IEC 61850 Standard (2013)

- O APPID é utilizado para distinguir a aplicação do GOOSE dentro de uma rede IEC 61850 de uma subestação, com ele é possível associar, por exemplo, as mensagens GOOSE de um setor de 138kV em um mesmo APPID, facilitando a análise das mensagens em um programa de análise de protocolo. O valor do APPID é a combinação do APPID *type* definido na Figura 26 com o ID definido pelo usuário referente a aplicação que ele pertence. O range reservado para o GOOSE tipo 1 é 0x0000 a 0x3FFF, já para o

GOOSE tipo 1A (*trip*) é 0x8000 a 0xBFFF. Se nenhum APPID for configurado o valor padrão será 0x0000.

- O TCI (*Tag Control Information*) é composto pelo UP (*User Priority*), CFI (*Canonical Format Indicator*) e o VID (*Vlan ID*) e está localizado entre o endereço MAC de origem e o *length/type* mostrado na Figura 16 e Figura 17, respectivamente. O UP é utilizado para separar SV (*Sample Value*) e mensagens GOOSE críticas, os valores pode ser de 0 a 7, sendo 0 a menos prioritária e 7 a mais prioritária. O bit do Indicador de formato canônico (CFI) indica se os seguintes 12 bits do identificador de VLAN estão em conformidade com a Ethernet ou não. Para quadros Ethernet, este bit é sempre definido como 0. O Vlan ID é o número da Virtual LAN a que pertence o frame GOOSE específico. A Figura 27 mostra os valores padrões caso esses campos não sejam configurados pelo usuário.

Figura 27 – Valores padrões VID e *Priority*

Service	Default VID	Default priority
GOOSE	0	4
GSE	0	1
Sampled Values	0	4

Fonte: IEC 61850 Standard (2013)

3.4.6 Aplicação do protocolo

No Brasil a grande maioria das subestações novas ou em processo de digitalização já são preparadas para utilizar os protocolos previstos na norma IEC 61850. Consequentemente, o uso do protocolo GOOSE aumenta em igual proporção e possui inúmeras vantagens, técnicas e econômicas, sendo um grande diferencial das subestações digitalizadas. Essa aplicação crescente traz à tona alguns pontos importantes sobre a utilização deste protocolo. O primeiro deles é referente a necessidade de se ter uma documentação confiável sobre as informações que estão sendo enviadas na rede da subestação, que de forma particular é tratada aqui nesse trabalho de pesquisa. O segundo é em relação a necessidade de um trabalho de capacitação das equipes de operação e manutenção das subestações para que eles sejam capazes de trabalhar com essa nova filosofia.

4. METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta nesse trabalho visa encontrar uma maneira de documentar as informações do protocolo GOOSE, de forma segura e integrada com a documentação existente da subestação. Ela inclui a análise dos arquivos SCLs, para identificar a origem e o destino das mensagens GOOSE de todos os IEDs e cria uma documentação similar a um projeto funcional, que pode ser denominar “Projeto Funcional Digital”, do qual constam todas as informações do protocolo GOOSE, tais como: nomes dos IEDs, endereços MACs e IPs, fabricante, família do IED, versão de softwares, nomes dos bays, entres outras, que se façam necessárias e sejam possíveis de customização.

Além disso, a metodologia propõe o mapeamento das mensagens GOOSE configuradas para transmissão e recebimento, para que, em uma intervenção, seja possível identificar todos os IEDs que possam ser afetados pela mesma. Uma intervenção sem essa documentação exigiria uma análise de vários documentos, entre eles as configurações dos IEDs — a serem consultadas nos vários softwares de fabricantes—, planilhas — que podem não estar atualizadas—, back-ups — que podem estar diferentes das configurações atuais —, entre outras dificuldades. Logo, essa documentação integrada reduz a chance de erros em uma intervenção por manutenção, ou mesmo na migração gradativa das subestações pré-IEC 61850 para arquiteturas de subestações digitais nos padrões dessa norma.

4.1 ARQUITETURA EXEMPLO PROPOSTA

A arquitetura proposta para aplicar esta metodologia consiste na utilização de dois IEDs, um switch e um computador. Os IEDs estão configurados para trocarem mensagens GOOSE entre si, através da rede Ethernet da qual eles fazem parte. Um switch foi configurado para fazer a função de interligação dos IEDs e do computador. No computador foram instalados os softwares de configuração dos IEDs, o software de monitoramento de rede e alguns softwares de análise de arquivos XML. A Figura 28 ilustra a arquitetura proposta.

Figura 28 – Arquitetura proposta

Fonte: Acervo Pessoal

Os IEDs foram conectados ao switch através de fibra óptica, com conectores ST (Straight Tip) no lado do switch e LC (*Lucent Connector*) no lado dos IEDs. Utilizando uma característica dos IEDs foi possível utilizar os mesmos, em uma rede anel. Para a conexão do computador com o switch foi utilizado um cabo UTP (*Unshield Twisted Pair*). Os equipamentos tiveram seus endereços de rede configurados conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Tabela de Endereçamento

Nome	Endereço IP	Máscara de Rede	Endereço MAC
IED_000000002	192.192.192.1	255.255.255.0	00-09-8E-FD-4F-07
IED_000000006	192.192.192.2	255.255.255.0	00-09-8E-FD-4B-65
Computador	192.192.192.3	255.255.255.0	10-78-D2-62-45-C8
Switch	192.192.192.4	255.255.255.0	00-0A-DC-27-43-4C

Fonte: Acervo Pessoal

O “*part number*” dos equipamentos utilizados no laboratório é destacado na Tabela 2.

Tabela 2 – “*Part Numbers*” dos Equipamentos

Equipamento	Fabricante	Part Number
Relé de proteção	Siemens	7UT61355EB921BB0-L0S (7UT613, 2019)
Relé de proteção	Siemens	7SJ64155EB921FE0-L0S (7SJ64, 2019)
Switch	Ruggedcom	RSG2100-F-RM-HI-HI-TX01-TX01-TX01-FX01-CG01-1CG01-TX01-FX01-FX01-FL01
Notebook	Positivo	SIM – CORE I3 – 8GB RAM

Fonte: Acervo Pessoal

4.2 LABORATÓRIO DE TESTE

Utilizando como base a arquitetura da Figura 28 foi montado um laboratório de teste para comprovar a metodologia aqui proposta.

A Figura 29 mostra a estrutura do laboratório montada para a prova de conceito.

Na realização do laboratório foram configuradas mensagens GOOSEs no IED_000000002 e no IED_000000006. O IED_000000002 envia GOOSEs para o IED_000000006 acender LEDs do painel frontal. O mesmo acontece com o IED_000000006. Através dessa configuração é possível realizar a prova com mensagens GOOSE reais.

Figura 29 – Foto do laboratório

Fonte: Acervo Pessoal

Na Figura 29 são mostrados todos os equipamentos envolvidos no laboratório de teste, devidamente conectados e funcionando.

Figura 30 – Imagens dos Relés

Fonte: Acervo Pessoal

Na Figura 30 são mostrados os relés de proteção envolvidos no teste. Ambos foram configurados com uma configuração típica das funções de proteção, controle e comunicação para a realização do laboratório.

A Figura 31 mostra dois ambientes de programação utilizados no laboratório, os softwares de desenvolvimento Delphi e Visual Studio, respectivamente.

Figura 31 - Foto das aplicações

Fonte: Acervo Pessoal

4.2.1 Configuração do IED_000000002

O IED em questão foi configurado para se comunicar através do protocolo GOOSE. Para que fosse possível enviar e receber mensagens, foram configurados pontos que receberam os sinais enviados pelo IED_000000006 denominados “ExtSignals” e pontos que enviaram sinais para o IED_000000006, denominados “IntSignals”, além disso, foi configurado também o ponto de posição Local/Remoto. A Figura 32 mostra a tela de configuração de pontos no software DIGSI 4 (SIEMENS).

Figura 32 - Configuração dos pontos IEC 61850 do IED_000000002

[illegible]

Fonte: Software DIGSI 4 - Acervo Pessoal

Para simplificar a execução do ensaio, os pontos configurados no IED_000000002 são as teclas de função gerais como pontos de saídas e os LEDs como pontos de entrada, ou seja, sempre que uma tecla de função for acionada no IED_000000002 o estado do ponto GOOSE referente a essa tecla será alterado, informando para o IED_000000006 que ele precisa acionar o LED que está vinculado a esse ponto GOOSE.

Os pontos de entrada e saída foram configurados como pontos genéricos, previstos no capítulo 7-4 da norma como GGIO (*Generic Process I/O*). A Figura 33 mostra a estrutura dos pontos configurados conforma a norma IEC 61850.

Figura 33 - Estrutura dos Pontos IEC 61850 do IED_000000002

Fonte: Software DIGSI 4 - Acervo Pessoal

A Tabela 3 mostra todos os pontos IEC 61850 configurado no relé de proteção utilizados no laboratório de teste.

Tabela 3 - Pontos IEC 61850 IED_000000002

IED	LD	LN	DO	DA	CDC	DESCRIPTION
IED_000000002	CTRL	EXTSIGGGIO1	Mod	stVal	INC	Control/EXTSIGGGIO1/Mode
IED_000000002	CTRL	EXTSIGGGIO1	Beh	stVal	INS	Control/EXTSIGGGIO1/Behaviour
IED_000000002	CTRL	EXTSIGGGIO1	Health	stVal	INS	Control/EXTSIGGGIO1/State
IED_000000002	CTRL	EXTSIGGGIO1	SPCSO1	stVal	SPC	Control/EXTSIGGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)
IED_000000002	CTRL	EXTSIGGGIO1	SPCSO2	stVal	SPC	Control/EXTSIGGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)
IED_000000002	CTRL	EXTSIGGGIO1	SPCSO3	stVal	SPC	Control/EXTSIGGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)
IED_000000002	CTRL	EXTSIGGGIO1	SPCSO4	stVal	SPC	Control/EXTSIGGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)
IED_000000002	CTRL	EXTSIGGGIO1	SPCSO5	stVal	SPC	Control/EXTSIGGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)

IED_000000002	CTRL	INTSIGGGIO1	Mod	stVal	INC	Control/INTSIGGGIO1/Mode
IED_000000002	CTRL	INTSIGGGIO1	Beh	stVal	INS	Control/INTSIGGGIO1/Behaviour
IED_000000002	CTRL	INTSIGGGIO1	Health	stVal	INS	Control/INTSIGGGIO1/State
IED_000000002	CTRL	INTSIGGGIO1	SPCSO5	stVal	SPC	Control/INTSIGGGIO1/ON/OFF (SP)
IED_000000002	CTRL	INTSIGGGIO1	SPCSO6	stVal	SPC	Control/INTSIGGGIO1/Internal ON/OFF (IntSP)
IED_000000002	CTRL	INTSIGGGIO1	SPCSO7	stVal	SPC	Control/INTSIGGGIO1/Internal ON/OFF (IntSP)
IED_000000002	CTRL	INTSIGGGIO1	SPCSO8	stVal	SPC	Control/INTSIGGGIO1/Internal ON/OFF (IntSP)
IED_000000002	CTRL	INTSIGGGIO1	SPCSO9	stVal	SPC	Control/INTSIGGGIO1/Internal ON/OFF (IntSP)

Fonte: Acervo Pessoal

A Figura 34 mostra o mapeamento das mensagens GOOSE no software de configuração do relé de proteção, IED_000000002.

Quando uma mensagem GOOSE é configurada em um IED, ela apresenta-se organizada em DATASETS, conforme mostrado na Figura 35. Os DATASETS são responsáveis pelo agrupamento das mensagens GOOSE, ou seja, um DATASET pode conter uma ou mais mensagens GOOSE. Além deles conterem as mensagens propriamente ditas, à eles são atribuídas configurações específicas, que são fundamentais para uma rede IEC 61850, tais como, *Application ID*, *VLAN ID* e *VLAN Priority*, Endereço MAC do DATASET, entre outras.

Figura 34 - Mapeamento GOOSE IED_000000002

GOOSE messages					
Source	CDC	Description	NETWORK1	Destination	Description
IEC 61850 station				*	
DISJUNTOR					
IED_000000002/CTRL/LLN0/DataSet_5 (2/100)			✓		
FUNCTIONSKEYS				*	
IED_000000002/CTRL/LLN0/DataSet (2/100)			✓	*	
IED_000000002/CTRL/INTSISGGGIO1/SPCS06	SPC	Control/INTSISGGGIO1/Intenal ON/OFF (IntSP)			
Status value	SPC				
IED_000000002/CTRL/INTSISGGGIO1/SPCS06 ...	SPC	Control/INTSISGGGIO1/Intenal ON/OFF (IntSP)/Status value		IED_000000006/CTRL/EXTSISGGGIO1/SPCS01	Control/EXTSISGGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)
IED_000000002/CTRL/LLN0/DataSet_1 (2/100)			✓	*	
IED_000000002/CTRL/INTSISGGGIO1/SPCS07	SPC	Control/INTSISGGGIO1/Intenal ON/OFF (IntSP)			
Status value	SPC				
IED_000000002/CTRL/INTSISGGGIO1/SPCS07 ...	SPC	Control/INTSISGGGIO1/Intenal ON/OFF (IntSP)/Status value		IED_000000006/CTRL/EXTSISGGGIO1/SPCS02	Control/EXTSISGGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)
IED_000000002/CTRL/LLN0/DataSet_2 (2/100)			✓	*	
IED_000000002/CTRL/INTSISGGGIO1/SPCS08	SPC	Control/INTSISGGGIO1/Intenal ON/OFF (IntSP)			
Status value	SPC				
IED_000000002/CTRL/INTSISGGGIO1/SPCS08 ...	SPC	Control/INTSISGGGIO1/Intenal ON/OFF (IntSP)/Status value		IED_000000006/CTRL/EXTSISGGGIO1/SPCS03	Control/EXTSISGGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)
IED_000000002/CTRL/LLN0/DataSet_3 (2/100)			✓	*	
IED_000000002/CTRL/INTSISGGGIO1/SPCS09	SPC	Control/INTSISGGGIO1/Intenal ON/OFF (IntSP)			
Status value	SPC				
IED_000000002/CTRL/INTSISGGGIO1/SPCS09 ...	SPC	Control/INTSISGGGIO1/Intenal ON/OFF (IntSP)/Status value		IED_000000006/CTRL/EXTSISGGGIO1/SPCS04	Control/EXTSISGGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)

Fonte: Software DIGSI 4 - Acervo Pessoal

Figura 35 - Configuração dos DATASETs do IED_000000002

IED_000000002/CTRL/LLN0/DataSet						
Name	Application ID	MAC address	Config revision	Monitoring time	VLAN	
				minimum	maximum	ID
Control_DataSet	IED_000000002/CTRL/LLN0/Control_DataSet	01-0C-CD-01-00-00	10001	10 ms	2000 ms	0
NETWORK1	1					4

IED_000000002/CTRL/LLN0/DataSet_1						
Name	Application ID	MAC address	Config revision	Monitoring time	VLAN	
				minimum	maximum	ID
Control_DataSet_1	IED_000000002/CTRL/LLN0/Control_DataSet_1	01-0C-CD-01-00-01	10001	10 ms	2000 ms	0
NETWORK1	1					4

IED_000000002/CTRL/LLN0/DataSet_2						
Name	Application ID	MAC address	Config revision	Monitoring time	VLAN	
				minimum	maximum	ID
Control_DataSet_2	IED_000000002/CTRL/LLN0/Control_DataSet_2	01-0C-CD-01-00-02	10001	10 ms	2000 ms	0
NETWORK1	1					4

IED_000000002/CTRL/LLN0/DataSet_3						
Name	Application ID	MAC address	Config revision	Monitoring time	VLAN	
				minimum	maximum	ID
Control_DataSet_3	IED_000000002/CTRL/LLN0/Control_DataSet_3	01-0C-CD-01-00-03	10001	10 ms	2000 ms	0
NETWORK1	1					4

Fonte: Software DIGSI 4 - Acervo Pessoal

O fabricante disponibiliza um catálogo, com todos os pontos GOOSE disponíveis na configuração e é possível fazer a correlação entre a informação de origem e destino, ou seja, qual ponto interno configurado receberá o ponto externo que está na rede, disponibilizado pelo outro relé de proteção. É através desse mapeamento que o relé será capaz de verificar a rede IEC 61850 e receber a informação que lhe interessa para uso interno. A Figura 36 mostra o catálogo de endereços disponível nessa configuração.

Figura 36 - Catálogo de pontos do IED_000000002

Fonte: Software DIGSI 4 - Acervo Pessoal

4.2.2 Configuração do IED_000000006

O IED_000000006 possui as mesmas características de configuração do IED_000000002, as quais são descritas na Figura 37.

Assim como no IED_000000002, os pontos configurados são as teclas de função gerais como pontos de saídas e os LEDs como pontos de entrada, ou seja, sempre que uma tecla for acionada no respectivo relé o estado do ponto GOOSE referente a essa tecla será alterado, informando para o IED_000000002 que uma ação precisa ser tomada e sempre que as teclas de função forem acionadas no IED_000000002 o IED_000000006 receberá a alteração e mostrá-lo-á nos LEDs previamente configurados.

Ambos os pontos de entrada e saída foram configurados como pontos genéricos, previstos na norma como GGIO. A Figura 38 mostra a estrutura dos pontos configurados conforma a norma IEC 61850 no IED_000000006.

Figura 37 - Configuração dos pontos IEC 61850 do IED_000000006

DIGSI - [Settings - Masking I/O (Configuration Matrix) - Mestrado / Folder / 7UT613 V4.6/7UT613]

Fonte: Software DIGSI 4 - Acervo Pessoal

Figura 38 - Estrutura dos Pontos IEC 61850 do IED_000000006

Fonte: Software DIGSI 4 - Acervo Pessoal

A Tabela 4 mostra todos os pontos IEC 61850 configurados no relé de proteção IED_000000006, utilizado no laboratório de teste.

Tabela 4 - Pontos IEC 61850 IED_000000006

IED	LD	LN	DO	DA	CDC	DESCRIPTION
IED_000000006	CTRL	INTSIGGGIO1	Mod	stVal	INC	Control/INTSIGGGIO1/Mode
IED_000000006	CTRL	INTSIGGGIO1	Beh	stVal	INS	Control/INTSIGGGIO1/Behaviour
IED_000000006	CTRL	INTSIGGGIO1	Health	stVal	INS	Control/INTSIGGGIO1/State
IED_000000006	CTRL	INTSIGGGIO1	SPCSO1	stVal	SPC	Control/INTSIGGGIO1/ON/OFF (SP)
IED_000000006	CTRL	INTSIGGGIO1	SPCSO2	stVal	SPC	Control/INTSIGGGIO1/Internal ON/OFF (IntSP)
IED_000000006	CTRL	INTSIGGGIO1	SPCSO3	stVal	SPC	Control/INTSIGGGIO1/Internal ON/OFF (IntSP)
IED_000000006	CTRL	INTSIGGGIO1	SPCSO4	stVal	SPC	Control/INTSIGGGIO1/Internal ON/OFF (IntSP)
IED_000000006	CTRL	INTSIGGGIO1	SPCSO5	stVal	SPC	Control/INTSIGGGIO1/Internal ON/OFF (IntSP)
IED_000000006	CTRL	EXTSIGGGIO1	Mod	stVal	INC	Control/EXTSIGGGIO1/Mode
IED_000000006	CTRL	EXTSIGGGIO1	Beh	stVal	INS	Control/EXTSIGGGIO1/Behaviour
IED_000000006	CTRL	EXTSIGGGIO1	Health	stVal	INS	Control/EXTSIGGGIO1/State
IED_000000006	CTRL	EXTSIGGGIO1	SPCSO1	stVal	SPC	Control/EXTSIGGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)
IED_000000006	CTRL	EXTSIGGGIO1	SPCSO2	stVal	SPC	Control/EXTSIGGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)
IED_000000006	CTRL	EXTSIGGGIO1	SPCSO3	stVal	SPC	Control/EXTSIGGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)
IED_000000006	CTRL	EXTSIGGGIO1	SPCSO4	stVal	SPC	Control/EXTSIGGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)
IED_000000006	CTRL	EXTSIGGGIO1	SPCSO5	stVal	SPC	Control/EXTSIGGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)

Fonte: Acervo Pessoal

A Figura 40 mostra o mapeamento das mensagens GOOSE no software de configuração do relé de proteção IED_000000006.

A Figura 39 mostra os DATASETS utilizadas no laboratório de teste para o IED_000000006.

Figura 39 - Configuração dos DATASETs do IED_000000006

IED_000000006/CTRL/LLNO/DataSet_1							
Name	Application ID	MAC address	Config revision	Monitoring time		VLAN	
				minimum	maximum	ID	Priority
Control_DataSet_1	IED_000000006/CTRL/LLNO/Control_DataSet_1	01-0C-CD-01-00-06	10001	10 ms	2000 ms	0	4
NETWORK1	1						
IED_000000006/CTRL/LLNO/DataSet_2							
Name	Application ID	MAC address	Config revision	Monitoring time		VLAN	
				minimum	maximum	ID	Priority
Control_DataSet_2	IED_000000006/CTRL/LLNO/Control_DataSet_2	01-0C-CD-01-00-07	10001	10 ms	2000 ms	0	4
NETWORK1	1						
IED_000000006/CTRL/LLNO/DataSet_3							
Name	Application ID	MAC address	Config revision	Monitoring time		VLAN	
				minimum	maximum	ID	Priority
Control_DataSet_3	IED_000000006/CTRL/LLNO/Control_DataSet_3	01-0C-CD-01-00-08	10001	10 ms	2000 ms	0	4
NETWORK1	1						
IED_000000006/CTRL/LLNO/DataSet_4							
Name	Application ID	MAC address	Config revision	Monitoring time		VLAN	
				minimum	maximum	ID	Priority
Control_DataSet_4	IED_000000006/CTRL/LLNO/Control_DataSet_4	01-0C-CD-01-00-09	10001	10 ms	2000 ms	0	4
NETWORK1	1						

Fonte: Software DIGSI 4 - Acervo Pessoal

Nesse caso o fabricante disponibiliza um catálogo com todos os pontos GOOSE disponíveis, através do qual é realizado o mapeamento GOOSE, com ele o relé será capaz de verificar a rede IEC 61850 e receber a informação que lhe interessa para uso interno. A Figura 41 mostra o catálogo de endereços disponível.

Figura 40 - Mapeamento GOOSE IED_000000006

GOOSE messages					
Source	CDC	Description	NETWORK1	Destination	Description
▼ IEC 61850 station				*	
▼ DISJUNTOR					
▶ IED_000000002/CTRL/LLN0/DataSet_5 (2/100)			✓		
▼ LOCALREMOTO				*	
▶ IED_000000006/CTRL/LLN0/DataSet (2/100)			✓	*	
▶ IED_000000002/CTRL/LLN0/DataSet_4 (2/100)			✓	*	
▼ FUNCTIONSKEYS				*	
▼ IED_000000006/CTRL/LLN0/DataSet_2 (2/100)			✓	*	
▶ IED_000000006/CTRL/INTSISGGIO1/SPCSO3	SPC	Control/INTSISGGIO1/Internal ON/OFF (IntSP)			
▶ Status value	SPC				
▶ IED_000000006/CTRL/INTSISGGIO1/SPCSO3/Status value	SPC	Control/INTSISGGIO1/Internal ON/OFF (IntSP)/Status value		IED_000000002/CTRL/EXTSISGGIO1/SPCSO2	Control/EXTSISGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)
▼ IED_000000006/CTRL/LLN0/DataSet_1 (2/100)			✓	*	
▶ IED_000000006/CTRL/INTSISGGIO1/SPCSO2	SPC	Control/INTSISGGIO1/Internal ON/OFF (IntSP)			
▶ Status value	SPC				
▶ IED_000000006/CTRL/INTSISGGIO1/SPCSO2/Status value	SPC	Control/INTSISGGIO1/Internal ON/OFF (IntSP)/Status value		IED_000000002/CTRL/EXTSISGGIO1/SPCSO1	Control/EXTSISGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)
▼ IED_000000006/CTRL/LLN0/DataSet_4 (2/100)			✓	*	
▶ IED_000000006/CTRL/INTSISGGIO1/SPCSO5	SPC	Control/INTSISGGIO1/Internal ON/OFF (IntSP)			
▶ Status value	SPC				
▶ IED_000000006/CTRL/INTSISGGIO1/SPCSO5/Status value	SPC	Control/INTSISGGIO1/Internal ON/OFF (IntSP)/Status value		IED_000000002/CTRL/EXTSISGGIO1/SPCSO4	Control/EXTSISGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)
▼ IED_000000006/CTRL/LLN0/DataSet_3 (2/100)			✓	*	
▶ IED_000000006/CTRL/INTSISGGIO1/SPCSO4	SPC	Control/INTSISGGIO1/Internal ON/OFF (IntSP)			
▶ Status value	SPC				
▶ IED_000000006/CTRL/INTSISGGIO1/SPCSO4/Status value	SPC	Control/INTSISGGIO1/Internal ON/OFF (IntSP)/Status value		IED_000000002/CTRL/EXTSISGGIO1/SPCSO3	Control/EXTSISGGIO1/external Single Point ON/OFF (ExSP)

Fonte: Software DIGSI 4 - Acervo Pessoal

Figura 41 - Catálogo de pontos do IED_000000006

Fonte: Software DIGSI 4 - Acervo Pessoal

4.2.3 Preparação da documentação

Como mencionado no Capítulo 3, os arquivos de configurações IEC 61850 dos IEDs possuem vários tipos de informação dos equipamentos e da subestação. Essas informações podem ser utilizadas para se ter um panorama completo da automação da subestação. A característica de possuir várias informações tornam esses arquivos complexos de serem analisados. Um profissional experiente é capaz de, ao abrir um desses arquivos, encontrar todas as informações que ele necessitar. Entretanto, quando se fala de uma subestação em operação, nem sempre existem profissionais capazes de analisar esses arquivos; inclusive, em uma situação de falha, é possível que não haja tempo para tal análise.

Visando auxiliar os responsáveis pela operação e manutenção de subestação é possível extrair desses arquivos as informações que os auxiliem em uma análise de falha ou ampliação. Somente extrair as informações não é o suficiente, é preciso apresentá-las de forma que possam ser interpretadas e úteis a quem deve utilizá-las.

Foi necessário se eleger algumas das informações para fazerem parte da documentação. A Tabela 5 mostra as informações que foram escolhidas para fazer parte da documentação. Vale destacar que outras informações podem vir

a fazer parte da documentação, podendo os usuários da metodologia fazerem as customizações necessárias.

Tabela 5 - Dados selecionados para a documentação

Dado	Função
IEDname	Nome do IED
IP	Endereço IP dos IED
Mask	Mascará de rede onde está o IP
Gateway	Endereço IP do Gateway
MAC	Endereço MAC do GOOSE
VLAN-ID	ID da VLAN onde está o GOOSE
VLAN-PRIORITY	Número da prioridade da VLAN
APPID	Número do APPID
Logical Device	Nome do Logical Device
Logical Node	Nome do Logical Node
DataSet	Nome do Dataset GOOSE
Prefix	Nome do Prefixo no Dataset
InClass	Nome da Classe no Dataset
InInst	Número da Instância no Dataset
doName	Nome do Objeto no Dataset
daName	Nome do Atributo no Dataset
Inputs ExtRef	Indica que é um GOOSE externo ao IED
IEDname	Nome do IED que está enviado o GOOSE
InClass	Nome da Classe no Dataset
InInst	Número da Instância no Dataset
doName	Nome do Objeto no Dataset
daName	Nome do Atributo no Dataset
IntAddr	Localização do ponto interno onde o GOOSE será recebido

Fonte: Acervo Pessoal

Utilizando como base o arquivo SCD de configuração IEC 61850 dos IEDs, foram obtidas as informações selecionadas para a preparação da documentação. Da configuração de comunicação, foram selecionadas as informações de endereçamento, IP do IED, MAC do GOOSE, APPID, VLAN, entre outras, conforme mostrado na Figura 42.

Figura 42 - Configuração Comunicação

```

<Communication>
  <SubNetwork name="NETWORK1" type="8-MMS">
    <Private type="Siemens-Start-Address">172.16.0.1</Private>
    <ConnectedAP iedName="IED_000000002" apName="P1">
      <Private type="Siemens-Redundant-SubnetId">1</Private>
      <Address>
        <P type="OSI-AP-Title">1.3.9999.23</P>
        <P type="OSI-AE-Qualifier">23</P>
        <P type="OSI-PSEL">00000001</P>
        <P type="OSI-SSEL">0001</P>
        <P type="OSI-TSEL">0001</P>
        <P type="IP" xsi:type="tP_IP">192.192.192.1</P>
        <P type="IP-SUBNET" xsi:type="tP_IP-
SUBNET">255.255.255.0</P>
        <P type="IP-GATEWAY" xsi:type="tP_IP-GATEWAY">0.0.0.0</P>
      </Address>
      <GSE IdInst="CTRL" cbName="Control_DataSet">
        <Address>
          <P type="MAC-Address" xsi:type="tP_MAC-
Address">01-0C-CD-01-00-00</P>
          <P type="VLAN-ID" xsi:type="tP_VLAN-ID">000</P>
          <P type="VLAN-PRIORITY" xsi:type="tP_VLAN-
PRIORITY">4</P>
          <P type="APPID" xsi:type="tP_APPID">0001</P>
        </Address>
        <MinTime unit="s" multiplier="m">10</MinTime>
        <MaxTime unit="s" multiplier="m">2000</MaxTime>
      </GSE>
    </ConnectedAP>
  </SubNetwork>
</Communication>

```

Fonte: Acervo Pessoal

Dentro da configuração “IED”, existem os LD (Logical Devices), e dentro deles os LN (Logical Nodes). Dentro de cada LD existe um LN chamado “LLN0”, definido como LN geral, que possui todos os Datasets, ou seja, todas as informações que um respectivo IED está publicando em uma rede IEC 61850 via protocolo GOOSE. A Figura 43 mostra a estrutura de um LLN0.

Figura 43 - Estrutura de um LLN0

```

<LN0 InClass="LLN0" inst="" InType="IED_000000002/CTRL/LLN0"
desc="General">
    <DataSet name="DataSet">
        <Private type="Siemens-GUID">
            224dccc0b9e14f4fb2244e3e47dfe1ff</Private>
            <FCDA IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO"
            InInst="1" doName="SPCS06" daName="stVal" fc="ST" />
            <FCDA IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO"
            InInst="1" doName="SPCS06" daName="q" fc="ST" />
        </DataSet>
        <DataSet name="DataSet_1">
            <Private type="Siemens-GUID">
                5c20528e68ca413485c771f48cb76618</Private>
                <FCDA IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO"
                InInst="1" doName="SPCS07" daName="stVal" fc="ST" />
                <FCDA IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO"
                InInst="1" doName="SPCS07" daName="q" fc="ST" />
            </DataSet>
            <DataSet name="DataSet_2">
                <Private type="Siemens-GUID">
                    81088f5ed9e343ccafb2d92a72715342</Private>
                    <FCDA IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO"
                    InInst="1" doName="SPCS08" daName="stVal" fc="ST" />
                    <FCDA IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO"
                    InInst="1" doName="SPCS08" daName="q" fc="ST" />
                </DataSet>
            </DataSet>
        </DataSet>
    </DataSet>

```

Fonte: Acervo Pessoal

Sempre que um *Dataset*, ou seja, uma informação ou um conjunto de informações a serem publicadas via protocolo GOOSE, for configurado em um IED, ela encontrar-se-á no LLN0.

Por outro lado, dentro de cada *Logical Node* específico existe uma configuração responsável pelas informações que um IED receberá de outro IED. Essa configuração é denominada Input, conforme mostra a Figura 44. Nessa configuração estão todas as informações que um IED receberá, incluindo qual é o ponto específico e de qual IED ele deve receber.

Figura 44 - Estrutura da Inputs

```

<Inputs>
  <Private type="Siemens_SiedigExtRefs">
    <siedig:ExtRefs>
      <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCS02"
daName="stVal" intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCS01/stVal"
controlBaseRef="125e0a40add1492381516a397f6076f9" />
      <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCS02" daName="q"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCS01/q" controlBaseRef="125e0a40add1492381516a397f6076f9" />
      <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCS03"
daName="stVal" intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCS02/stVal"
controlBaseRef="8abbee9115a6446794064eaa6e340274" />
      <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCS03" daName="q"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCS02/q" controlBaseRef="8abbee9115a6446794064eaa6e340274" />
      <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCS04"
daName="stVal" intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCS03/stVal"
controlBaseRef="bcb146279eac4b1dba03d962cc3d0c85" />
      <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCS04" daName="q"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCS03/q" controlBaseRef="bcb146279eac4b1dba03d962cc3d0c85" />
      <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCS05"
daName="stVal" intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCS04/stVal"
controlBaseRef="8c9619cf52574e78a4a0dad6bdf58374" />
      <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCS05" daName="q"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCS04/q" controlBaseRef="8c9619cf52574e78a4a0dad6bdf58374" />
      <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" InClass="LLN0" InInst="" doName="Loc" daName="stVal"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCS05/stVal" controlBaseRef="823f062e76cb4dd6a2d88dcd10461729" />
      <siedig:ExtRef
iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" InClass="LLN0" InInst="" doName="Loc" daName="q"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCS05/q" controlBaseRef="823f062e76cb4dd6a2d88dcd10461729" />
    </siedig:ExtRefs>
  </Private>
</Inputs>

```

Fonte: Acervo Pessoal

De posse dessas três configurações, *Communications*, *Datasets* e *Inputs*, é possível cruzar as informações de envio e recebimento de mensagens GOOSE e por consequência preparar uma documentação fiel à configuração que está em execução na subestação.

4.3 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA - SOFTWARE DE ANÁLISE

Para facilitar o estudo e validar a aplicação da metodologia proposta nessa pesquisa, foi desenvolvida uma ferramenta para a análise prévia dos arquivos de configuração IEC 61850 dos IEDs. A Figura 45 mostra a lógica aplicada, cujo detalhamento é feito no item 4.3.2.

Figura 45 - Fluxograma básico da ferramenta

Fonte: Acervo Pessoal

O intuito da ferramenta é verificar as informações que foram extraídas dos arquivos antes de documentá-las. Logo, ela disponibiliza os dados extraídos dos arquivos de forma simples e objetiva, facilitando sua análise pelos usuários.

Encontrar e separar as informações dentro do arquivo de configuração é a função principal da ferramenta, mas não foi o principal desafio. O principal desafio foi a interoperabilidade. Isso porque a norma prevê informações

opcionais, e consequentemente os fabricantes possuem diferenças consideráveis nos seus arquivos de configurações.

Entre as várias diferenças encontradas nos arquivos dos fabricantes, a de maior impacto na documentação foi a identificação do LN. A seguir são apresentados alguns exemplos das diferenças encontradas entre os fabricantes analisados, conforme Figura 46, Figura 47, Figura 48 e Figura 49.

Figura 46 - Exemplo IED/LD/LN0 do fabricante A

```
<IED desc="Conformance enhancements" name="PN2_01TR1PR1" type="SEL_451"
  manufacturer="A" configVersion="ICD-451-R202-V0-Z311005-D20150213">
  <LDevice desc="Data Sets, BRCBs, URCBs" inst="CFG">
    <LN0 InType="LN0" InClass="LLN0" inst="">
```

Fonte: Acervo Pessoal

Figura 47 - Exemplo IED/LD/LN0 do fabricante B

```
<IED desc="7SJ641 V4.9" name="IED_000000002" type="Siprotec-7SJ6xx"
  manufacturer="B" configVersion="1.0">
  <LDevice desc="Protection" inst="PROT">
    <LN0 InClass="LLN0" inst="" InType="IED_000000002/PROT/LLN0" desc="General">
```

Fonte: Acervo Pessoal

Figura 48 – Exemplo IED/LD/LN0 do fabricante C

```
<IED type="F60 Feeder Relay" configVersion="1.0" desc="UR" name="IED5142D"
  manufacturer="C">
  <LDevice inst="LDInst">
    <LN0 InType="IED5142D/LDInst/LLN0_0" InClass="LLN0" inst="">
```

Fonte: Acervo Pessoal

Figura 49 – Exemplo IED/LD/LN0 do fabricante D

```
<IED name="UB1" desc="230KV UB1" type="C264" manufacturer="D">
  <LDevice inst="CONTROL" IdName="UB1CONTROL">
    <LN0 InClass="LLN0" InType="UB1_CONTROL_LLN0" inst="">
```

Fonte: Acervo Pessoal

É notória a diferença na formação do LN entre os quatro fabricantes analisados. Nota-se, em primeiro lugar, a sequência das informações: enquanto alguns fabricantes usam “Inlclass/Intype/Inst” outros usam “Intype/Inlclass/Inst”. Outro ponto de diferença é na composição dos “Intype”, enquanto alguns fabricantes usam um nome específico, outros usam uma concatenação entre um nome + nome do IED + LLN0.

No LD também foram encontradas diferenças; enquanto alguns fabricantes usam somente o campo “Inst”, outros usam também o campo “Desc”, que diz respeito a uma possível descrição do LD. Essas características se repetem para os LD e LN, nos arquivos analisados.

Além dos campos opcionais encontrados, ou não, nos arquivos de configurações, outra dificuldade foi em relação ao tipo de arquivo. Alguns fabricantes trabalham com o arquivo de configuração da subestação inteira, chamados SCDs, já outros trabalham com arquivos individuais relativos a somente a um IED, chamados ICDs. Há ainda fabricantes que trabalham com os arquivos de “*templates*”, os chamados CIDs.

Essas diferenças são sutis, mas criam dificuldades para a uma ferramenta que precisa garantir interoperabilidade. Foi realmente um grande desafio encontrar uma convergência entre os fabricantes para garantir que a ferramenta identificasse de forma adequada as informações nos arquivos dos diversos fabricantes.

Para conciliar essas diferenças foi necessário utilizar uma concatenação de campos visando certificar a correta seleção dos LN.

4.3.1 Ambiente de desenvolvimento

Foi escolhido por questões de afinidade o ambiente de desenvolvimento Delphi da fabricante “Embarcadero”, conforme mostrado na Figura 50. Esse ambiente utiliza o conceito de programação orientada a objeto, mesmo conceito aplicado na IEC 61850, e a linguagem de programação PASCAL.

A plataforma utilizada foi licenciada com uma licença de estudante, garantindo todas as funcionalidades, mas impedindo o uso comercial da ferramenta desenvolvida. Como o desenvolvimento da ferramenta tem o intuito somente de validar a metodologia, esse tipo de licença está adequado.

Entretanto, vale destacar que o conceito aqui apresentado pode ser aplicado para se desenvolver uma ferramenta comercial.

4.3.2 Desenvolvimento do código

O código desenvolvido possui algo em torno de 560 linhas de programação e tem sua base no fluxograma mostrado na Figura 45. Ele é composto de três blocos, sendo o primeiro responsável por carregar o arquivo de configuração da subestação ou IED (SCD, ICD ou CID) na memória do programa, o segundo é o responsável por encontrar as configurações dos IEDs, LD, LN e inputs dentro do arquivo de configuração e o terceiro é o responsável por criar o arquivo de saída que será utilizado para plotar as informações no AUTOCAD®.

Esse arquivo gerado no último bloco do fluxograma em questão, será utilizado pela API apresentada no item 4.4, subitem 4.4.2.3, pois é nele que contém as informações que farão parte da documentação do protocolo GOOSE.

Como o Delphi é uma plataforma de programação cujo foco é a interação com o usuário, a ferramenta segue essa mesma característica, ou seja, ela foi desenvolvida de forma a permitir a interação completa do usuário. A Figura 51 mostra a interface da ferramenta finalizada com os destaques dos campos que serão detalhados a seguir.

A ideia da ferramenta é que ela seja intuitiva, ou seja, que mesmo sem um manual específico o usuário seja capaz de usá-la. O uso dela é bem simples pois existem poucos comandos para serem executados. A seguir será destacado cada campo de forma individual.

Figura 50 - Ambiente de desenvolvimento Delphi

Fonte: Acervo Pessoal

Figura 51 - Interface da ferramenta de análise

The image shows the 'Programa Converte SCD' interface. It features a top toolbar with buttons for 'Encontrar IEDs', 'Abrir Arquivo', 'Fechar', and 'Exportar Arquivo'. Below the toolbar are several input fields and sections: 'Seleção o IED desejado' (5), 'Seleção o Logical Devices desejado' (4), 'Linhas Arquivo' (2), 'Total IEDs', and 'Seleção o Logical Nodes desejado' (6). The main area is divided into four sections: 'Arquivo Completo' (7), 'Comunicação' (8), 'Configuração do Logical Node Selecionado' (9), 'Datasets' (10), and 'Inputs' (11). A progress bar is located at the bottom.

Programa Converte SCD -

Seleção o IED desejado 5 Seleção o Logical Devices desejado 4 Linhas Arquivo 2 Total IEDs

Seleção o Logical Nodes desejado 6

Encontrar IEDs 1 Abrir Arquivo Fechar Exportar Arquivo

Arquivo Completo 7 Comunicação 8

Configuração do Logical Node Selecionado 9

Datasets 10

Inputs 11

Barra de Progresso!!!

Fonte: Acervo Pessoal

4.3.2.1 Botões de Comando

O destaque “1”, na Figura 51, mostra os botões de comando da ferramenta de análise, os quais são mais bem detalhados na Figura 52 e possuem as seguintes funções:

Figura 52 - Botões de comando

Fonte: Acervo Pessoal

4.3.2.1.1 Abrir Arquivo

A função do botão “Abrir Arquivo” é permitir ao usuário selecionar o arquivo que ele deseja analisar. A Figura 53 mostra a tela de procura de arquivo. Nota-se no canto inferior direito que a ferramenta só permite a seleção de arquivos com as extensões SCD, CID ou ICD, que são referentes aos arquivos de configurações da norma IEC 61850.

Figura 53 - Selecionar arquivo de configuração

Fonte: Acervo Pessoal

Após o arquivo ser selecionado ele será carregado na memória do programa e estará pronto para ser manipulado.

4.3.2.1.2 Encontrar IED

A função do botão “Encontrar IED” é localizar dentro do arquivo selecionado todos os IEDs que estão disponíveis no arquivo. Quando o tipo de arquivo selecionado for SCD, mais de um IED pode existir. Por outro lado, se o arquivo for do tipo ICD ou CID, somente um IED será encontrado.

4.3.2.1.3 Fechar

A função do botão “Fechar” é encerrar a ferramenta de análise. A ferramenta não tem a função de edição do arquivo de configuração, ela somente permite a análise dos dados. Se for necessária qualquer alteração manual no arquivo outro programa específico deverá ser utilizado.

4.3.2.1.4 Exportar Arquivo

A função do botão “Exportar Arquivo” é permitir a construção de um arquivo no padrão que será plotado no AUTOCAD®, a ser discutido no próximo capítulo. A Figura 54 mostra o processo de exportação.

Figura 54 - Exportar arquivo ploter

Fonte: Acervo Pessoal

A ferramenta exportará um arquivo com a extensão PI6 (Plotter IEC 61850), que diz respeito a um arquivo IEC 61850 cujos dados estão prontos para serem plotados no AUTOCAD®. Essa extensão foi definida para se ter um arquivo de tipo diferente de modo a não o confundir com os arquivos de configurações convencionais.

Um outro ponto para se usar esse arquivo intermediário é o fato de se colocar no mesmo somente os dados que precisam ser plotados. As demais informações que estão no arquivo original, mas não são necessárias para esse caso não constam no arquivo PI6. A Figura A. 1 mostra um exemplo do arquivo intermediário.

4.3.2.2 Contadores da Ferramenta

O destaque “2”, na Figura 51, mostra os contadores que são os responsáveis por indicar a quantidade de linhas que existem no arquivo de configuração em análise, para que o usuário tenha ideia do tamanho deste arquivo. O número total de IEDs informa quantos IEDs existem no arquivo de configuração, conforme mostra a Figura 55.

Figura 55 - Contadores da ferramenta

Linhas Arquivo	Total IEDs
150950	10

Fonte: Acervo Pessoal

4.3.2.3 Comando de Seleção

O destaque “3”, na Figura 51, mostra os comandos de seleção disponíveis na ferramenta, composto pela seleção do IED, seleção do LD e a seleção do LN. Eles são fundamentais na sua estrutura, pois permitem que os usuários visualizem as informações que serão documentadas, além de permitir a análise prévia dos dados. Os comandos de seleção são três, conforme mostrado na Figura 56.

Figura 56 - Comandos de seleção da ferramenta

Fonte: Acervo Pessoal

4.3.2.3.1 Seleção do IED

O destaque “5”, na Figura 51, mostra a função de seleção de um IED. Sempre será necessário selecionar um IED para ser analisado. Isso faz-se necessário porque a ferramenta pode abrir arquivos com configurações individuais da subestação. A Figura 57 mostra uma lista exemplo de um arquivo de configuração de uma subestação, onde contam diversos IEDs.

Figura 57 - Caixa de seleção de IED

Fonte: Acervo Pessoal

4.3.2.3.2 Seleção do *Logical Device*

O destaque “4”, na Figura 51, mostra a função de seleção de um LD. Em um arquivo de configuração pode existir um ou mais LD. Normalmente vários LD estarão disponíveis para seleção. Lembrando que, na estrutura de dados previstos na norma IEC 61850 os LD estão dentro dos IEDs e os LN estão dentro dos LD. A Figura 58 mostra uma lista dos LD disponíveis em um arquivo de configuração.

Figura 58 - Caixa de seleção de *Logical Devices*

Fonte: Acervo Pessoal

4.3.2.3.3 Seleção do *Logical Nodes*

O destaque “6”, na Figura 51, mostra a função de seleção de LN. Em um arquivo de configuração normalmente existem vários LN e eles estarão disponíveis para seleção. Lembrando que na estrutura de dados prevista na norma IEC 61850, os LN estão vinculados aos LD, que estão vinculados aos IEDs. Logo, ao selecionar um LD a ferramenta fará um filtro e somente deixará disponíveis os LN que estão vinculados ao respectivo LD. A Figura 59 mostra uma lista de LN disponíveis em uma configuração.

Figura 59 - Caixa de seleção de *Logical Nodes*

Fonte: Acervo Pessoal

4.3.2.4 Exibição dos dados

Os dados disponíveis no arquivo de configurações são exibidos em cinco caixas de texto. Cada caixa possui uma barra de rolagem que permite a navegação entre os dados. Os dados poderão ser analisados e copiados para serem utilizados em outra ferramenta ou mesmo para relatórios, mas eles não serão alterados no arquivo original. Esse procedimento visa garantir que não haja alterações indevidas nos arquivos originais.

4.3.2.4.1 Arquivo completo

O destaque “7”, na Figura 51, mostra a caixa de texto com o arquivo completo, ou seja, com todas as configurações que o fabricante tiver inserido no mesmo. Essa caixa é útil caso seja necessário visualizar o arquivo original. Na Figura 60 é mostrado um exemplo de uma caixa com o arquivo original.

Figura 60 – Caixa de texto com o arquivo original completo

Fonte: Acervo Pessoal

4.3.2.4.2 Comunicação

O destaque “8” na Figura 51 mostra a caixa de texto com a parte de comunicação, tais como, endereços IP, MAC e máscara de rede, além de outros parâmetros como, APPID, MAC do GOOSE, VLAN, etc. A Figura 61 abaixo, mostra um exemplo de uma caixa de comunicação.

Figura 61 – Caixa de texto com as informações de comunicação

Fonte: Acervo Pessoal

4.3.2.4.3 Dados do Logical Node

O destaque “9”, na Figura 51, mostra a caixa de texto com os dados do LN. Dento dos LN é que se encontram as mensagens GOOSE propriamente ditas, sejam elas de entrada ou saída. A ferramenta permite a análise completa dos LN para complementar a análise individual dos GOOSE, caso necessário. A Figura 62 mostra um exemplo de uma caixa de texto com os dados do LN.

Figura 62 – Caixa de texto com as informações dos *logicals nodes*

Fonte: Acervo Pessoal

4.3.2.4.4 Dados dos *DataSets*

O destaque “10”, na Figura 51, mostra a caixa de texto com os *Datasets*, onde estão inseridas as mensagens GOOSE do LD/LN propriamente ditas. Nessa caixa é possível visualizar todos os GOOSEs que estão sendo publicados que estão vinculados aos respectivos LD e LN. Essa caixa permite saber qual é o *Data Object* e o *Data Attribute* do GOOSE. A Figura 63 mostra um exemplo de uma caixa de texto com os dados do *Datasets*.

Figura 63 – Caixa de texto com as informações dos *datasets*

Fonte: Acervo Pessoal

4.3.2.4.5 Dados das Inputs

O destaque “11”, na Figura 51, mostra a caixa de texto com os dados de Inputs que, é responsável por mostrar todos os GOOSEs que o IED está recebendo na rede. A análise, nesse caso, também pode ser criteriosa, pois permite saber exatamente a origem da mensagem, ou seja, quem está enviando a mensagem e de qual ponto está sendo enviada. A Figura 64 mostra a caixa de texto com os dados de Input de um IED.

Figura 64 – Caixa de texto com as informações das inputs

```

Inputs
<Inputs>
<ExtRef iedName="PN2_01TR1PP1" ldInst="ANN" prefix="SV" lnClass="GGIO" lnInst="3" doName="Ind20" daName="stVal"
intAddr="VB002|q=0x1807" serviceType="GOOSE" srclDInst="CFG" srclNClass="LLN0" srclBName="Gpub01" />

<ExtRef iedName="PN2_01TR1PP1" ldInst="ANN" prefix="SV" lnClass="GGIO" lnInst="3" doName="Ind21" daName="stVal"
intAddr="VB003|q=0x1807" serviceType="GOOSE" srclDInst="CFG" srclNClass="LLN0" srclBName="Gpub01" />

<ExtRef iedName="PN2_01TR1PP1" ldInst="ANN" prefix="LT" lnClass="GGIO" lnInst="5" doName="Ind03" daName="stVal"
intAddr="VB001|q=0x1807" serviceType="GOOSE" srclDInst="CFG" srclNClass="LLN0" srclBName="Gpub01" />

<ExtRef iedName="PN2_01TR1PP1" ldInst="ANN" prefix="SV" lnClass="GGIO" lnInst="3" doName="Ind22" daName="stVal"
intAddr="VB004|q=0x1807" serviceType="GOOSE" srclDInst="CFG" srclNClass="LLN0" srclBName="Gpub01" />
</Inputs>

```

Fonte: Acervo Pessoal

4.3.2.5 Análise *Publisher/Subscriber*

A Figura 65 demonstra a origem e o destino de uma mensagem GOOSE, extraída de um arquivo de configuração. Nesse caso o “IED_000000002” publica, na rede, uma mensagem relativa à função de controle de IED (*logical device* = CTRL, *logical node* = LLN0). Essa mensagem informa sobre um *dataset* que inclui informações de valor (stVal) e qualidade (q) do objeto de dados CTRL.GGIO1.SPCSO6. Essa mensagem é assinada pelo *subscriber* “IED_000000006”, que a recebe dentro da estrutura “input” do *logical node* GGIO1 do *logical device* CTRL.

4.4 RECURSO DE INTEGRAÇÃO COM O AUTOCAD®

Como mencionado no Capítulo 2, a documentação das subestações é peça fundamental na operação das mesmas, ou seja, é muito difícil realizar qualquer intervenção sem se ter esses documentos em mãos e atualizados, caso contrário se exige muito mais energia e com uma chance de erro que aumenta significativamente.

Também foi mencionado, naquele capítulo, que normalmente essa documentação está disponível no padrão editável AUTOCAD®. Portanto, a última etapa do processo de pesquisa foi verificar como seria possível colocar as informações do protocolo GOOSE nesse padrão já utilizado.

No Capítulo 4 foi mencionado que a ferramenta de análise possui a característica de exportar um arquivo intermediário somente com as informações que precisam ser plotadas no AUTOCAD®, portanto ele é o elo entre os arquivos

de configurações originais e a documentação final aqui proposta. A seguir, descreve-se em detalhes como foi realizada essa integração.

4.4.1 O software AUTOCAD®

Segundo a Autodesk (AUTODESK, 2019), que é a fabricante do software, ele é um software de CAD (projeto auxiliado por computador) que arquitetos, engenheiros e profissionais de construção utilizam para criar desenhos 2D e 3D precisos. Ele pode ser utilizado para criação e edição de geometria 2D e modelos 3D com objetos sólidos, superfícies e objetos de malha. Também possibilita anotações em desenhos com texto, dimensões, tracejados e tabelas, além de possibilitar a personalização com APIs (*Application Programming Interface*) e aplicativos complementares. Esse último recurso é a peça chave para a integração dos dados do protocolo GOOSE com a documentação existente nas subestações.

Figura 65 - Analise Publisher/Subscriber

Publisher

Programa Converte SCD - C:\Users\Robson\OneDrive\Pós Graduação\Mestrado\VEARSCD\Arquivos SCD\IEC 61850 station.scd

Seleccione o IED desejado: **IED_000000002** | Seleccione o Logical Devices desejado: **CTRL** | Linhas Arquivo: 4394 | Total IEDs: 2

Seleccione o Logical Nodes desejado: **LN0 lnClass="LLN0" inst="" lnType="IED_000000002/CTRL/LLN0" desc="General"**

Encontrar IEDs | Abrir Arquivo | Exportar Arquivo | Close

Arquivo Completo

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<SCL xmlns="http://www.iec.ch/61850/2003/SCL" xmlns:scl="http://www.iec.ch/61850/2003/SCL" xsi:schemaLocation="http://www.iec.ch/61850/2003/SCL http://www.iec.ch/61850/2003/SCL" >
  <Private type="Siemens-SCLLib-V5-Version">V03.10.02.000</Private>
  <Private type="Siemens-SCLLib-V5-EditTime">01.01.2019 11:02:48</Private>
  <Private type="Siemens-Configurator-Version">V5.80</Private>
  <Private type="Siemens_SiedigGooseApplicationStorage">
    <siedig:GooseApplicationStorage>
      <siedig:MacAddrMin>01-0C-CD-01-00-00</siedig:MacAddrMin>
      <siedig:MacAddrMax>01-0C-CD-01-01-FF</siedig:MacAddrMax>
      <siedig:GooseApplication name="FUNCTIONSKEYS" desc="" profileName="PriorityLow">
```

Comunicação

```
<ConnectedAP iedName="IED_000000002" apName="P1">
  <Private type="Siemens-Redundant-SubnetId">1</Private>
  <Address>
    <P type="OSI-AP-Title">1.3.9999.23</P>
    <P type="OSI-AE-Qualifier">23</P>
    <P type="OSI-PSEL">00000001</P>
    <P type="OSI-SSEL">0001</P>
    <P type="OSI-TSEL">0001</P>
    <P type="IP" xsi:type="IP_IP">192.192.192.1</P>
    <P type="IP-SUBNET" xsi:type="IP_IP-SUBNET">255.255.255.0</P>
```

Configuração do Logical Node Selecionado

```
<LN0 lnClass="LLN0" inst="" lnType="IED_000000002/CTRL/LLN0" desc="General">
  <DataSet name="DataSet">
    <Private type="Siemens-GUID">224dccc0b9e14f4fb2244e3e47dfe1ff</Private>
    <FCDA lnInst="CTRL" prefix="INTSIG" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="SPCS06" daName="stVal" fc="ST" />
    <FCDA lnInst="CTRL" prefix="INTSIG" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="SPCS06" daName="q" fc="ST" />
  </DataSet>
  <DataSet name="DataSet_1">
    <Private type="Siemens-GUID">5c20528e68ca413485c771f48cb76618</Private>
```

Datasets

```
<DataSet name="DataSet">
  <Private type="Siemens-GUID">224dccc0b9e14f4fb2244e3e47dfe1ff</Private>
  <FCDA lnInst="CTRL" prefix="INTSIG" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="SPCS06" daName="stVal" fc="ST" />
  <FCDA lnInst="CTRL" prefix="INTSIG" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="SPCS06" daName="q" fc="ST" />
</DataSet>
<DataSet name="DataSet_1">
  <Private type="Siemens-GUID">5c20528e68ca413485c771f48cb76618</Private>
  <FCDA lnInst="CTRL" prefix="INTSIG" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="SPCS07" daName="stVal" fc="ST" />
  <FCDA lnInst="CTRL" prefix="INTSIG" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="SPCS07" daName="q" fc="ST" />
```

Inputs

Barra de Progresso!!!

Subscriber

Programa Converte SCD - C:\Users\Robson\OneDrive\Pós Graduação\Mestrado\VEARSCD\Arquivos SCD\IEC 61850 station.scd

Seleção o IED desejado: IED_000000006
 Seleção o Logical Devices desejado: CTRL
 Linhas Arquivo: 4394
 Total IEDs: 2

Seleção o Logical Nodes desejado: <LN inst="1" prefix="EXTSIG" desc="EXTSIGGGI01" lnClass="GGIO" lnType="IED_000000002/CTRL/EXTSIGGGI01">

Encontrar IEDs
 Abrir Arquivo
 Close
 Pesquisar
 Exportar Arquivo
 Salvar

Arquivo Completo

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<SCL xmlns="http://www.iec.ch/61850/2003/SCL" xmlns:scl="http://www.iec.ch/61850/2003/SCL" xsi:schemaLocation="http://www.iec.ch/61850/2003/SCL http://www.iec.ch/61850/2003/SCL.xsd">
  <Private type="Siemens-ScLib-V5-Version">V03.10.02.000</Private>
  <Private type="Siemens-ScLib-V5-EditTime">01.01.2019 11:02:48</Private>
  <Private type="Siemens-Configurator-Version">V5.80</Private>
  <Private type="Siemens_SiedigGooseApplicationStorage">
    <siedig:GooseApplicationStorage>
      <siedig:MacAddrMin>01-0C-CD-01-00-00</siedig:MacAddrMin>
      <siedig:MacAddrMax>01-0C-CD-01-01-FF</siedig:MacAddrMax>
      <siedig:GooseApplication name="FUNCTIONSKEYS" desc="" profileName="PriorityLow">

```

Comunicação

```
<ConnectedAP iedName="IED_000000006" apName="P1">
  <Private type="Siemens-Redundant-SubnetId">1</Private>
  <Address>
    <P type="OSI-AP-Title">1.3.9999.23</P>
    <P type="OSI-AE-Qualifier">23</P>
    <P type="OSI-PSEL">00000001</P>
    <P type="OSI-SSEL">0001</P>
    <P type="OSI-TSEL">0001</P>
    <P type="IP" xsi:type="IP_IP">192.192.192.2</P>
    <P type="IP-SUBNET" xsi:type="IP_IP-SUBNET">255.255.255.0</P>

```

Configuração do Logical Node Selecionado

```
<LN inst="1" prefix="EXTSIG" desc="EXTSIGGGI01" lnClass="GGIO" lnType="IED_000000002/CTRL/EXTSIGGGI01">
  <Private type="IsNodeProcessed" />
  <ReportControl name="uocbA" rptID="IED_000000006CTRL/EXTSIGGGI01$RP$urcbA01" confRev="0" bufTime="100" buffered="false">
    <TrgOps dchg="true" qchg="true" dupd="true" period="true" />
    <DptFields seqNum="true" timeStamp="true" dataSet="true" reasonCode="true" dataRef="false" configRef="true" />
    <RptEnabled max="1" />
  </ReportControl>

```

Datasets

Inputs

```
<Inputs>
  <Private type="Siemens_SiedigExtRefs">
    <siedig:ExtRefs>
      <siedig:ExtRef iedName="IED_000000002" lnInst="CTRL" prefix="INTSIG" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="SPCS06" daName="stVal" intAddr="CTRL/EXTSIGGGI01/ST/SPCS06" />
      <siedig:ExtRef iedName="IED_000000002" lnInst="CTRL" prefix="INTSIG" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="SPCS06" daName="q" intAddr="CTRL/EXTSIGGGI01/ST/SPCS06" />
      <siedig:ExtRef iedName="IED_000000002" lnInst="CTRL" prefix="INTSIG" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="SPCS07" daName="stVal" intAddr="CTRL/EXTSIGGGI01/ST/SPCS07" />
      <siedig:ExtRef iedName="IED_000000002" lnInst="CTRL" prefix="INTSIG" lnClass="GGIO" lnInst="1" doName="SPCS07" daName="n" intAddr="CTRL/EXTSIGGGI01/ST/SPCS07" />
    </siedig:ExtRefs>
  </Private>

```

Barra de Progresso!!!

Fonte: Acervo Pessoal

O AUTOCAD® é uma ferramenta muito versátil e possui várias aplicações. Entre seus módulos estão o AutoCAD *Architecture*, AutoCAD *Electrical*, AutoCAD Map 3D, AutoCAD *Mechanical*, AutoCAD MEP, AutoCAD *Plant* 3D e AutoCAD *Raster Design*. A Figura 66 mostra alguns dos módulos do AUTOCAD®.

Figura 66 - Ferramenta AUTOCAD®

Fonte: Autocad Software

4.4.1.1 APIs no AUTOCAD®

O software AUTOCAD® fornece uma plataforma de desenvolvimento flexível para aplicativos especializados de projeto e desenho. Sua arquitetura aberta permite que você personalize o AUTOCAD® para atender às suas necessidades exclusivas. Alguns exemplos de personalizações incluem o software de design específico da indústria da Autodesk e milhares de aplicativos complementares de membros da Autodesk *Developer Network*. Entre os recursos de personalização está a API .NET do AutoCAD, que foi o recurso utilizado para desenvolver a integração da documentação do protocolo GOOSE com o AUTOCAD®.

Os componentes da documentação do .NET são instalados como parte do SDK (*Software development kit*) do ObjectARX. A partir do AUTOCAD® 2018, os guias .NET *Developer* e *Reference* estão disponíveis on-line também como parte do SDK do ObjectARX. Em versões anteriores, o .NET *Developer's Guide* estava disponível apenas no sistema de Ajuda do AutoCAD e o .NET *Reference Guide* estava disponível apenas como parte do SDK do ObjectARX.

A Autodesk possui um recurso on-line chamado “*AUTODESK KNOWLEDGE NETWORK*” que tem por finalidade constituir um rico repositório de mais de um milhão de contribuições da Autodesk, sua comunidade e seus parceiros. A ideia principal é que seus usuários possam compartilhar seus conhecimentos entre si, tornando a ferramenta cada vez mais completa. A Figura 67 mostra o ambiente on-line de colaboração.

4.4.2 Desenvolvimento da integração

Utilizando o recurso de desenvolvimento de API do AUTOCAD® foi possível desenvolver uma DLL (*Data Link Library*) capaz de plotar as informações exportadas pela ferramenta de análise no arquivo PI6. Essa DLL utiliza algumas outras disponíveis no pacote SDK do ObjectARX. A Tabela 6 mostra os recursos das DLLs utilizados.

Tabela 6 - Recursos de Integração do AUTOCAD®

Imports	Autodesk.AutoCAD.Runtime
Imports	Autodesk.AutoCAD.ApplicationServices
Imports	Autodesk.AutoCAD.DatabaseServices
Imports	Autodesk.AutoCAD.Geometry
Imports	System.Windows.Forms

Fonte: Acervo Pessoal

4.4.2.1 Ambiente de desenvolvimento

Diferente da plataforma de desenvolvimento da ferramenta de análise, o recurso de integração com o AUTOCAD® foi desenvolvido utilizando o Microsoft Visual Studio, utilizando a linguagem de programação .NET. Esse ambiente e essa linguagem foram necessários porque constituem o padrão utilizado pela Autodesk para o desenvolvimento de APIs, inclusive as DLLs que contém alguns dos recursos de integração, tais como, os comandos de desenho do AUTOCAD®. A Figura 68 mostra o ambiente de desenvolvimento do Visual Studio.

Assim como a plataforma Embarcadero Delphi, a ferramenta Microsoft Visual Studio foi licenciada com uma licença de estudante, garantindo todas as funcionalidades, mas impedindo o uso comercial da ferramenta desenvolvida. Como o desenvolvimento da ferramenta tem o intuito somente de validar a metodologia, esse tipo de licença está adequado. Entretanto, vale destacar que o conceito aqui apresentado pode ser aplicado para se desenvolver uma ferramenta comercial.

4.4.2.2 Desenvolvimento da API

A API desenvolvida tem como função abrir o arquivo exportado pela ferramenta descrita no Capítulo 5 e utilizando os comandos do AUTOCAD®, plotar as informações contidas nele no ambiente do AUTOCAD®. O fluxograma da Figura 69 mostra o funcionamento macro da API.

O fluxograma descreve a lógica da API, primeiramente o arquivo é aberto e carregado na memória do AUTOCAD®, depois os dados são localizados no arquivo e plotados de forma sequencial no ambiente de desenvolvimento do AUTOCAD®.

Figura 67 - Ambiente de colaboração On-line da Autodesk

Fonte: <https://knowledge.autodesk.com/>

Figura 68 - Ambiente de desenvolvimento Visual Studio

Fonte: Acervo Pessoal

Figura 69 - Fluxograma básico da API

Fonte: Acervo Pessoal

O código desenvolvido possui algo em torno de 800 linhas e está dividido entre análise dos dados no arquivo e plotagem dos mesmos. A análise é responsável por encontrar os dados, no arquivo, e enviá-los para a função de plotagem. Essa separação é realizada utilizando os mesmos caracteres ou conjunto de caracteres chaves do arquivo original, ou seja, a mesma metodologia aplicada na ferramenta de análise. A Tabela 7 mostra os dados escolhidos para serem plotados, dos GOOSEs publicados pelo IED.

Tabela 7 - Dados plotáveis do GOOSE OUT

Dado	Função
IEDname	Nome do IED
IP	Endereço IP dos IED
Mask	Mascará de rede onde está o IP
Gateway	Endereço IP do Gateway
MAC	Endereço MAC do GOOSE
VLAN-ID	ID da VLAN onde está o GOOSE
VLAN-PRIORITY	Número da prioridade da VLAN
APPID	Número do APPID
Logical Device	Nome do Logical Device
Logical Node	Nome do Logical Node
DataSet	Nome do Dataset GOOSE
Prefix	Nome do Prefixo no Dataset
InClass	Nome da Classe no Dataset

InInst	Número da Instância no Dataset
doName	Nome do Objeto no Dataset
daName	Nome do Atributo no Dataset

Fonte: Acervo Pessoal

A Tabela 8 mostra os dados selecionados, para serem plotados, das mensagens GOOSE recebidas pelo IED.

Tabela 8 - Dados plotáveis do GOOSE IN

Dado	Função
Inputs ExtRef	Indica que é um GOOSE externo ao IED
IEDname	Nome do IED que está enviado o GOOSE
InClass	Nome da Classe no Dataset
InInst	Número da Instância no Dataset
doName	Nome do Objeto no Dataset
daName	Nome do Atributo no Dataset
IntAddr	Localização do ponto interno onde o GOOSE será recebido

Fonte: Acervo Pessoal

A API desenvolvida utiliza basicamente dois comandos do AUTOCAD®, o comando de desenhar linha e de desenhar texto. A seguir serão abordados os comandos, individualmente.

4.4.2.2.1 Comando de desenhar texto

O comando de desenhar texto é o responsável por plotar as informações contidas no arquivo PI6; ele faz uma cópia dos dados para dentro do ambiente AUTOCAD®. Isso é possível porque as DLLs fornecidas pela Autodesk, no pacote SDK, emulam o comando como se ele fosse executado pelo usuário. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** no anexo B mostra a função de plotagem, desenvolvida na API.

4.4.2.2.2 Comando de desenhar linha

A função do comando de desenhar linha é responsável pela separação dos dados no AUTOCAD®. Ela está mais voltada para a parte estética da documentação. Ela separa os dados em caixas de texto para facilitar a visualização e por consequência, a análise por parte do usuário. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** no anexo C mostra a função de desenhar, linha desenvolvida na API.

4.4.2.3 Processo de integração

Para o processo de integração o comando NETLOAD do AUTOCAD® foi utilizado. Ele é o responsável por carregar a API desenvolvida para dentro do ambiente do AUTOCAD® e, conseqüentemente, disponibilizar os comandos e recursos inseridos na API.

O processo de integração inicia-se com a execução do comando NETLOAD e a seleção do arquivo DLL da API no ambiente AUTOCAD®, conforme mostrado na Figura 70.

Após carregar a DDL da API no ambiente AUTOCAD® o comando de abrir o arquivo PI6, "OPENFILE", torna-se disponível e torna possível carregar o arquivo na DLL, conforme a Figura 71.

Logo após carregar o arquivo PI6 na DLL, os dados são plotados no ambiente de desenvolvimento do AUTOCAD®, conforme mostrado na Figura 72.

Os dados plotados estão no padrão do AUTOCAD® e podem ser manipulados pelo usuário. Os textos são "multiline text object" e as caixas de texto na verdade são linhas, logo, toda a estrutura plotada pode ser editada e alterada para a necessidade de cada usuário, desde as informações obtidas dos arquivos IEC 61850 mantenham-se sem alteração.

Figura 70 - Execução do comando NETLOAD

Fonte: Acervo Pessoal

Figura 71 - Execução do comando OPENFILE

Fonte: Acervo Pessoal

Figura 72 - Dados plotados no Autocad

Fonte: Acervo Pessoal

5. RESULTADOS OBTIDOS

Como resultado da aplicação da metodologia foi possível gerar uma documentação do protocolo GOOSE nos padrões da documentação atual das subestações. Portanto, logo após a etapa de parametrização do sistema de proteção é possível gerar a documentação para a correta realização de testes no sistema nas etapas de Pré-FAT (Pré-Teste de Aceitação em Fábrica), FAT (Teste de Aceitação em Fábrica) e TAC (Teste de Aceitação em Campo).

Vale ressaltar que a metodologia proposta nessa pesquisa parte do pressuposto que os IEDs já estão com os dados do protocolo GOOSE devidamente configurados. Logo, um trabalho prévio de definição dos pontos deve ser realizado pelo responsável por desenvolver o sistema em conjunto com o usuário final.

A Figura 73 mostra o resultado da metodologia aplicada no arquivo de configuração do IED_000000002 do laboratório de teste.

Os dados apresentados são os que foram definidos na Tabela 5. Eles podem ser utilizados para a identificação de uma mensagem GOOSE ou a sua correlação dentro de um projeto elétrico. Por exemplo, como o nome do IED é definido no projeto elétrico e ele é um dos dados disponíveis pela metodologia, é possível identificar quais são as mensagens GOOSE que um IED definido no projeto elétrico está publicando ou subscrevendo. Como as mensagens GOOSE podem conter dados digitais ou analógicos, essa correlação pode ser estabelecida em várias partes do projeto elétrico, tais como, unifilar, trifilar, funcional, lógico, etc.

Figura 73 – Exemplo de aplicação da metodologia

	Inputs ExtRef	iedName = IED_000000006	prefix = "INTSIG	inClass = GGIO	inInst = 1	doName = SPCS02	daName = q	intAddr = CTRLXEXTSIGGGIO1/ST/SPCS01/q
Logical Node = IED_000000002/CTRLXEXTSIGGGIO1	Inputs ExtRef	iedName = IED_000000006	prefix = "INTSIG	inClass = GGIO	inInst = 1	doName = SPCS02	daName = stVal	intAddr = CTRLXEXTSIGGGIO1/ST/SPCS01/q
		prefix = "	inClass = LLNO	doName = Loc	daName = q			
	DataSet name = DataSet_4	prefix = "	inClass = LLNO	doName = Loc	daName = stVal			
		prefix = "INTSIG	inClass = GGIO	inInst = 1	doName = SPCS09	daName = q		
	DataSet name = DataSet_3	prefix = "INTSIG	inClass = GGIO	inInst = 1	doName = SPCS09	daName = stVal		
		prefix = "INTSIG	inClass = GGIO	inInst = 1	doName = SPCS08	daName = q		
	DataSet name = DataSet_2	prefix = "INTSIG	inClass = GGIO	inInst = 1	doName = SPCS08	daName = stVal		
		prefix = "INTSIG	inClass = GGIO	inInst = 1	doName = SPCS07	daName = q		
	DataSet name = DataSet_1	prefix = "INTSIG	inClass = GGIO	inInst = 1	doName = SPCS07	daName = stVal		
		prefix = "INTSIG	inClass = GGIO	inInst = 1	doName = SPCS06	daName = q		
	Logical Node = IED_000000002/CTRLLLNO	DataSet name = DataSet	prefix = "INTSIG	inClass = GGIO	inInst = 1	doName = SPCS06	daName = stVal	
Logical Device = CTRL								
GSE Logical Device = CTRL	DataSet Name = Control_DataSet_4	MAC-Address = 01-0C-CD-01-00-04	VLAN-ID = 000	VLAN-PRIORITY = 4	APPID = 0002			
GSE Logical Device = CTRL	DataSet Name = Control_DataSet_3	MAC-Address = 01-0C-CD-01-00-03	VLAN-ID = 000	VLAN-PRIORITY = 4	APPID = 0001			
GSE Logical Device = CTRL	DataSet Name = Control_DataSet_2	MAC-Address = 01-0C-CD-01-00-02	VLAN-ID = 000	VLAN-PRIORITY = 4	APPID = 0001			
GSE Logical Device = CTRL	DataSet Name = Control_DataSet_1	MAC-Address = 01-0C-CD-01-00-01	VLAN-ID = 000	VLAN-PRIORITY = 4	APPID = 0001			
GSE Logical Device = CTRL	DataSet Name = Control_DataSet	MAC-Address = 01-0C-CD-01-00-00	VLAN-ID = 000	VLAN-PRIORITY = 4	APPID = 0001			
GATEWAY = 0.0.0.0								
SUBNET = 255.255.255.0								
IP = 192.192.192.1								
IED_000000002								

Fonte: Acervo Pessoal

6. CONCLUSÃO

Nas implantações da norma IEC 61850 em subestações de energia, além de se atentar aos dispositivos inteligentes e suas características, às topologias das redes de comunicação, entre outros detalhes, é preciso buscar a clareza e confiabilidade da documentação associada. Desta forma, após o início da operação comercial da subestação, as intervenções podem ser realizadas de forma segura, mesmo na situação, cada vez mais comum, de haver IEDs de diferentes fabricantes.

A metodologia aqui proposta vem padronizar e consolidar as informações dispersas em vários meios (backup em disco, planilhas, arquivos proprietários com configurações) que, muitas vezes, não passam por controle de versão, para um projeto padrão (Projeto Funcional Digital), integrado na estrutura de diagramas de projeto já conhecida pelos profissionais que atuam na instalação, operação e manutenção de subestações de energia. Logo, mesmo com a diversidade de fabricantes de IEDs, em uma subestação é possível se ter uma documentação padronizada do protocolo GOOSE tendo como base os arquivos de configuração IEC 61850 dos IEDs.

Utilizando os equipamentos aqui descritos com configurações desenvolvidas em laboratório, foi possível comprovar a eficácia da metodologia ao documentar as mensagens GOOSE, disponíveis nos arquivos de configurações dos IEDs.

Por fim, entende-se como bem-sucedida a metodologia aqui apresentada visando apoiar os profissionais que atuam em subestações de energia.

6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tanto a ferramenta de análise de dados quanto a forma de desenhá-los no ambiente de desenvolvimento do AUTOCAD® podem ser aprimoradas. Essas melhorias podem ser utilizadas para tornar a ferramenta mais intuitiva ao usuário, tendo como produto um relatório que se adeque e complemente os projetos elétricos das subestações de energia.

Na ferramenta de análise é possível implementar os recursos de pesquisa e de edição, permitindo que os usuários encontrem, dentro do arquivo, palavras específicas, por exemplo. Além disso, um recurso de edição pode permitir que

os usuários façam alterações manuais no arquivo de configuração da subestação ou IED e as salve, alterando o arquivo original.

A Figura 74 apresenta um exemplo de melhoria que poderia ser aplicado no ambiente de plotagem do AUTOCAD®. Trata-se de uma forma diferente de apresentar os dados de um único IED para o usuário.

Figura 74 - Melhoria na apresentação dos dados

Fonte: Acervo Pessoal

A Figura 75 mostra um exemplo da ferramenta de análise com os comandos de pesquisar e salvar. Outra melhoria aplicável seria montar um diagrama de interligação lógico, utilizando como base exclusivamente o arquivo SCD, uma vez que ele possui todos os IEDs pertencentes a determinada subestação. Esse diagrama de interligação apresentaria o caminho lógico da mensagem GOOSE do IED de origem até o seu ou seus destinos, conforme mostrado na Figura 76.

Figura 75 - Melhoria na ferramenta de análise

The screenshot displays the 'Programa Converte SCD' application window. The interface includes a top toolbar with buttons for 'Encontrar IEDs', 'Abrir Arquivo', 'Close', 'Pesquisar', 'Exportar Arquivo', and 'Salvar'. Below the toolbar, there are input fields for 'Linhas Arquivo' and 'Total IEDs'. The main workspace is divided into several sections: 'Arquivo Completo' and 'Comunicação' (each with a large empty text area), 'Configuração do Logical Node Selecionado' (with a large empty text area), 'Datasets' (with a large empty text area), and 'Inputs' (with a large empty text area). At the bottom, there is a 'Barra de Progresso!!!' (Progress Bar!!!) section.

Fonte: Acervo Pessoal

Figura 76 - Diagrama de interligação Lógico

Fonte: Acervo Pessoal

Outro ponto de melhoria é em relação a necessidade de desenvolvimento de projetos para a capacitação das equipes de operação e manutenção das subestações. A metodologia aqui apresentada pode ser utilizada para gerar documentos que facilitem a capacitação de profissionais que atuam ou pretendem atuar com automação, proteção e controle de subestações.

Um último ponto a ser abordado é a aplicação dessa metodologia para a documentação do protocolo *Sampled Value*. O modelamento de dados para a transmissão de *Sampled Value* é definido na parte 7-2 da IEC 81650. A parte seguinte, 7-3, traz como atributos de medição obrigatórios o “DataAttribute” instMag (representa a magnitude do valor instantâneo de uma medição) do tipo AnalogValue e o “DataAttribute” (fornece informações de qualidade do dado) do tipo *Quality*. Como esses atributos estão definidos nos arquivos de configurações previstos pela norma IEC 61850 é possível, assim como no caso do protocolo GOOSE, documentar o caminho dos dados analógicos trafegados por *Sampled Values*, determinando origem e destinos dos mesmos.

As melhorias sugeridas são apenas exemplos de como a metodologia pode ser aplicada, de forma a colaborar para a operação e manutenção das subestações IEC 61850.

A aplicação desta metodologia pode se adequar a realidade de cada usuário de forma a atender as demandas individuais dos mesmos.

REFERÊNCIAS

- 7SJ64, S. (2019). *Digital Grid - Siemens*. NA: Disponível em: <<https://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/products-systems-solutions/Protection/overcurrent-feeder-protection/Pages/7SJ64.aspx>>. Acesso em: 01 ago. 2021.
- 7UT613, S. (2019). *Digital Grid - Siemens*. NA: Disponível em: <<https://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/products-systems-solutions/Protection/transformer-differential-protection/Pages/7UT613.aspx>>. Acesso em: 01 ago. 2021.
- ASSIS SEGUNDO, E. A. (2014). *Proposta, Aplicação em Subestação Real e Treinamento em Metodologia para Testes Rotineiros em Sistemas de Automação Baseados no Padrão IEC 61850*. Salvador: Disponível em: <<http://www.ppgee.eng.ufba.br/teses/d0468a19050ee666d7e5874406e5a983.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2021.
- AUTODESK. (2019). *Autodesk*. NA: Disponível em: <<https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>>. Acesso em: 01 ago. 2021.
- COMER, D. E. (2001). *Redes de Computadores e Internet*. Porto Alegre: Bookman.
- ENERNEX. (2011). *Features and Benefits of IEC 61850*. NA: Disponível em: <http://www.enernex.com/wp-content/uploads/2012/04/Features-and-Benefits-of-IEC-61850_web.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2021.
- FONTES, M. D. (2015). *Projeto de plataforma didática compatível com a norma IEC61850 para comissionamento de sistema digital de controle e proteção de subestação de energia elétrica*. Natal: Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jsui/handle/123456789/22760>>. Acesso em: 01 ago. 2021.
- IEC 61850, I. E. (2003). *IEC 61850*. Geneva: International Electrotechnical Commission.
- IEEE_802.3. (2018). *IEEE 802.3-2018 - IEEE Standard for Ethernet*. *IEEE Standard Association*.
- LEÓN, H. E. (2015). *Modelagem de dispositivos eletrônicos inteligentes para barramento de processos baseado na norma iec 61850*. Florianópolis:

- Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/160708/338229.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2021.
- MCDONALD, J. D. (2016). *Electric Power Substations Engineering*. Georgia: CRC Press; Edição: 3.
- NETTO, U. C. (2012). *Determinação de um parâmetro para monitoramento do desempenho de mensagens GOOSE do padrão IEC 61850 utilizadas em subestações de energia elétrica*. São Carlos: Disponível em: <http://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18154/tde-16102012-083711/pt-br.php>. Acesso em: 01 ago. 2021.
- SAMPAIO, R. F. (2017). *Sistema de automação distribuído: uma abordagem baseada em multiagente aplicada a sistemas de distribuição de energia elétrica em média tensão*. Fortaleza: Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/28423/3/2017_tese_rfsampaio.pdf. Acesso em: 01 ago. 2021.
- SIEMENS. (s.d.). *DIGSI 4*. Fonte: SIPROTEC: Disponível em: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/protection-relays-and-control/engineering-tools-for-protection/engineering-software-digsi-4.html>. Acesso em: 01 ago. 2021.
- TANENBAUM, A. S. (2011). *Computer Network*. Pearson Universidades; Edição: 5ª.
- VICENTE, D. T. (2011). *Aplicação dos padrões da norma IEC 61850 a subestações compartilhadas de transmissão/distribuição de energia elétrica*. São Paulo: Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-09032012-151057/publico/Dissertacao_Decio_Tomasulo_De_Vicente.pdf. Acesso em: 01 ago. 2021.
- WIRESHARK. (2019). *Wireshark.org*. NA: Disponível em: <https://www.wireshark.org>. Acesso em: 01 ago. 2021.

ANEXO A

Figura A. 1 - Exemplo de um arquivo PI6

```

<ConnectedAP iedName="IED_000000002" apName="P1">
<Private type="Siemens-Redundant-SubnetId">1</Private>
<Address>
<P type="OSI-AP-Title">1,3,9999,23</P>
<P type="OSI-AE-Qualifier">23</P>
<P type="OSI-PSEL">00000001</P>
<P type="OSI-SSEL">0001</P>
<P type="OSI-TSEL">0001</P>
<P type="IP" xsi:type="tP_IP">192.192.192.1</P>
<P type="IP-SUBNET" xsi:type="tP_IP-SUBNET">255.255.255.0</P>
<P type="IP-GATEWAY" xsi:type="tP_IP-GATEWAY">0.0.0.0</P>
</Address>
<GSE IdInst="CTRL" cbName="Control_DataSet">
<Address>
<P type="MAC-Address" xsi:type="tP_MAC-Address">01-0C-CD-01-00-00</P>
<P type="VLAN-ID" xsi:type="tP_VLAN-ID">000</P>
<P type="VLAN-PRIORITY" xsi:type="tP_VLAN-PRIORITY">4</P>
<P type="APPID" xsi:type="tP_APPID">0001</P>
</Address>
<MinTime unit="s" multiplier="m">10</MinTime>
<MaxTime unit="s" multiplier="m">2000</MaxTime>
</GSE>
<GSE IdInst="CTRL" cbName="Control_DataSet_1">
<Address>
<P type="MAC-Address" xsi:type="tP_MAC-Address">01-0C-CD-01-00-01</P>
<P type="VLAN-ID" xsi:type="tP_VLAN-ID">000</P>
<P type="VLAN-PRIORITY" xsi:type="tP_VLAN-PRIORITY">4</P>
<P type="APPID" xsi:type="tP_APPID">0001</P>
</Address>
<MinTime unit="s" multiplier="m">10</MinTime>
<MaxTime unit="s" multiplier="m">2000</MaxTime>
</GSE>
<GSE IdInst="CTRL" cbName="Control_DataSet_2">
<Address>
<P type="MAC-Address" xsi:type="tP_MAC-Address">01-0C-CD-01-00-02</P>
<P type="VLAN-ID" xsi:type="tP_VLAN-ID">000</P>
<P type="VLAN-PRIORITY" xsi:type="tP_VLAN-PRIORITY">4</P>
<P type="APPID" xsi:type="tP_APPID">0001</P>
</Address>
<MinTime unit="s" multiplier="m">10</MinTime>
<MaxTime unit="s" multiplier="m">2000</MaxTime>
</GSE>
<GSE IdInst="CTRL" cbName="Control_DataSet_3">
<Address>
<P type="MAC-Address" xsi:type="tP_MAC-Address">01-0C-CD-01-00-03</P>
<P type="VLAN-ID" xsi:type="tP_VLAN-ID">000</P>
<P type="VLAN-PRIORITY" xsi:type="tP_VLAN-PRIORITY">4</P>
<P type="APPID" xsi:type="tP_APPID">0001</P>
</Address>
<MinTime unit="s" multiplier="m">10</MinTime>
<MaxTime unit="s" multiplier="m">2000</MaxTime>
</GSE>
<GSE IdInst="CTRL" cbName="Control_DataSet_4">
<Address>
<P type="MAC-Address" xsi:type="tP_MAC-Address">01-0C-CD-01-00-04</P>
<P type="VLAN-ID" xsi:type="tP_VLAN-ID">000</P>
<P type="VLAN-PRIORITY" xsi:type="tP_VLAN-PRIORITY">4</P>
<P type="APPID" xsi:type="tP_APPID">0002</P>
</Address>
<MinTime unit="s" multiplier="m">10</MinTime>
<MaxTime unit="s" multiplier="m">2000</MaxTime>
</GSE>
</ConnectedAP>
<LDevice desc="Control" inst="CTRL">
<LN0 InClass="LLN0" inst="" InType="IED_000000002/CTRL/LLN0" desc="General">
<DataSet name="DataSet">
<Private type="Siemens-GUID">224dccf0b9e14f4fb2244e3e47dfe1ff</Private>
<FCDA IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO6" daName="stVal" fc="ST" />
<FCDA IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO6" daName="q" fc="ST" />
</DataSet>
<DataSet name="DataSet_1">
<Private type="Siemens-GUID">5c20528e68ca413485c771f48cb76618</Private>
<FCDA IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO7" daName="stVal" fc="ST" />
<FCDA IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO7" daName="q" fc="ST" />
</DataSet>
<DataSet name="DataSet_2">
<Private type="Siemens-GUID">81088f5ed9e343ccaf62d92a72715342</Private>
<FCDA IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO8" daName="stVal" fc="ST" />
<FCDA IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO8" daName="q" fc="ST" />
</DataSet>

```

```

<DataSet name="DataSet_3">
<Private type="Siemens-GUID">e8034d28e73c436d803a8c5a5e3f1b7a</Private>
<FCDA IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO9" daName="stVal" fc="ST" />
<FCDA IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO9" daName="q" fc="ST" />
</DataSet>
<DataSet name="DataSet_4">
<Private type="Siemens-GUID">16056816829b479990122b31fe50ec0</Private>
<FCDA IdInst="CTRL" prefix="" InClass="LLN0" doName="Loc" daName="stVal" fc="ST" />
<FCDA IdInst="CTRL" prefix="" InClass="LLN0" doName="Loc" daName="q" fc="ST" />
</DataSet>
</LN
<LN inst="1" prefix="EXTSIG" desc="EXTSIGGGIO1" InClass="GGIO" InType="IED_000000002/CTRL/EXTSIGGGIO1">
<Inputs>
<Private type="Siemens_SiedigExtRefs">
<siedig:ExtRefs>
<siedig:ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO2"
daName="stVal" intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO1/stVal" controlBaseRef="125e0a40add1492381516a397f6076f9" />
<siedig:ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO2"
daName="q" intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO1/q" controlBaseRef="125e0a40add1492381516a397f6076f9" />
<siedig:ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO3"
daName="stVal" intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO2/stVal" controlBaseRef="8abbee9115a6446794064eaa6e340274" />
<siedig:ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO3"
daName="q" intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO2/q" controlBaseRef="8abbee9115a6446794064eaa6e340274" />
<siedig:ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO4"
daName="stVal" intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO3/stVal" controlBaseRef="bcb146279eac4b1dba03d962cc3d0c85" />
<siedig:ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO4"
daName="q" intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO3/q" controlBaseRef="bcb146279eac4b1dba03d962cc3d0c85" />
<siedig:ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO5"
daName="stVal" intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO4/stVal" controlBaseRef="8c9619cf52574e78a4a0dad6bdf58374" />
<siedig:ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO5"
daName="q" intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO4/q" controlBaseRef="8c9619cf52574e78a4a0dad6bdf58374" />
<siedig:ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" InClass="LLN0" InInst="" doName="Loc" daName="stVal"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO5/stVal" controlBaseRef="823f062e76cb4dd6a2d88dcd10461729" />
<siedig:ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" InClass="LLN0" InInst="" doName="Loc" daName="q"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO5/q" controlBaseRef="823f062e76cb4dd6a2d88dcd10461729" />
</siedig:ExtRefs>
</Private>
<ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO2"
daName="stVal" intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO1/stVal" />
<ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO2" daName="q"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO1/q" />
<ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO3"
daName="stVal" intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO2/stVal" />
<ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO3" daName="q"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO2/q" />
<ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO4"
daName="stVal" intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO3/stVal" />
<ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO4" daName="q"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO3/q" />
<ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO5"
daName="stVal" intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO4/stVal" />
<ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" prefix="INTSIG" InClass="GGIO" InInst="1" doName="SPCSO5" daName="q"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO4/q" />
<ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" InClass="LLN0" InInst="" doName="Loc" daName="stVal"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO5/stVal" />
<ExtRef iedName="IED_000000006" IdInst="CTRL" InClass="LLN0" InInst="" doName="Loc" daName="q"
intAddr="CTRL/EXTSIGGGIO1/ST/SPCSO5/q" />
</Inputs>
</LN
</LDevice>

```

Fonte: Acervo Pessoal

ANEXO B

Figura B. 1 - Função de plotagem na API

```

Sub Ploter(x As Integer, y As Integer, z As Integer, w As Integer,
wploter As String)
    ' Teste Create a Multi-line text object
    ' Get the current document and database
    Dim acDoc As Document =
Autodesk.AutoCAD.ApplicationServices.Application.DocumentManager.MdiActiveDocum
ent

    Dim acCurDb As Database = acDoc.Database

    ' Start a transaction
    Using acTrans As Transaction =
acCurDb.TransactionManager.StartTransaction()

        ' Open the Block table for read
        Dim acBlkTbl As BlockTable
        acBlkTbl = acTrans.GetObject(acCurDb.BlockTableId,
                                         OpenMode.ForRead)

        ' Open the Block table record Model space for write
        Dim acBlkTblRec As BlockTableRecord
        acBlkTblRec =
acTrans.GetObject(acBlkTbl(BlockTableRecord.ModelSpace),
                                         OpenMode.ForWrite)

        ' Create a multiline text object
        Using acMText As MText = New MText()

            acMText.Location = New Point3d(x, y, z) '(posição em x,
posição em y, posição em z)
            acMText.Width = w 'Tamanho da caixa de texto
            acMText.TextHeight = 0.2 'Tamanho do texto
            acMText.Contents = wploter
            y = y - 1

            acBlkTblRec.AppendEntity(acMText)
            acTrans.AddNewlyCreatedDBObject(acMText, True)
        End Using
    End Using

```



```
        '' Save the changes and dispose of the transaction  
        acTrans.Commit()  
    End Using  
End Sub
```

Fonte: Acervo Pessoal

ANEXO C

Figura C. 1 - Função de desenhar linha na API

```

Sub Square(x1 As Double, y1 As Double, x2 As Double, y2 As Double)
    'Desenhar um quadrado ao redor do texto
    '' Start a transaction
    Dim acDoc As Document =
Autodesk.AutoCAD.ApplicationServices.Application.DocumentManager.MdiActiveDocum
ent

    Dim acCurDb As Database = acDoc.Database

    Using acTrans As Transaction =
acCurDb.TransactionManager.StartTransaction()

        '' Open the Block table for read
        Dim acBlkTbl As BlockTable
        acBlkTbl = acTrans.GetObject(acCurDb.BlockTableId,
OpenMode.ForRead)

        '' Open the Block table record Model space for write
        Dim acBlkTblRec As BlockTableRecord
        acBlkTblRec =
acTrans.GetObject(acBlkTbl(BlockTableRecord.ModelSpace),
OpenMode.ForWrite)

        '' Criando a linha superior
        Using acLine As Line = New Line(New Point3d(x1, y1, 0),
New Point3d(x2, y1, 0))

            '' Add the new object to the block table record and the
transaction
            acBlkTblRec.AppendEntity(acLine)
            acTrans.AddNewlyCreatedDBObject(acLine, True)
        End Using

        '' Criando a linha lateral direita
        Using acLine As Line = New Line(New Point3d(x2, y1, 0),
New Point3d(x2, y2, 0))

            '' Add the new object to the block table record and the
transaction

```

```

        acBlkTblRec.AppendEntity(acLine)
        acTrans.AddNewlyCreatedDBObject(acLine, True)
    End Using
    '' Criando a linha base
    Using acLine As Line = New Line(New Point3d(x2, y2, 0),
                                     New Point3d(x1, y2, 0))

        '' Add the new object to the block table record and the
transaction
        acBlkTblRec.AppendEntity(acLine)
        acTrans.AddNewlyCreatedDBObject(acLine, True)
    End Using
    '' Criando a linha lateral esquerda
    Using acLine As Line = New Line(New Point3d(x1, y2, 0),
                                     New Point3d(x1, y1, 0))

        '' Add the new object to the block table record and the
transaction
        acBlkTblRec.AppendEntity(acLine)
        acTrans.AddNewlyCreatedDBObject(acLine, True)
    End Using

    '' Save the new object to the database
    acTrans.Commit()
End Using
End Sub

```

Fonte: Acervo Pessoal