



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS UFSC  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA

Renan Phelippe Eggers

**Análise do protocolo IEC-61850 em ambientes com elevado trafego de  
informação**

Florianópolis  
2019

Renan Phelippe Eggers

**Análise do protocolo IEC-61850 em ambientes com elevado trafego de  
informação**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.  
Orientador: Prof. Miguel Moreto

Florianópolis  
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Eggers, Renan Phelippe

Análise do protocolo IEC-61850 em ambientes com elevado tráfego de informação / Renan Phelippe Eggers ; orientador, Miguel Moreto, 2019.

56 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

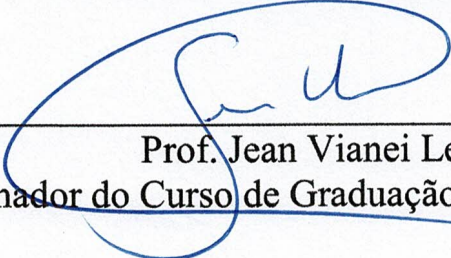
1. Engenharia Elétrica. 2. IEC-61850. 3. Sobrecarga. 4. Comunicação. I. Moreto, Miguel. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

Renan Phelippe Eggers

**Análise do protocolo IEC-61850 em ambientes  
com elevado tráfego de informação,**

Este Trabalho foi julgado adequado como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado, em sua forma final, pela Banca Examinadora.

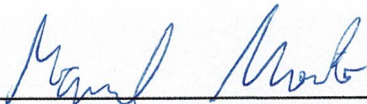
Florianópolis, 10 de dezembro de 2019



---

Prof. Jean Viane Leite, Dr.  
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

**Banca Examinadora:**



---

Prof. Miguel Moreto, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina



---

Roberto de Souza Salgado PhD  
Universidade Federal de Santa Catarina



---

Eng. Eletric. Vitor Fernando Couto, Me  
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de classe e aos meus queridos pais.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer ao meu pai, por sempre acreditar em mim e me dar força.

À minha mãe que sempre esteve ao meu lado, nos momentos mais felizes e também nos mais difíceis da minha vida.

À minha irmã por me fazer sorrir, mesmo quando isso é impossível.

Ao professor e orientador Miguel Moreto pelos conselhos e sugestões.

Aos meus amigos e colegas de trabalho, pela disponibilização do seu tempo.

À Engie por disponibilizarem os equipamentos necessários para os testes.

À todos que de forma direta ou indireta contribuíram com o trabalho.



## RESUMO

Os sistemas de proteção são considerados sistemas críticos no Sistema Elétrico de Potência. Com o avanço da tecnologia ocorreu o surgimento de alguns equipamentos IED's, *intelligent electronic devices*, capazes de fazer todo o processo de comunicação digitalmente. Nas aplicações de proteção, a comunicação é fundamental, devido a necessidade de atuações rápidas, com acurácia e precisão. Esse trabalho apresenta a estrutura da norma IEC-61850, que é utilizada na padronização da comunicação desses novos equipamentos, mostrando o conceito da norma tanto na utilização das mensagens GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*) usadas nas atuações, medições e controle dos equipamentos, como nas mensagens SV (*Sampled Value*) usadas nas medições de tensão e corrente dos equipamentos. Apresentando, também, as vantagens do caráter de uma linguagem de programação orientada a objeto proveniente da utilização dos *logical nodes*. Além disso, analisou-se os efeitos ao sobrecarregar uma rede, inundando-a com mensagens SV e simulando uma falha, verificando os efeitos causados nas atuações das proteções digitais, mensagens GOOSE, onde foram encontrados resultados que mostram que esta mensagem, configurada com priorização de VLAN, esteve dentro dos requisitos apresentados pela norma.

**Palavras-chave:** IEC-61850. Sobrecarga. Comunicação.



## ABSTRACT

Protection systems are considered critical systems in the Electric Power System, and with the advancement of technology, the emergence of some IED's equipment, intelligent electronic devices, capable of making the entire communication process digitally. In protective applications, communication is critical because of the need for fast, accurate and accurate actuation. This paper presents the structure of the IEC-61850 standard, which is used in the standardization of communication of these new equipments, showing the functioning of the standard in the use of GOOSE messages (Generic Object Oriented Substation Event) used in the actuations, measurements and control of the equipments, as in SV (Sampled Value), messages used in equipment voltage and current measurements. Also presenting the advantages of the character of an object oriented programming language from the use of logical nodes. In addition, we analyzed the effects of overloading a network, flooding it with SV messages and simulating a failure, checking the effects caused by the digital protections, GOOSE messages, where results were found showing that this message, configured with VLAN prioritization was within the requirements of the standard.

**Keywords:** IEC-61850. Communication. Overflow.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo OSI . . . . .	16
Figura 2 – Padrão da Norma . . . . .	19
Figura 3 – Frame <i>ethernet</i> . . . . .	20
Figura 4 – <i>Payload frame ethernet</i> . . . . .	21
Figura 5 – Conexões Lógicas LN . . . . .	22
Figura 6 – Modelo dos Dados . . . . .	22
Figura 7 – Atuação da Proteção Utilizando LN . . . . .	24
Figura 8 – Modelo tempo mensagem GOOSE . . . . .	25
Figura 9 – Estrutura barramento . . . . .	27
Figura 10 – Modelo da Norma . . . . .	28
Figura 11 – Figura em anel . . . . .	29
Figura 12 – Modelo HUB . . . . .	29
Figura 13 – Representação subestação . . . . .	33
Figura 14 – Porta <i>ethernet</i> switch CISCO . . . . .	36
Figura 15 – Lan utilizada - portas Switch . . . . .	37
Figura 16 – Proteção Sobre Corrente 7UM62 . . . . .	38
Figura 17 – IEC-61850 Configurator Siemens . . . . .	39
Figura 18 – Bloco de Controle GOOSE . . . . .	39
Figura 19 – Uso de banda utilizando GOOSE e SV . . . . .	40
Figura 20 – Formato mensagem GOOSE . . . . .	41
Figura 21 – Configuração entradas virtuais . . . . .	41
Figura 22 – Configuração corrente . . . . .	42
Figura 23 – Gráfico tempo de atuação banda livre . . . . .	43
Figura 24 – wireshark, banda livre . . . . .	44
Figura 25 – Uso da banda, teste com SV na rede . . . . .	45
Figura 26 – Uso da banda, teste 100 Mbits/s . . . . .	46
Figura 27 – Tempo de reposta sem VLAN . . . . .	49
Figura 28 – Tempo de reposta banda 200 Mbit/s . . . . .	50
Figura 29 – Diferença de tempo na utilização de VLAN . . . . .	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2 – Grupo de LN . . . . .	23
Tabela 3 – Teste pouco trafego . . . . .	43
Tabela 4 – Teste com SV na rede . . . . .	45
Tabela 5 – Teste com 100 Mbits/s na rede . . . . .	46
Tabela 6 – Teste com 200 Mbits/s na rede . . . . .	47
Tabela 7 – Teste com 200 Mbits/s na rede com priorização . . . . .	48
Tabela 8 – Teste banda livre com priorização . . . . .	49
Tabela 9 – Tabela Geral . . . . .	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACSI	<i>Abstract Communication Service Interface</i>
CID	<i>Configured IED Description</i>
GOOSE	<i>Generic Object Oriented Substation Event</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
ICD	<i>IED Capability Description</i>
IEC	<i>Internacional Electrotechnical Commission</i>
IED	<i>Intelligent Electronic Device</i>
IRIG-B	<i>Inter-Range Instrumentation Group</i>
ISO	<i>International Standardization Organization</i>
LC	<i>Conexão Lógica - Logical Connection</i>
LE	<i>Light Edition</i>
LN	<i>Nó Logico - Logical Node</i>
LPOO	<i>Linguagem de Programação Orientada a Objeto</i>
LT	<i>Linhas de Transmissão</i>
MT-RJ	<i>Mechanical Transfer Registered Jack</i>
MU	<i>Merging Unit</i>
NTP	<i>Network Time Protocol</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
PC	<i>Conexão Física - Physical Connection</i>
PD	<i>Dispositivos Físicos - Physical Device</i>
PTOC1	<i>Protection Over Current 1</i>
RJ-45	<i>Registered Jack-45</i>
RTU	<i>Unidade de Terminal Remoto</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SCD	<i>Substation Configuration Description</i>
SCL	<i>Linguagem de Configuração da Subestação</i>
SEP	<i>Sistema Elétrico de Potência</i>
SNTP	<i>Simplified Network Time Protocol</i>
SPP	<i>Samples Per Period</i>
SSD	<i>System Specification Description</i>
STC	<i>Straight Tip Connectors</i>
SV	<i>Sampled Value</i>
TC	<i>Transformador de Corrente</i>
TC57	<i>Technical Committee 57</i>
TLL	<i>Tempo Permitido Para Viver</i>
TP	<i>Transformador de Potencial</i>
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	OBJETIVOS	14
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo Específicos</b>	<b>14</b>
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	14
<b>2</b>	<b>PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO</b>	<b>16</b>
2.1	MODELO OSI	16
2.2	SISTEMA SCADA	18
<b>2.2.1</b>	<b>DNP</b>	<b>18</b>
2.3	NORMA IEC-61850	19
<b>2.3.1</b>	<b>Configuração</b>	<b>21</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Nó Logico</b>	<b>22</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Sampled Values</b>	<b>24</b>
<b>2.3.4</b>	<b>GOOSE</b>	<b>25</b>
<b>2.3.5</b>	<b>Vantagens da Norma</b>	<b>26</b>
<b>2.3.6</b>	<b>Barramentos</b>	<b>27</b>
<b>2.3.7</b>	<b>Linguagem de Programação Orientada a Objeto</b>	<b>29</b>
<b>2.3.8</b>	<b>VLAN</b>	<b>30</b>
<b>2.3.9</b>	<b>Mensagem de Sincronismo</b>	<b>31</b>
2.3.9.1	SNTP	31
<b>3</b>	<b>SUBESTAÇÃO DIGITAL</b>	<b>33</b>
3.1	INTRODUÇÃO	33
3.2	ESTRUTURA SUBESTAÇÃO	33
3.3	RELÉS	35
3.4	SWITCH	35
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>36</b>
4.1	EQUIPAMENTOS	36
4.2	CONFIGURAÇÕES	37
<b>5</b>	<b>TESTES</b>	<b>43</b>
5.1	TESTE BANDA LIVRE	43
5.2	TESTE COM SV NA REDE	44
5.3	TESTE COM 100 MBITS	45
5.4	TESTE COM 200 MBITS	47
5.5	TESTE COM 200 MBITS COM PRIORIZAÇÃO DE VLAN	48
5.6	TESTE BANDA LIVRE COM PRIORIZAÇÃO DE VLAN	48
5.7	RESULTADOS GERAIS	49
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>52</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) Brasileiro possui no total 8.411 empreendimentos em operação, totalizando uma potência instalada de 167.835 MW. Para os próximos anos está previsto uma adição de 23.325 MW na capacidade de geração do país, proveniente de 224 empreendimentos atualmente em construção e mais 382 empreendimentos com construção ainda não iniciada.

O sistema elétrico brasileiro tem como sua principal matriz energética as usinas hidrelétricas, sendo que mais de 60% da energia produzida é proveniente destas usinas. Devido a localização dessas matrizes serem distantes dos centros de carga, existe a necessidade de um sistema de transmissão com grandes extensões de Linhas de Transmissão (LT) (ANEL, 2019).

Além das grandes distâncias das LT's, o aumento na demanda de energia elétrica, o aumento do número de fontes geradoras e as dificuldades na expansão dos subsistemas de transmissão, fazem com que o SEP precise operar no limite da sua capacidade, aumentando o risco de blecautes durante situações limítrofes de operação (BETT JUNIOR, 2018).

Tendo isso em vista, é necessário que os diferentes subsistemas do SEP, como as unidades geradoras e as subestações, disponham de esquemas especiais de controle e supervisão que permitam mitigar o impacto de eventos a tempo de evitar um grande colapso do sistema elétrico de um país (LEÓN, 2015).

Neste contexto, a confiabilidade do sistema de comunicação é fundamental para o bom funcionamento de um sistema de operação em tempo real, tanto nas medições como na proteção. Nas medições, transmitindo os sinais de corrente, tensão e status dos equipamentos, sendo utilizados para a operação do sistema e análise de ocorrência. Na proteção, onde além da confiabilidade é necessário um tempo de atuação extremamente rápido (LEÓN, 2015).

Para atender os requisitos de confiabilidade e velocidade do sistema os integrantes do SEP possuem equipamentos microprocessados destinados para detectar anormalidades no sistema, capazes de atuar proteções predefinidas, sendo esses equipamentos chamados de *Intelligent Electronic Device* (IED).

Os IED's foram evoluindo com o passar do tempo, onde parte desta evolução está embasada na digitalização desses equipamentos. Porém diferentes protocolos de comunicação foram criados, dificultando a expansão e integração de diversos IED's, uma vez que soluções alternativas necessitam ser implementadas para possibilitar a troca de informações entre protocolos distintos. Devido a necessidade de um tempo de resposta baixo, as aplicações de proteção se tornavam inviáveis devido a essa adição. Para resolver essas questões em 2003 foi criado o padrão internacional de redes de comunicação e de sistemas em subestações (IEC-61850), com o intuito de uniformizar

diversos aspectos da comunicação entre equipamentos dentro de uma subestação (IEC, 2013; LEÓN, 2015).

A norma é utilizada para proporcionar interoperabilidade entre os diferentes equipamentos presentes em uma subestação. Ao definir um modelo de informação único para ser seguido nos IED's, estes podem se tornar mais específicos, não sendo necessário gasto de processamento para a decodificação da informação.

Essa norma pode ser mapeada em dois principais protocolos, sendo eles *Generic Object Oriented Substation Event* (GOOSE) e *Sampled Value* (SV), onde o primeiro está relacionado com as mensagens de atuação das proteções, e o segundo com as medições de tensão e corrente dos pontos de interesse.

Algumas das vantagens na utilização de IEDs digitais são a diminuição do tempo de resposta, do tempo de comissionamento, a flexibilidade e a possibilidade de aplicações mais avançadas, onde para a atuação de algumas proteções são necessárias informações provenientes de diversos dispositivos, algumas vezes provenientes de outras subestações (FOROUZAN, 2011).

Apesar da norma IEC-61850 já estar presente desde 2003, ela não é muito difundida nas aplicações do setor elétrico. As empresas do setor, devido suas instalações terem um tempo de vida muito elevado e o alto custo de implantação geram uma inercia à mudança no SEP.

## 1.1 OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo apresentar as estruturas de uma rede de comunicação utilizando o protocolo IEC-61850, analisando os efeitos ao sobrecarregar a rede e também os tempos de atuações ao utilizar diversas configurações de rede.

### 1.1.1 Objetivo Específicos

- Analisar a norma IEC-61850, apresentando o funcionamento de GOOSE e *Sampled Values*;
- Mostrar a configuração de uma aplicação GOOSE.
- Apresentar o funcionamento de redundâncias em sistemas de proteção;
- Fazer testes para analisar a perda de informação por sobrecarga de informação numa rede de proteção digital.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

No capítulo 1 está apresentado o contexto geral no qual a atividade se insere e os objetivos do trabalho apresentado. O capítulo 2 é apresentado a origem e as

características da norma IEC-61850 mostrando também o funcionamento de uma rede ethernet. No capítulo 3 está uma breve apresentação sobre o funcionamento de uma subestação falando sobre alguns dos equipamentos utilizados nos testes. No capítulo 4 as configurações e a metodologia do teste que foi realizado para analisar os efeitos da sobrecarga de informação e no capítulo 5 seus resultados. No capítulo 6 as considerações finais do trabalho.



## 2 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

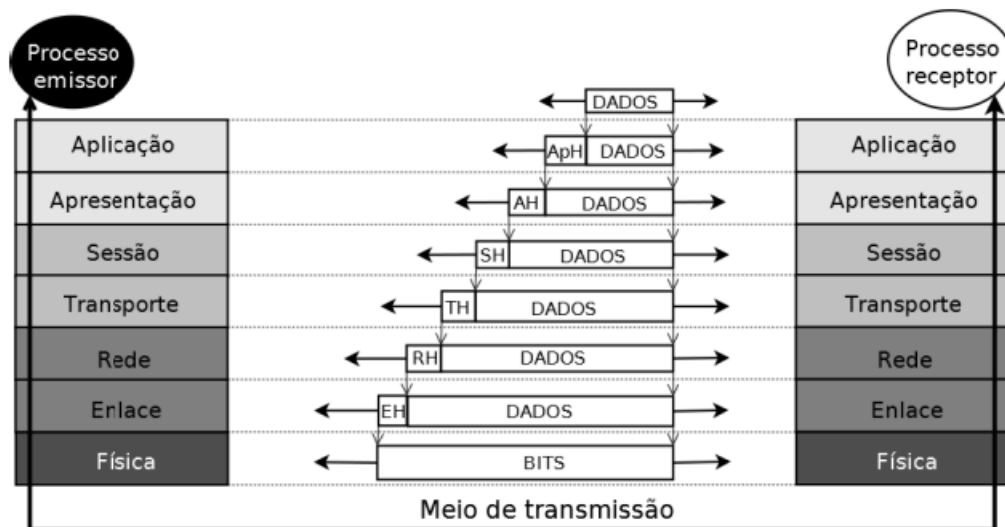
Com o surgimento das redes de comunicação, a informatização se insere cada vez mais nas atividades diárias do ser humano e, junto com a massificação da tecnologia, permitiram que as redes de comunicação se tornassem um sistema onipresente.

### 2.1 MODELO OSI

Na década de 70 a *International Standardization Organization* (ISO) iniciou um modelo de referência para as arquiteturas de redes de comunicação, que permitisse a interconexão de equipamentos com diferentes propósitos, com o intuito de integrar e tornar abertos os sistemas de comunicação utilizados tanto na fabricação dos produtos como na prestação de serviços (LEÓN, 2015).

O resultado foi um modelo baseado em sete camadas. Este recebeu o nome de modelo de referência para a Interconexão de Sistemas Abertos - *Open System Interconnection* (OSI), As camadas são apresentadas na figura 1.

Figura 1 – Modelo OSI



Fonte: (COVRE, 2011)

Quando um dispositivo está transmitindo dados, o fluxo da informação é no sentido do programa utilizado, portanto o programa se comunica com a camada de Aplicação conhecida como camada 7, que, por sua vez, se comunica com a camada de Apresentação, camada 6, e assim sucessivamente. No processo de transmissão cada camada recebe a informação da camada superior e adiciona informações de controle. No processo de recepção o caminho é o reverso, onde a camada recebe os dados, analisa as informações de controle referenciadas a sua própria camada e passam os dados para camada superior (COVRE, 2011).

As camadas inferiores, camada Física e de Enlace tem funções na transmissão de dados através do meio físico que liga os diferentes nós da rede, juntamente com a camada de rede, elas se tornam as camadas que definem o caminho da comunicação. As camadas superiores tem funções relacionadas ao: roteamento, conferência de dados, estabelecimento de conexão fim a fim e conferência de envio (LEÓN, 2015).

As camadas são descritas resumidamente a seguir (LEÓN, 2015; MIRANDA, 2009):

- **Camada 7 - Aplicação:** A camada faz o início do processo de transmissão, fazendo a interface entre o programa e as demais camadas do modelo. Quando recebe ou envia uma mensagem, o programa apenas entra em contato com essa camada, onde são definidos os protocolos utilizados na comunicação.
- **Camada 6 - Apresentação:** Converte o formato recebido em um formato comum a ser usado pelas outras camadas, podendo ser utilizado para compressão e criptografia de dados.
- **Camada 5 - Sessão:** Permite que dois programas de equipamentos distintos estabeleçam uma sessão de comunicação. Definindo como será feita a transmissão dos dados.
- **Camada 4 - Transporte:** Essa camada separa a mensagem a ser enviada em pacotes menores. No receptor essa camada remonta o dado original, colocando o dado recebido em ordem, também é enviada a informação que a mensagem foi recebida com sucesso.
- **Camada 3 - Rede :** É responsável pelo endereçamento dos pacotes, convertendo endereços lógicos em endereços físicos, nessa camada também é definido o trajeto a ser feito pelo dado, considerando condições de tráficos, prioridades e VLANs (*Virtual Local Area Network*)
- **Camada 2 - Enlace:** É responsável pela adição do *MAC Adress (Media Access Control Adress)*, endereço físico do equipamento. Também é responsável pelo verificador de erro, utilizado para conferir se o dado chegou integro.
- **Camada 1 - Física:** Essa camada é a que transforma os dados no sinal que será transmitido pelo meio físico.

Uma peculiaridade do modelo OSI é ser um modelo abstrato, não definindo nenhum formato nem protocolo de mensagens. No entanto, por ele possuir um sistema que é separado em camadas abstratas, as quais tem seus papéis bem definidos, possibilita que os engenheiros projetem redes de comunicação flexíveis sob o ponto de vista de desenvolvimento (MIRANDA, 2009; RODRIGUES, 2013).

A separação em camadas hierárquicas, onde cada camada se comunica apenas com as camadas conectadas a ela, imediatamente acima ou abaixo, faz com que o modelo OSI seja interessante didaticamente, pois serve para explicar diversos aspectos sobre o funcionamento de uma rede de comunicação. As camadas inferiores tratam todas as informações recebidas de outras camadas puramente como se fossem parte do dado a ser enviado (COVRE, 2011).

## 2.2 SISTEMA SCADA

O termo SCADA vem de Supervisão Controle e Aquisição de Dados e caracteriza-se como um sistema que permite supervisionar e controlar um processo produtivo ou instalação física, através da troca de informações entre uma estação central e uma ou mais unidades remotas (SILVA, 2017).

Sendo os serviços SCADA formados por diversos dispositivos e sensores, que são reunidos em um servidor para facilitar aplicações e monitoramento. É utilizado em ambientes industriais complexos ou geograficamente dispersos (SILVA, 2017).

Foi adotado pelo SEP como um dos meios para controlar unidades geradoras e subestações, devido ao seu propósito de propiciar uma interface de alto nível aos operadores, informando-os e permitindo comandos em tempo real, tornando-se uma aplicação capaz de sintetizar as informações necessárias para operação.

### 2.2.1 DNP

O modelo *Distributed Network Protocol* versão 3 (DNP3) é utilizado por servidores SCADA para ler as informações dos equipamentos, permitindo a análise de alarmes e dados, tanto atuais como históricos.

Esse protocolo é utilizado em sistemas de automação de subestações e é baseado em um modelo simplificado do modelo OSI. Este padrão simplificado especifica a camada de enlace de dado, de aplicação e uma pseudo-camada de transporte. Com o intuito de suportar mensagens maiores que o comprimento máximo de *frame* e a utilização de funções mais avançadas de unidades terminais remotas, sendo este um dispositivo baseado em microprocessador, que permite as mensagens serem processadas em um local remoto (PETENEL, 2014).

O modelo DNP3 não especifica a camada física, entretanto ele especifica como operar em um ambiente de rede e também sugere como evitar colisões entre mensagens transmitidos simultaneamente (PETENEL, 2014).

Esse modelo baseia-se em servidores mestre e servos, normalmente utilizando um serviço de *pooling*, onde o mestre pede o valor para os dispositivos servos, concentrando os dados em um servidor de fácil acesso e edição.

### 2.3 NORMA IEC-61850

Com os avanços da tecnologia e a digitalização das informações os relés de proteção também passaram por evoluções, entre elas a comunicação digital.

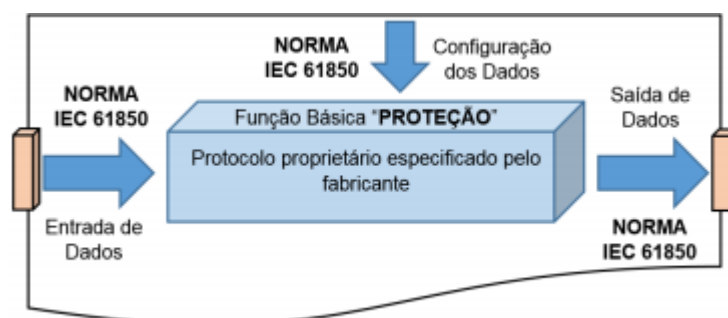
Para evitar problemas com a interoperabilidade, surgiu a necessidade de uma padronização entre a comunicação desses equipamentos. Essa padronização permite uma comunicação mais rápida, robusta, e com diminuição nos custos de instalação manutenção e configuração (MACKIEWICZ, 2006).

Sendo assim em 2003 foi apresentado pelo comitê da *Internacional Electrotechnical Commission* (IEC) no *Technical Committee 57* (TC57) a norma internacional IEC-61850, Redes de Comunicação e Sistemas em Subestações, tomando como base dois pilares (MACKIEWICZ, 2006):

- Interoperabilidade: está relacionado com a transferência de informação, onde o receptor deve entender tanto a estrutura dos dados (sintaxe), como também o seu significado (semântica) e ter a possibilidade de dividir as tarefas (função distribuída).
- Intercambialidade: está relacionado com a substituição dos equipamentos. Ao ocorrer a troca de equipamento, mesmo mudando o fabricante, não será necessário a alteração dos demais.

Com o intuito de não interferir o funcionamento das empresas, cada fabricante de um IED tem sua função de proteção projetada e implementada por programas proprietários, porém a comunicação com dispositivos externos torna-se organizada e padronizada pela norma, como mostra a figura 2 (MACKIEWICZ, 2006).

Figura 2 – Padrão da Norma



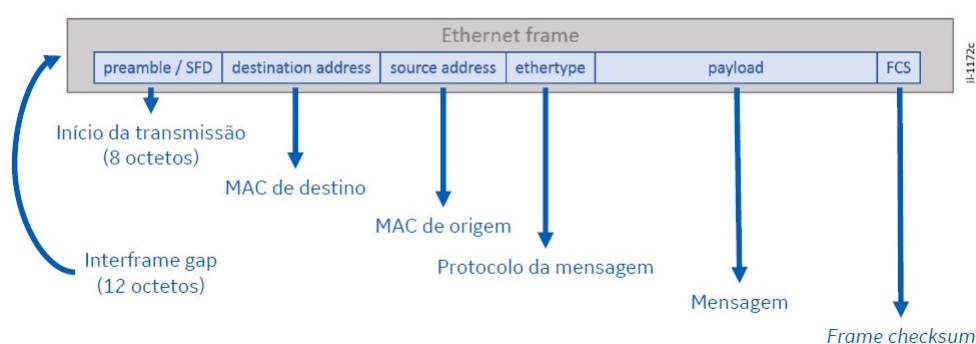
Fonte: (MACKIEWICZ, 2006)

Para alcançar esses pontos, intercambialidade e interoperabilidade, a IEC-61850 define um padrão de como deve ser feita a comunicação entre esses equipamentos, sendo baseada na Linguagem de Programação Orientada a Objeto (LPOO). Estes objetos são fundamentados em um modelo de comunicação independentemente da plataforma de *hardware*, chamado de *Abstract Communication Service*

*Interface* (ACSI), permitindo que a norma seja resiliente a alterações de protocolos de comunicação, sendo hoje em dia o uso padrão *ethernet* IEEE 802.3 (PETENEL, 2014).

A norma IEC baseia-se principalmente nas três primeiras camadas do modelo OSI. Na figura 3 pode-se observar a relação entre a norma e a camada 2 desse modelo, camada Física. Nesta imagem é apresentado um *frame* de *ethernet* padrão da norma IEC onde este contém bits indicando o início da mensagem e o endereço físico do equipamento, *MAC adress*, características desta camada (GE, 2018).

Figura 3 – Frame *ethernet*



Fonte: (GE, 2018)

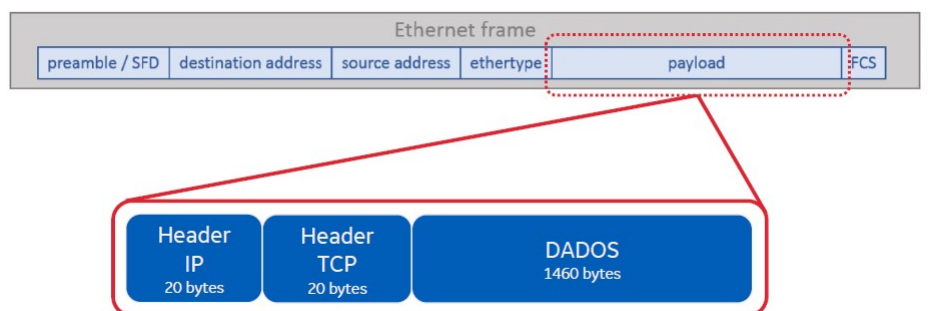
A norma IEC-61850 tem como padrão o envio de mensagens *multicast*. As mensagens que forem enviadas dessa maneira têm como características serem enviadas para múltiplos dispositivos, como configuração inicial essa mensagem se assemelha a uma mensagem do tipo *broadcast*, onde ela é enviada para todos os dispositivos da rede.

A norma define que as mensagens GOOSE devem utilizar o *MAC adress* de destino como um valor entre o intervalo: 01-0C-CD-01-00-00 até 01-0C-CD-01-01-FF, as que estiverem dentro dessa faixa serão reconhecidas como mensagem GOOSE *multicast*. Para mensagens SV (*Sampled Values*), esse intervalo vai de: 01-0C-CD-04-00-FF até 01-0C-CD-04-01-FF (GE, 2018).

A configuração desses *MAC adress* permite que os IEDs façam uma filtragem na camada de *hardware*, não sendo necessário abrir o *payload* de uma mensagem, otimizando o processamento de mensagens não necessárias.

Na figura 4, é expandido o *payload* da figura 3, nesta configuração é possível perceber as características da camada 3 do modelo OSI, camada de REDE. Onde é apresentado o IP e VLANs (BRUNNER, 2016).

Figura 4 – Payload frame ethernet



Fonte: (GE, 2018)

### 2.3.1 Configuração

A norma apresenta uma padronização de nomes e estruturas hierárquicas de objetos, Nó Logico - *Logical Node* (LN), nessa padronização também é definido um formato padrão para configuração dos dispositivos, permitindo o intercâmbio entre ferramentas de configuração em diferentes dispositivos e *softwares* (VICENTE, 2011).

A Linguagem de Configuração da Subestação (SCL) é uma configuração baseado em XML, onde esta é uma linguagem utilizada para o intercâmbio de dados de configurações de banco de dados entre ferramentas distintas (LEÓN, 2015).

A configuração SCL é separada em quatro tipos diferentes de arquivos, sendo (VICENTE, 2011):

- **System Specification Description (SSD):** Descreve as funções de proteção do sistema.
- **Substation Configuration Description (SCD):** Define a estrutura completa da subestação, com sua rede de comunicação.
- **IED Capability Description (ICD):** Descreve os dados suportados por um equipamento.
- **Configured IED Description (CID):** Descreve a configuração de um IED específico.

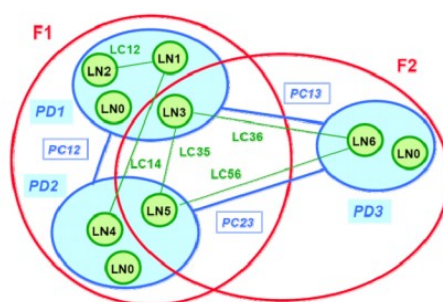
Devido ao caráter genérico desta configuração, onde os equipamentos e as suas funções possuem nomes padronizados, é possível fazer a configuração de um sistema de proteção sem a necessidade de configurar as características específicas de cada equipamento que estará presente na aplicação. Sendo configurado apenas os dados que cada equipamento vai precisar e as proteções que vão ser enviadas para todos os equipamentos. Deste modo, também é possível fazer a troca de um equipamento já presente em um aplicação sem ser necessário fazer a reconfiguração do sistema.

### 2.3.2 Nó Lógico

A principal característica que traz esse caráter genérico à norma é o funcionamento dos nós lógicos (LN).

Na figura 5, mostra as funções (F), que podem ser implementadas com informações de diversos Dispositivos Físicos - *Physical Device* (PD) através da divisão em subfunções, chamadas de LN. Os nós lógicos trocam informações necessárias à implementação das funções através de Conexão Lógica - *Logical Connection* (LC) ou/e Conexão Física - *Physical Connection* (PC) (MIRANDA, 2009).

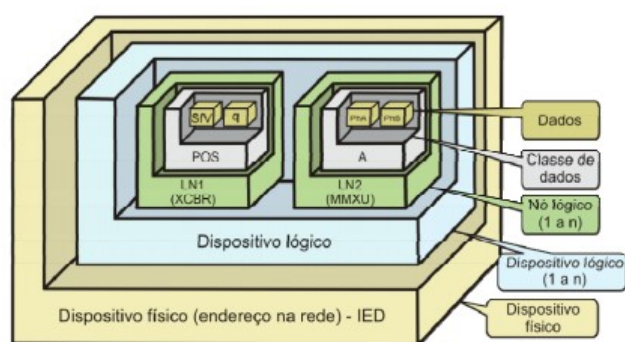
Figura 5 – Conexões Lógicas LN



Fonte: (IEC, 2013)

Na figura 6 nota-se a disposição dos dados segundo a norma.

Figura 6 – Modelo dos Dados



Fonte: (MIRANDA, 2009)

Cada dispositivo presente numa aplicação possui um LD que o representa, cada LD possui um conjunto de LN sendo que esses LN's possuem dados atrelados a eles. Deste modo ao se fazer uma mudança de equipamento basta configurar o novo equipamento conforme o LD antigo, onde para os outros equipamentos essa mudança não vai ser percebida (MIRANDA, 2009).

Para facilitar a configuração das aplicações necessárias no SEP, as funções de: proteção, controle, medição e supervisão, foram separadas em classes de dados. Essas classes de dados possuem diversos serviços LN associados a eles.

Cada LN possui um nome associado a ele, estes nomes foram padronizados pela norma. A tabela 2 apresenta os indicadores, descritos na norma (IEC, 2013)

Tabela 2 – Grupo de LN

Grupo Indicador	Grupo de Nó Lógico
A	Controle Automático
C	Controle Supervisionado
G	Função Genérica
I	Interfaces e Arquivamento
L	Sistema de Nó Lógico
M	Contador e Medição
P	Função de Proteção
R	Função Relacionada a Proteção
S	Sensores, Monitoração
T	Transformador de Instrumento
X	Disjuntor e Chave Seccionadora
Y	Transformador de Potência e Funções Relacionadas
Z	Equipamentos Adicionais do Sep

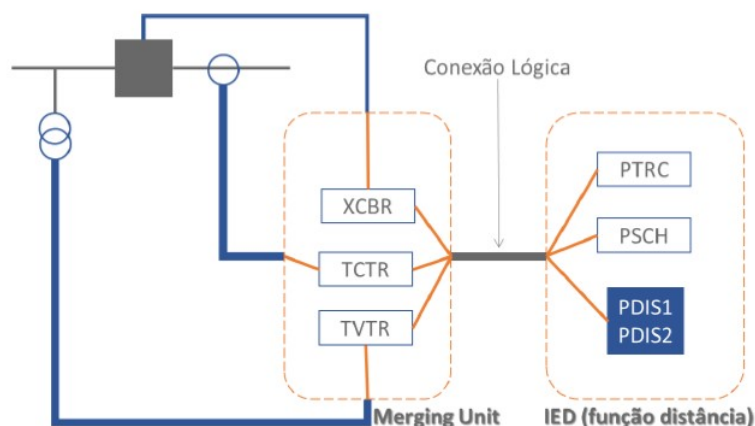
Temos como exemplo "PTOC01" que significa *Protection Transformer Over Current 01* - Proteção de Sobrecorrente 1.

A figura 7, apresenta o funcionamento de uma proteção de distância, utilizando uma *Merging Unit* (MU), equipamento usado na digitalização de medidas de tensão e corrente. Onde existem 7 LN's de interesse: XCBR é o comando de trip de um disjuntor, TCTR e TVTR são respectivamente as medidas de corrente e tensão, PTRC simboliza condição de trip de proteção, PSCH esquema de comunicação da proteção e PDIS1 e PDIS2 são as proteções de distância.

Nesse caso ao ocorrer uma falta, a medição com erro será enviada da MU através dos LN TCTR e TVTR para o relé, onde este, através do PDIS1 analisará que existe uma falta e enviará essa informação para o PSCH. O PSCH faz a comunicação com outros IEDs e subestações, ao receber a informação da necessidade de atuação da proteção enviaria um sinal ao PTRC que simboliza que o trip deve ocorrer. Assim envia para o XCBR, que por sua vez é o comando de trip. A MU, neste caso, enviaria analogicamente para o disjuntor o sinal de trip.



Figura 7 – Atuação da Proteção Utilizando LN



Fonte: (GE, 2018)

### 2.3.3 Sampled Values

O protocolo SV é utilizado pela norma IEC-61850 para comunicação entre instrumentos de medição e MU com IED, repassando as informações analógicas do estado da rede.

A norma apresenta um componente chamado MU, este componente é utilizado para transformar as informações analógicas recebidas do Transformador de Corrente (TC) e do Transformador de Pôtnencial (TP) em informações digitais, em um tempo sincronizado, podendo, também, fazer a transformação de um sinal digital de trip para um comando analógico.

O protocolo recomenda a utilização da comunicação baseada em um sistema com conectores óticos *full duplex Straight Tip Connectors* (STC) ou os conectores *Mechanical Transfer Registered Jack* (MT-RJ) podendo utilizar os cabos de elétricos mais comum, *Registered Jack-45* (RJ-45) (UCA, 2004).

Um conector *full duplex*, implica que a comunicação pode ser feita em ambas direções, simultaneamente. A falta de colisão possibilita que o comprimento máximo do cabo seja determinado pela atenuação de sinal (FOROUZAN, 2011).

O tamanho das mensagens e o intervalo entre cada mensagens depende de dois fatores: a frequência do sinal a ser medido e a *Samples Per Period* (SPP), onde, segundo o guia de implementação 61850-9-2 *Light Edition* (LE), o mais utilizado, apresenta dois valores de amostragem, 80 e 256 amostras por ciclo de rede, sendo obrigatório ser uma taxa de amostragem fixa. A amostragem de 80 ciclos é recomendada para a utilização em sistemas de proteção (TYPHOON HIL, 2019).

Segundo a 61850-9-2 LE os *frames* de proteção, 80 amostras por ciclos, são enviados em amostras únicas, totalizando 4800 *frames/s*, já os *frames* recomendados para medição, são enviados quando acumula 8 dados, diminuindo a quantidade de

frames/s para 1920, apesar de cada *frame* possuir mais bytes.

Outra configuração difundida é a configuração *Hard Fiber*, que diferentemente da LE, não distingue as mensagens entre proteção e medição, possuindo apenas uma taxa de amostragem 128 amostras por ciclo de rede, porém cada *frame* possui 8 dados.

A mensagem SV é responsável pela principal parte do tráfego em uma subestação digital.

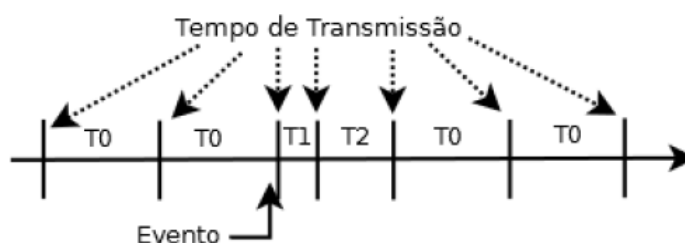
### 2.3.4 GOOSE

Outra parte da norma IEC-61850 é sobre a comunicação *Generic Object Oriented Substation Events* (GOOSE), trate-se de mensagens com rápida transferência (definido pela norma menor que 3 ms) e de forma confiável. Sendo aplicado em serviços de proteção, monitoramento e controle (IEC, 2013).

As mensagens GOOSE são enviadas no formato *multicast*, comunicação baseada na camada 2 do modelo OSI, isso traz uma configuração unidirecional onde existe uma fonte enviando para múltiplos destinos (OLIVEIRA, 2010).

A mensagem GOOSE possui uma estratégia de retransmissão para evitar problemas com perdas de pacotes, que possibilita uma análise de falhas de comunicação aumentando a confiabilidade.

Figura 8 – Modelo tempo mensagem GOOSE



Fonte: (OLIVEIRA, 2010)

A mensagem ao ser enviada possui um atributo chamado Tempo Permitido Para Viver (TLL), sendo este o tempo máximo que deve aguardar para enviar a próxima mensagem, apresentado na Figura 8 pelo T0. Na ocorrência de um evento, este tempo é reduzido, mostrado em T1, sendo aumentado gradativamente até ser restituído ao seu valor original T0. Isso implica que em situações de faltas o fluxo de mensagem aumenta para garantir o envio. Caso uma mensagem não chegue no tempo especificado pelo TTL, o receptor pode assumir que existiu alguma falha na comunicação (LEÓN, 2015).

### 2.3.5 Vantagens da Norma

A norma IEC-61850 possui diversas vantagens sendo algumas delas (MACKIEWICZ, 2006; GHISLENI, 2019):

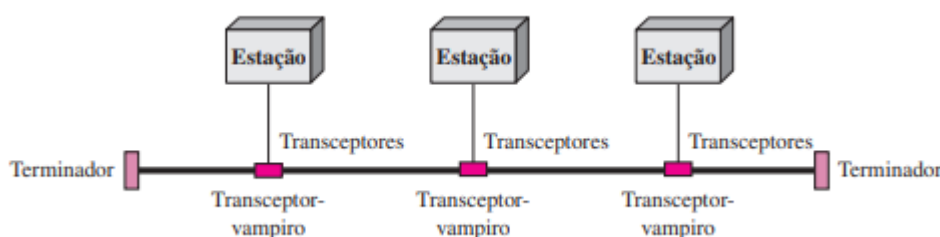
- **Eliminação de ambiguidade:** não apenas o SCL pode ser usado para configuração dos dispositivos e sistemas de potência, como também pode ser utilizado para definir precisamente as necessidades dos usuário. Pois usando o SCL o usuário consegue especificar exatamente o que é esperado, sem possibilidade de erros de interpretação por parte dos fornecedores
- **Diminuição do custo de instalação:** a norma permite o uso da comunicação LAN sem precisar a utilização de fios para cada *link* e para cada relé. Isso reduz significativamente o custo de fiação e trincheiramento apesar do aumento dos custos nos dispositivos.
- **Diminuição de custo de comissionamento:** o custo da configuração é drasticamente reduzido tendo em vista que os dispositivos provenientes da IEC-61850 não requerem a mesma quantidade de manuais de instalação, comparativamente com os equipamentos mais antigos. O usuário não precisa fazer a configuração manual de cada ponto necessário, pois existe a possibilidade de recuperar a lista de pontos do dispositivo ou importar diretamente de um arquivo SCL (*Linguagem de Configuração da Subestação*).
- **Diminuição no custo de alteração de equipamento:** os dispositivos compartilham as mesmas convenções de nomenclatura, minimizando a reconfiguração das aplicações quando um dos dispositivos é alterado.
- **Diminuição no custo de extensão:** os dispositivos não precisam ser configurados para ignorar mensagens, portanto novas extensões podem ser adicionadas sem a necessidade de reconfiguração de dispositivos já existentes
- **Diminuição do custo de integração:** com o uso de uma tecnologia padrão não é necessário o uso de uma Unidade de Terminal Remoto (RTU), a qual é necessária ser configurada manualmente.
- **Facilidade na implementação de novas tecnologias:** devido os equipamentos já estarem conectados em uma LAN, o custo incremental para acessar e disponibilizar os dados torna-se menor, possibilitando novas aplicações que seriam muito custosas.

### 2.3.6 Barramentos

Um barramento é um canal de comunicação, no qual os dispositivos se conectam (MIRANDA, 2009).

Todos os nós se ligam no mesmo meio de transmissão, permitindo a transmissão de informação para cada ponto conectado ao barramento. Isso permite também, que cada equipamento veja todas as informações transmitidas pela barra, modelo apresentado na figura 9. Esta característica facilita as aplicações com mensagens enviadas para múltiplas estações (FERNANDEZ, 2015).

Figura 9 – Estrutura barramento



Fonte: (FOROUZAN, 2011)

A norma IEC-61850 divide a arquitetura da rede de comunicação em dois barramentos. O primeiro barramento com um nível mais elevado é chamado de barramento de estação sendo utilizado na supervisão, no controle da subestação e também na comunicação entre IED's. Neste barramento ocorre também a comunicação entre os operadores, normalmente utilizando o sistema *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), e os IED's.

O segundo é definido como o barramento de processo. Este nível é proposto para a comunicação entre os instrumentos de medição e os IED's, foi planejado para substituir as tradicionais conexões cabeadas (LEÓN, 2015).

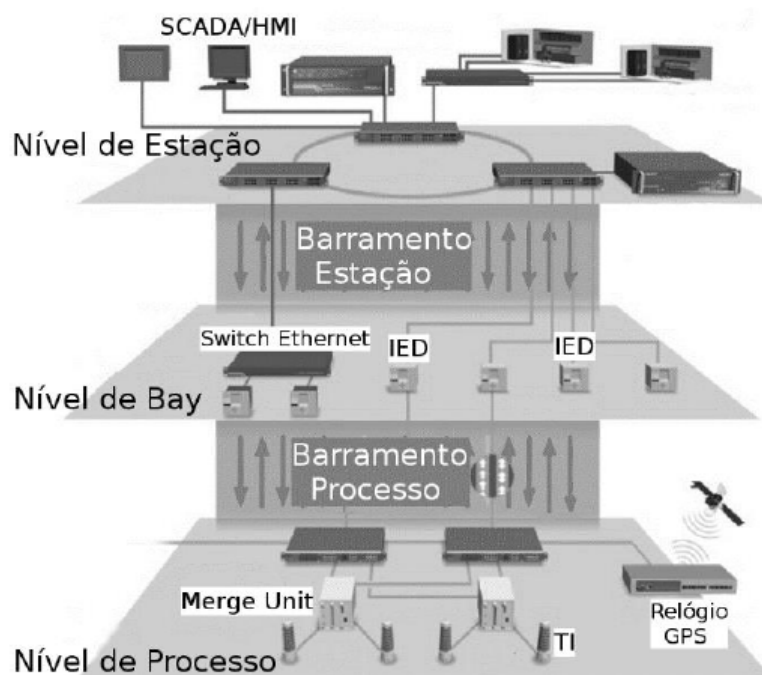
Na Figura 10 são apresentados os conceitos básicos da comunicação, dividida nos dois níveis descritos anteriormente.

Sinais de fontes de tensão e corrente (baixa e/ou alta), bem como informações de status, são inseridas em uma MU e enviadas para todos os IEDs através de uma LAN, sendo esta LAN caracterizada como o barramento de Processo.

O barramento de processo e o de estação podem ser: separados fisicamente, onde cada barramento possui *switchs* e cabos próprios; separados digitalmente, com segregação de VLAN's; e em muitas aplicações não existe segregação.

Além da topologia em barramento citado na norma, existem outras topologias que são utilizadas em sistemas de LAN. Tendo em vista que a norma não especifica como devem ser feitas as configurações, apenas os requisitos mínimos, essas configurações também são utilizadas em subestações, sendo elas:

Figura 10 – Modelo da Norma



Fonte: (LEÓN, 2015)

- Topologia em anel: cada dispositivo possui uma conexão ponto a ponto dedicada com os outros dois dispositivos conectados de cada lado, figura 11. Um sinal percorre todo o anel em um sentido, de dispositivo para dispositivo, até atingir seu destino. Cada dispositivo no anel possui um repetidor. Numa subestação muitos IED's já possuem duas portas *ethernet* possibilitando esse tipo de configuração sem a necessidade de um equipamento extra. Essa topologia é fácil de ser configurada fisicamente, porém digitalmente é necessária uma precaução maior com *loopings*. Ela tem a vantagem de que a perda de um *link* não afeta a comunicação (FOROUZAN, 2011).
- Topologia estrela: cada dispositivo está conectado a um *hub*, que faz a distribuição da informação, figura 12. Uma das vantagens dessa topologia é que para ser instalado em um novo dispositivo basta acrescentar um novo ponto ao *hub*. Outra vantagem dessa disposição é que se um *link* falhar só é perdida a comunicação com esse dispositivo. Esse fator por si só facilita a identificação e o isolamento de falhas. Entretanto como desvantagem é que a perda do *hub* afeta a comunicação com todos os dispositivos.

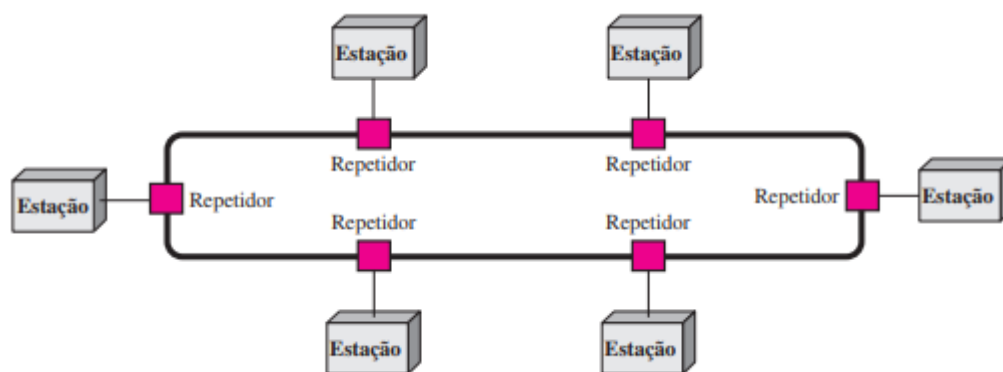
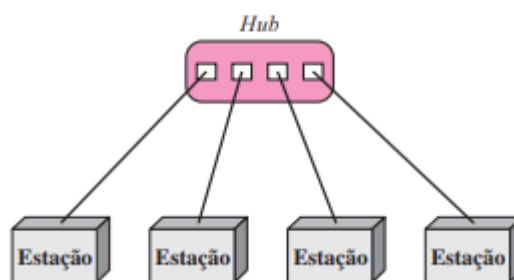


Figura 11 – Figura em anel

Fonte: (FOROUZAN, 2011)

Figura 12 – Modelo HUB



Fonte: (FOROUZAN, 2011)

### 2.3.7 Linguagem de Programação Orientada a Objeto

A norma IEC-61850 utiliza conceitos da LPOO. Essa característica gera uma grande diferença pois implica que um dado existente em um protocolo não tem associação com a atual aplicação, equipamento ou a função que eles representam (ABB, 2012).

Uma LPOO tem como foco principal o objeto. Este objeto recebe e envia mensagens, executa processamento e possui um estado local que ele pode modificar. Problemas são resolvidos através de objetos que enviam mensagens uns para os outros. Deste modo, em linhas gerais é possível apresentar a OO (orientação a objeto) em alguns conceitos básicos (MANSSOUR, 2009):

- **Objeto:** Um objeto consiste em um conjunto de operações encapsuladas e um "estado"(determinado pelo valor dos atributos) que grava e recupera os efeitos desta operação. Sendo assim um objeto possui tudo o que é necessário para conhecer a si próprio. Ele executa uma operação em resposta a uma mensagem recebida, podendo este também, como parte da operação, enviar mensagens. O resultado da operação depende tanto do conteúdo da mensagem recebida como

do estado do objeto quando ele recebe a mensagem.

- **Mensagens:** Mensagens são requisições enviadas de um objeto para outro, para que o objeto receptor forneça algum resultado desejado através da execução de uma operação. A natureza das operações realizadas para alcançar o resultado requerido é determinado pelo objeto receptor. Em outras palavras, trata-se de um ciclo completo onde uma mensagem é enviada a um objeto e as operações são executadas dentro desse objeto e uma mensagem contendo o resultado da operação é enviada ao solicitante.
- **Métodos:** Métodos podem ser considerados os procedimentos de um determinado objeto, está relacionado a descrição das operações que um determinado objeto fará quando receber uma mensagem. A mesma mensagem, pode resultar em diferentes métodos quando enviada para objetos diferentes.
- **Atributos:** São os dados e as informações do estado atual, para o qual cada objeto possui um valor. Podendo eles serem compartilhados entre todos os elementos da mesma classe "atributos de classe" ou sendo diferentes "atributos de objeto".
- **Classe:** Define as características de uma coleção de objetos.

As diferenças entre uma LPOO e uma não OO, é que na não orientada, ao se fazer a configuração de um equipamento, é necessário analisar os índices e os *inputs* binários que representam a posição do equipamento e lincar cada dado com a aplicação em que esse será utilizado, sendo este um processo manual. Porém, utilizando uma LPOO, como a IEC-61850, todos os dados estão contidos em um modelo virtual dos aparelhos e das suas funções. Quando se analisa a posição do equipamento, existe um nó lógico que contém um objeto que representa a sua posição. Em uma subestação com milhares de pontos isso se torna uma maneira rápida e eficiente de organizar a estrutura de dados (ABB, 2012).

### 2.3.8 VLAN

Uma *Virtual Local Area Network* (VLAN) é um grupo de dispositivos configurados digitalmente em uma ou mais LAN's, como se estivessem conectadas ao mesmo fio, podendo estar localizados em vários segmentos diferentes da LAN. Como as VLAN's são baseadas em conexões lógicas ao invés de físicas, elas se tornam extremamente flexíveis, podendo fazer alterações de configurações remotamente (CISCO, 2019).

Uma das vantagens das VLAN's é que dispositivos cadastrados em diferentes VLAN's não conseguem acessar outros componentes, protegendo o servidor contra ataques.

Outra vantagem da segregação é que permite dividir as redes. Tornado-as em redes menores, melhorando a identificação de erros, controle e gestão dos ativos. Além disso, ao segregar o processamento das mensagens não precisa mais ser feito apenas pelos IED's, um *switch* vai poder fazer a análise de onde as mensagens devem ser enviadas, possibilitando um aumento na velocidade de processamento dos sinais.

Em uma configuração de VLAN também é possível definir a prioridade de uma mensagem, ela é uma informação de 3 bits, possuindo 8 níveis de priorização, onde 7 é o maior. A prioridade define a ordem que a informação vai ser emitida. Entretanto a priorização não altera a ordem de processamento das mensagens, se um *buffer* de recebimento estiver lotado a mensagem continuará em espera, possibilitando a perda de pacotes (FOROUZAN, 2011).

### 2.3.9 Mensagem de Sincronismo

Outra mensagem que circula em um barramento de uma subestação digital são as mensagens de sincronismo. Atualmente, sua utilização é imprescindível em aplicações como localização de faltas por ondas viajantes, pois possibilita a precisa sincronização de dados que são disponibilizados por distintos equipamentos. Além de ajudar na identificação das atuações das proteções, pois existe a necessidade de comparar as informações provenientes de múltiplos dispositivos.

Um dos primeiros protocolos utilizados nos sistemas elétricos foi o *Inter-Range Instrumentation Group* (IRIG-B). Pelo fato deste protocolo necessitar de uma rede independente para distribuição do sinal e ser muito susceptível às interferências eletromagnéticas, houve necessidade do desenvolvimento de novos protocolos de sincronização que pudessem contornar as dificuldades técnicas existentes (LUIZ, 2011).

Com a adoção de redes de comunicação *ethernet* em larga escala nas subestações, ocasionada principalmente pela implantação da norma IEC-61850, ficou evidente que a maneira mais simples para distribuição do sinal de tempo naquelas instalações seria baseada em soluções utilizando-se a infraestrutura de comunicação já disponível. Como o próprio *Simplified Network Time Protocol* (SNTP) que foi adotado como padrão da norma (LUIZ, 2011).

#### 2.3.9.1 SNTP

O SNTP é uma versão simplificada do *Network Time Protocol* (NTP). Sendo utilizado para sincronização dos relógios em referências de tempo confiáveis (NTP, 2007).

O servidor SNTP não consegue chegar a níveis de acurácia elevados, entretanto ele pode ser aplicado em versões mais simplificadas. A principal diferença entre esses protocolos é que o SNTP apenas faz o ajuste dos relógios dos equipamentos, enquanto o NTP é capaz de analisar qual equipamento está fornecendo o melhor



tempo (múltiplas fontes) e encontrar os tempos de deslocamento entre o GPS e os equipamentos. Em uma aplicação a utilização média da banda de comunicação usando NTP é de 48 bit/s da banda de *ethernet*. (NTP, 2007; NEGREIROS, 2017).

### 3 SUBESTAÇÃO DIGITAL

Esse capítulo tem como intuito explicar o funcionamento de uma subestação, uma das principais instalações do SEP, apresentando o funcionamento dos seus componentes, tanto em uma subestação convencional como em uma digital.

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Subestação é um conjunto de equipamentos conectados com a rede com o intuito de controlar o fluxo de potência em uma linha, modificar as tensões e garantindo a proteção do sistema elétrico (OLIVEIRA MUZY, 2012).

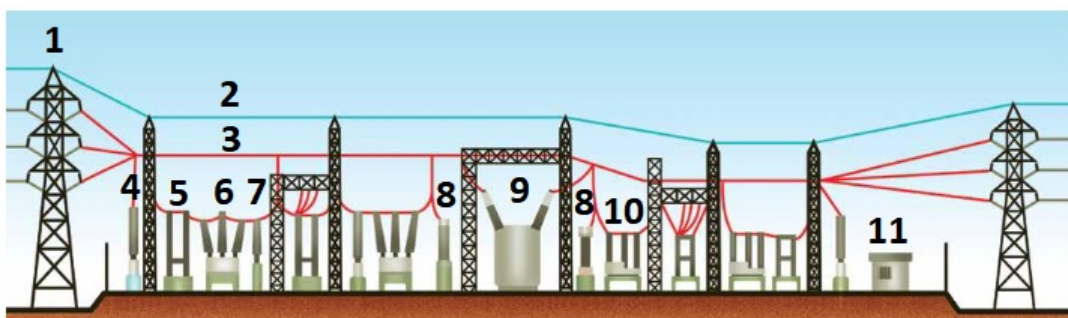
O principal componente de uma subestação é o transformador de potência, este equipamento é capaz de variar os níveis de tensões e correntes. A transformação da corrente possui o objetivo de diminuir as perdas devido ao efeito Joule, recorrente da passagem de uma corrente por um fio, perda que é proporcional ao quadrado da corrente (RODRIGUES, 2013).

Uma subestação digital tem como diferença que cabeamentos são substituídos por dispositivos inteligentes (MU e fibras óticas) capazes de fazerem a comunicação via cabos de *ethernet* utilizando o protocolo de comunicação IEC-61850.

#### 3.2 ESTRUTURA SUBESTAÇÃO

Uma subestação possui alguns componentes básicos para seu funcionamento, esses componentes foram enumerados na figura 13, e serão explicados sequencialmente conforme a mesma (OLIVEIRA MUZY, 2012; RODRIGUES, 2013; LEÓN, 2015).

Figura 13 – Representação subestação



Fonte: adaptada de (WTENGENHARIA, 2019)

1. **Torre de Transmissão:** As torres de transmissão são estruturas que fazem a transmissão da energia, possuem altura para isolar o sistema

2. **Cabo de Aterramento:** É utilizado para fazer a proteção da subestação e isolar a rede contra descargas elétricas.
3. **Barramento:** É a parte energizada dentro de uma subestação, que se conecta ao transformador de potência e as torres de transmissão, no barramento também está conectado os equipamentos de medição.
4. **Para-Raios:** O para-raio é utilizado na proteção de outros equipamentos contra descargas atmosféricas.
5. **Chave Seccionadora:** São equipamentos mecânicos utilizados para efetuar manobras para isolar equipamentos que necessitam manutenção.

Esse equipamento, diferentemente do disjuntor, só pode ser utilizado quando a corrente que passa entre seus terminais é desprezível.

6. **Disjuntor:** É o equipamento utilizado na interrupção do SEP, são feitos para atuar, abrindo ou fechando o circuito, independentemente da situação do sistema.

Esses equipamentos são passivos, as lógicas de atuação de proteção são dependentes dos relés associados a eles, os quais enviam um sinal de disparo para a atuação desses equipamentos, podendo também, esse sinal ser enviado por um operador.

Em uma subestação digital o sinal para a atuação da proteção é enviado através de mensagens GOOSE.

7. **Transformador de Corrente:** O TC mede a corrente enviando-a para os equipamentos de medição e proteção, respeitando os limites de isolamento.

Possuem um enrolamento primário ligado em série ao circuito elétrico e o secundário conecta-se aos equipamentos de medição e proteção, onde os dois enrolamentos são apenas magneticamente conectados. Devido a conexão em série os equipamentos tem a necessidade de serem mais robustos para não sofrerem com as correntes de curto.

O TC, que se conecta aos equipamentos de medição, possui boa precisão, entre 0,3% a 0,6%, e baixa corrente de saturação, 4 vezes a nominal. Enquanto isso, os que se conectam com equipamentos de proteção, possuem uma corrente de saturação elevada, 20 vezes a nominal, porém possuem menor precisão.

8. **Transformador de Potencial:** O TP funciona de forma análoga ao TC, eles tem como função possibilitar a medição da tensão em circuitos de alta tensão. O TP fica conectado em paralelo com a rede, cujo enrolamento primário é ligado em derivação e o secundário se destina a alimentar os equipamentos de medição e proteção.

9. **Transformador de Potência:** O transformador de potência é o principal equipamento em uma subestação, ele é utilizado para fazer a transformação de energia, assim ocorre uma diminuição dos gastos em transmissão e aumento na eficiência na geração.
10. **Disjuntor e Transformador de Corrente:** Em barramentos com um nível de tensão menor é comum encontrar equipamentos que podem fazer o funcionamento de medição de corrente e abertura do circuito.
11. **Bay de Proteção:** É um espaço físico, onde se encontram os equipamentos de medição e proteção, como os relés. Em uma subestação digital o controle dos equipamentos dentro de um *bay* é feito através de um barramento (digital).

### 3.3 RELÉS

O relé é um IED destinado a detectar anormalidade no sistema e atuar proteções predefinidas, mudando o estado no contato, ou, em relés digitais, mandando informações via *ethernet*.

São utilizados para identificar sobrecorrentes (provocam sobre temperaturas), sobretensões (causadoras de fadigas e disrupções dielétricas), curtos-circuitos (causadores de danos por sobreaquecimento e por forças eletrodinâmicas), sub-frequências e sobre-frequências (causadoras de falhas de sincronismo) (DE PAULA, 2005).

### 3.4 SWITCH

Outro equipamento presente em sistemas de proteção são os *switchs*. O *switch* é utilizado para a integração de múltiplos equipamentos, permitindo a comunicação entre eles. É utilizado nas principais topologias das subestações, sendo a peça central de uma topologia em estrela.

Um *switch* possui alguns pontos-chaves em relação a sua capacidade de processamento de informação, entre eles estão *Mpps*, *switching bandwidth*, velocidade das portas e *forwarding rate*. A velocidade das portas é a capacidade de processamento de cada uma das suas portas individualmente, sendo os valores mais comuns 10 M bits/s, 100 Mbits/s ou 1 GBit/s. O *switching bandwidth* é a capacidade de processamento de todas as mensagens recebidas pelo dispositivo, enquanto o *forwarding rate* a capacidade de envio dos dados e o *Mpps* está relacionado a capacidade de envio de pacotes distintos (CISCO, 2014).

## 4 METODOLOGIA

O teste proposto analisou a interferência na atuação das proteções ao se sobrecarregar uma rede *ethernet*. Para isso foi inundada uma rede com mensagens SV e simulada uma falha, sendo analisada a atuação das proteções e os efeitos com diferentes níveis de tráfego de mensagem.

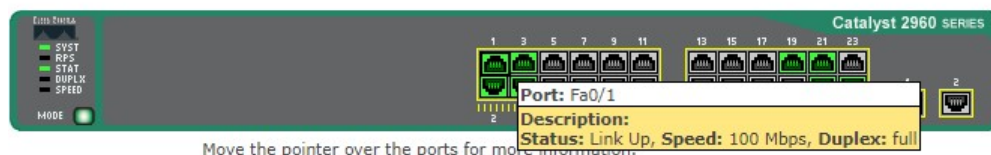
### 4.1 EQUIPAMENTOS

Para o experimento foi utilizado *switch* da cisco que possui 26 portas de *ethernet* RJ-45, sendo duas dessas portas utilizadas para comunicação entre *switchs* possuindo 1 GB/s. As portas desse modelo possuem capacidade de processamento de 100 Mbits/s, a mesma capacidade que o relé, como mostrada na figura 14. Seu *switching bandwidth* é de 32 Gbit/s, seu *forwarding bandwidth* é de 16 Gbps/s e a quantidade de pacotes por segundo é de 6.5 Mpps. Então ele teria capacidade de enviar, considerando uma mensagem média equivalente a uma mensagem SV base de 123 bytes,

$$Banda = 123 * 8 * 6,5 = 6396 = 6,39Gbits \quad (1)$$

Com esse tamanho de mensagem o fator limitante do processamento das mensagens seria o Mpps (CISCO, 2014).

Figura 14 – Porta *ethernet* switch CISCO



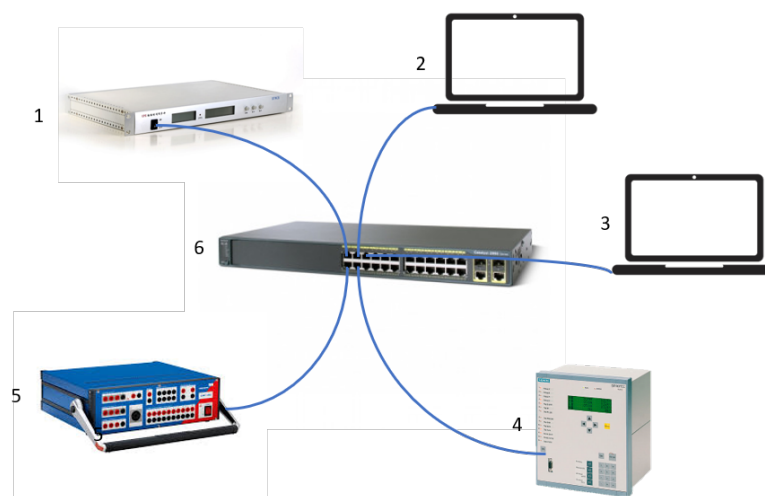
Fonte: Autor

Este é um *switch layer 2*, isso significa que ele só consegue comunicar na camada 2 do modelo OSI, olhando apenas para o *MAC adress*, sem ter a capacidade de fazer roteamento entre diferentes a VLAN, apesar de conseguir segregá-las.

Foram utilizadas 5 portas desse *switch*, como mostra a figura 15:

1. Uma porta conectada a um *Global Positioning System* (GPS), comunicando NTP para fazer o sincronismo dos equipamentos presentes.
2. Uma porta conectada a um computador para fazer as configurações dos dispositivos, assim como iniciar os testes. Para alguns testes essa porta também foi utilizada para sobrecarregar a rede com mais de 100Mbits.

Figura 15 – Lan utilizada - portas Switch



Fonte: Autor

3. Uma porta ligada a um segundo computador utilizado para injetar na rede mensagens SV e também fazer a análise do nível de tráfego na rede.
4. Uma porta para comunicar-se com o relé 7UM62.
5. Uma porta para comunicar-se com a mala de teste, para poder iniciar os testes e a mala receber as mensagens GOOSE e SV.

Foi utilizado um relé 7UM62 da SIEMENS, esse relé é utilizado para proteção de motores, transformadores e geradores. Possuindo 8 entradas de corrente e 4 entradas de tensão, sua configuração pode ser feita pelo *software* proprietário da SIEMENS, chamado DIGSI.

Esse relé possui duas portas de *ethernet* podendo comunicar IEC-61850, as portas do relé possuem capacidade de processamento de até 100 Mbits (SIEMENS, 2019).

Também foi utilizado uma mala de teste da OMICRON capaz de comunicar via IEC-61850 e injetar sinais de tensão e corrente, de maneira a simular um falta.

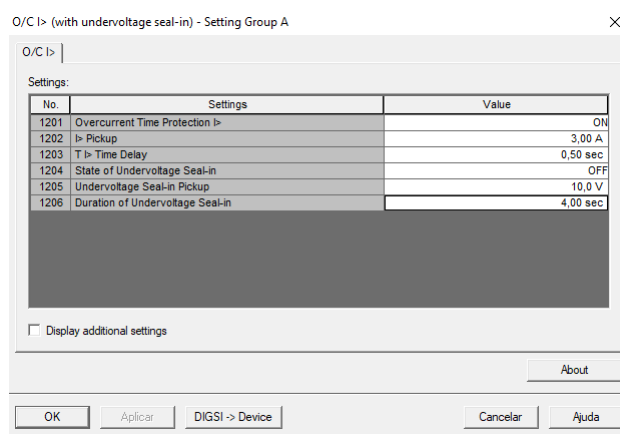
## 4.2 CONFIGURAÇÕES

A proteção utilizada foi a ANSI 50/51, proteção de sobrecorrente. Essa proteção é utilizada como proteção de *backup* para a proteção contra curto-circuito. Essa proteção se utiliza do fato que as correntes são filtradas numericamente, de modo que apenas as correntes de frequência fundamentais são usadas para a medição. Isso torna a medição insensível tanto a condições transitórias, no início de um curto-circuito

como a correntes de curto-circuito assimétricas, componente de corrente contínua (SIEMENS, 2019).

As configurações aplicadas na função de proteção podem ser vistas na figura 16, onde a condição de *pickup* foi definida para 3 A e o *time delay* de 0,5s. Isso significa que se a corrente for maior que 3 A será enviado um sinal de *pickup* e se durante 0,5 s a proteção não fique menor que 3 A será acionado o sinal de *trip*.

Figura 16 – Proteção Sobre Corrente 7UM62



Fonte: Autor

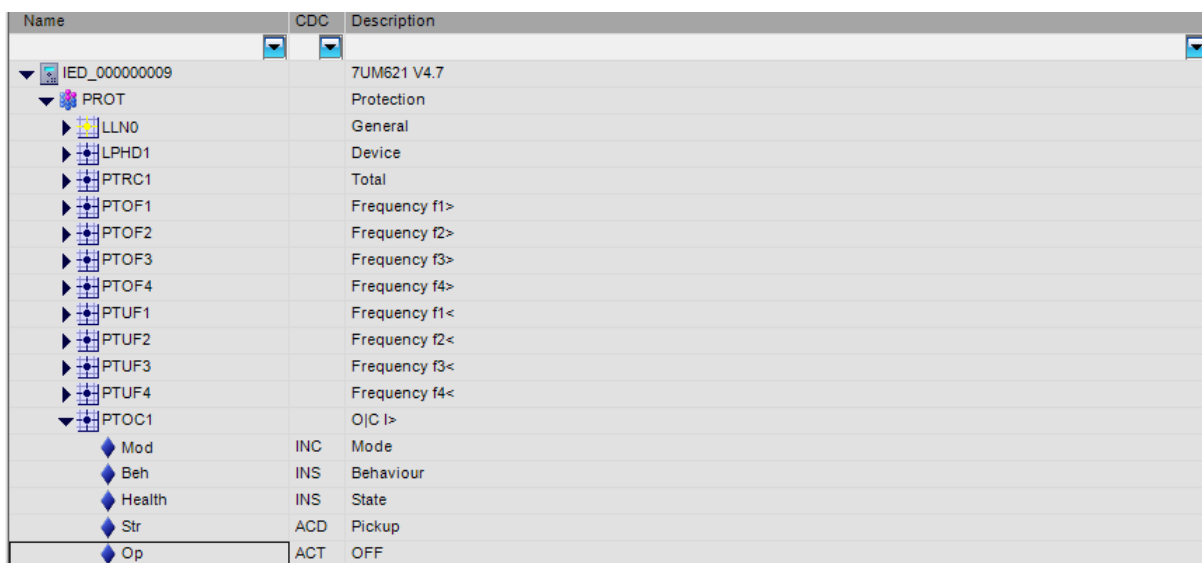
Foram configuradas as mensagens de comunicação de *pickup* e *trip* com a mala de testes, sendo conectado tanto fisicamente, com um cabo físico de comprimento de 2 metros, como digitalmente por *ethernet*, passando pelo *switch* como mostrado anteriormente.

Na figura 17 foi feita a configuração dos componentes da mensagem GOOSE enviada pelo relé.

Na figura 17, é possível analisar a formatação dos LN deste relé, utilizando o aplicativo da Siemens, nesta imagem está sendo mostrado alguns dos LN utilizados na parte de proteção. Como apresentado anteriormente a proteção utilizada foi a de sobrecorrente, sendo representada como Protection Over Current 1 (PTOC1), esta proteção possui 5 informações disponíveis, sendo para esse teste utilizado apenas informações de proteção, *pickup* e *trip*, respectivamente STR e OP. As informações de qualidade e o *input* de modo de operação não foram utilizadas.

Com estas duas informações, STR e OP, foi gerado um *data set* que será utilizado para a atuação das proteções. O seu bloco de controle pode ser visto na figura 18, onde nele são editadas as configurações de transmissão, como o *MAC Address* desse *data set*, onde para o teste foi mantida a configuração inicial. Pode se notar que por ser uma mensagem GOOSE o *MAC Address* está configurado dentro do intervalo *multicast* definido pela norma IEC-61850, nesta figura também é possível fazer a configuração de VLAN e sua prioridade, que serão utilizados posteriormente.

Figura 17 – IEC-61850 Configurator Siemens



Fonte: Autor

Figura 18 – Bloco de Controle GOOSE

GSE control/ Subnet name	GOOSEIdentifier/ Application number	MAC address	Configuration revision	Monitoring time		VLAN	
				Minimum Time	Maximum Ti...	ID	Priority
Control_DataSet	IED_000000009/PROT/LLN0/Control_DataSet		40001				
NONE	1	01-0C-CD-01-00-00		10 ms	2000 ms	0	4

Fonte: Autor

Outra informação que está trafegando na rede são as mensagens SV. As mensagens de proteção segundo a IEC 61850 9-2 LE, com 80 amostras por ciclo de rede, possuem o padrão de enviar a informação de um instante de tempo, possuindo 4 dados de corrente e 4 dados de tensão por mensagem. Desse modo a mensagem padrão de proteção possui 126 bytes ao utilizar VLAN e 122 bytes sem utilizar. Em uma rede com 60 Hz a taxa de envio se torna 4800 Hz, com período de 208  $\mu$ s. Isso implica que para cada equipamento emitindo o padrão de mensagem SV é utilizado.

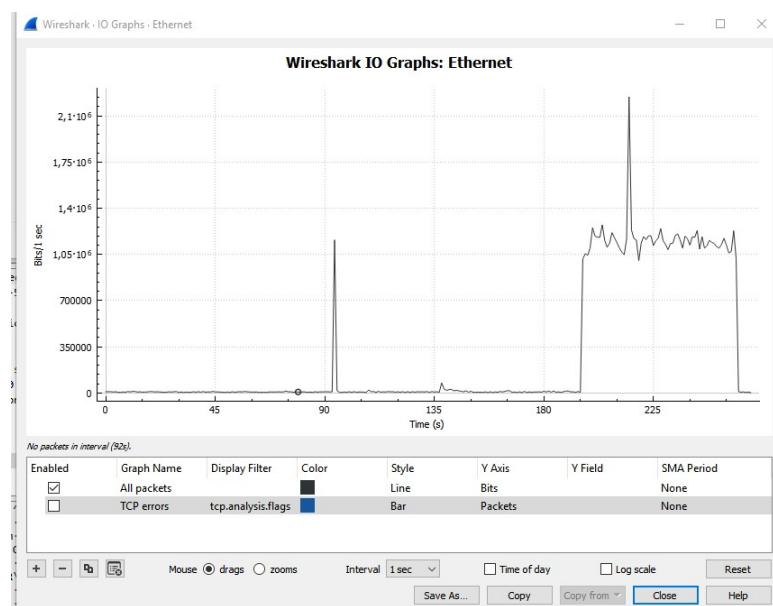
$$BandaUtilizada = 4800 * 126 = 604800bytes = 4.84Mbits \quad (2)$$

Caso fosse utilizado a mensagem SV com 256 amostras por ciclo de rede, outro valor apresentado na LE, a taxa de envio seria de 1500 Hz, porém com mensagens maiores em razão deste conter 8 amostras por mensagem.

Na figura 19, pode se perceber o aumento do tráfego comparativo ao iniciar-se a comunicação de SV, em 195 s. Até esse tempo a comunicação SV estava desconectada, apenas sendo utilizado as comunicações de sincronismo e GOOSE. No instante 195 s foi ativada na rede uma configuração base da mensagem SV, possuindo 4 correntes e 4 tensões.



Figura 19 – Uso de banda utilizando GOOSE e SV



Fonte: Autor

Ao analisar a figura 19 é possível perceber que a mensagem SV possui um uso de banda muito maior que as mensagens GOOSE, entretanto as mensagens GOOSE não possuem um tamanho definido, pois dependem da aplicação. Além disso as mensagens GOOSE, quando ocorre um evento devido a característica de retransmissão, possuem um grande aumento na taxa de transmissão, aumentando o consumo de banda. Uma mensagem GOOSE com apenas os LN's de proteção de PTOC1 possui 200 bytes, enquanto a configuração com PTOC1 e PTOC3 possui 210 bytes. Na figura 20, pode ser visto o formato de uma mensagem GOOSE.

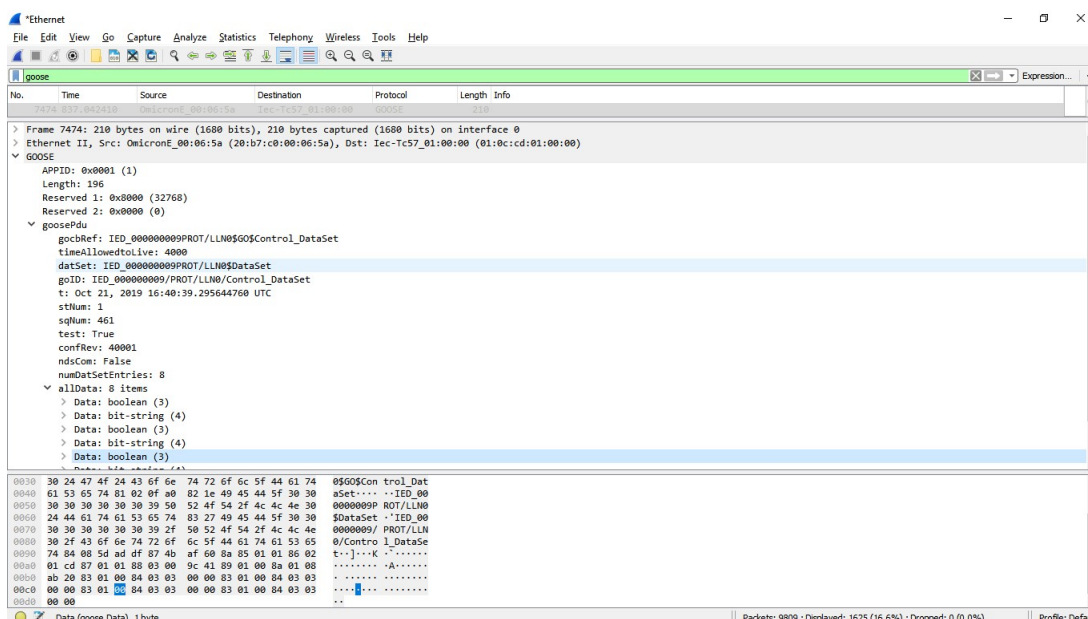
Na segunda linha da mensagem nota-se a segunda camada do modelo OSI, o *MAC Address* do *data set*. A partir da terceira linha estão os dados presentes nesta mensagem, onde é possível ver de qual IED a mensagem foi originada, neste caso IED9, assim como foi configurado no *control block* e no *data set* desta mensagem.

Nesse teste foi simulado uma aplicação, com 50 dados de proteção sendo transitados em um *data set* de proteção, e as medidas de corrente sendo enviadas em outro *data set*.

Para fazer a simulação da falta, foi utilizado uma mala de teste da OMICRON juntamente com seu *software*, *test universe*. Ao se importar o arquivo SQL todos os *data set* presentes na aplicação são informados para o *software*. A figura 21 apresenta a configuração da mensagem de trip digital, via GOOSE, sendo conectadas a entradas binárias virtuais.

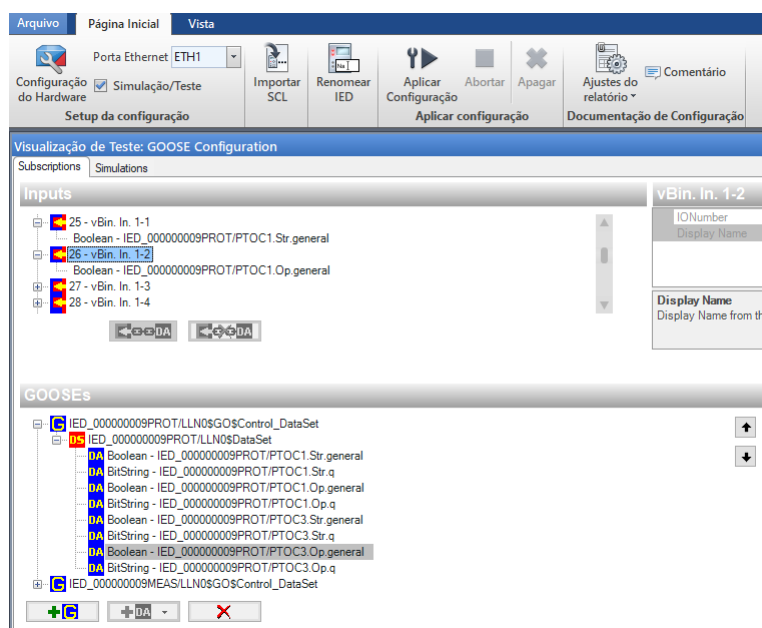
Após a configuração das entradas binárias, digitais e analógicas, foi feita configuração do sinal de tensão a ser emitido pela mala de teste apresentado na figura 22. O teste constitui em uma tensão constante e a corrente subindo gradativamente em

Figura 20 – Formato mensagem GOOSE



Fonte: Autor

Figura 21 – Configuração entradas virtuais

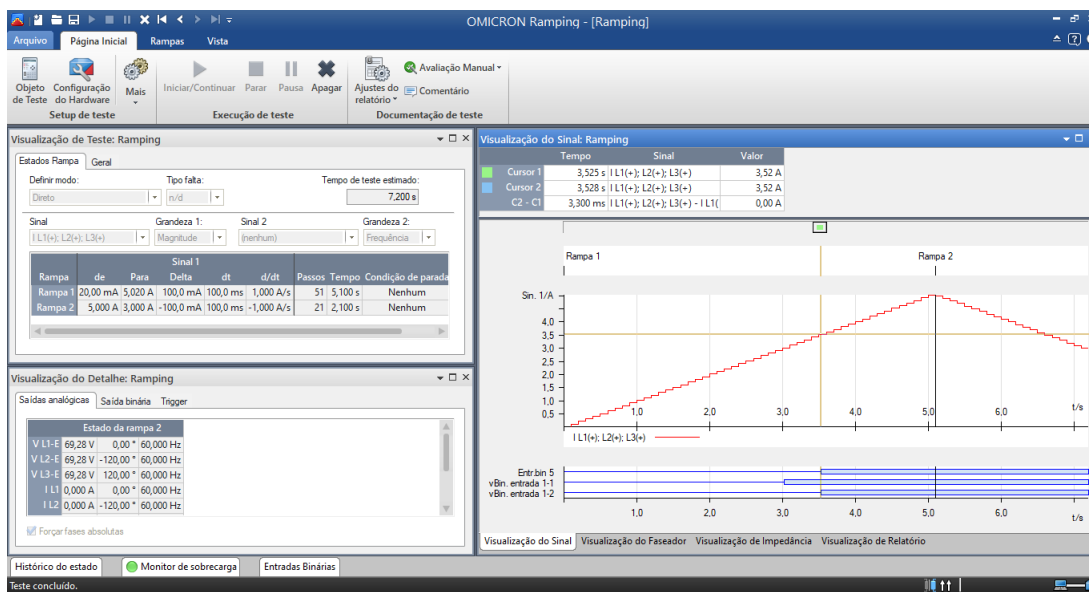


Fonte: Autor

forma de rampa até 5 A, com uma variação em degrau de 100 mA a cada 100 ms.

A proteção PTOC1, do relé 7UM62, está configurada para 3 A, esse valor é atingido em 3 s atuando a informação de *pickup* do relé. Após 0.5 s, no instante 3.5 s, acontece a atuação do *trip* desta proteção, podendo ser visto na alteração do nível lógico da Entr.bin 5 e da vBin1\_2, respectivamente a mensagem enviada analógicamente, via cabo e a mensagem enviada via *ethernet*, GOOSE.

Figura 22 – Configuração corrente



Fonte: Autor

Sendo assim o sinal de tensão e de corrente é injetado pela mala no relé. O relé recebe esses sinais fazendo a análise e enviando as mensagens de trip tanto pelo cabo como pela *ethernet*. A mala recebe esses sinais e guarda o tempo de recebimento de cada um destes sinais.

## 5 TESTES

### 5.1 TESTE BANDA LIVRE

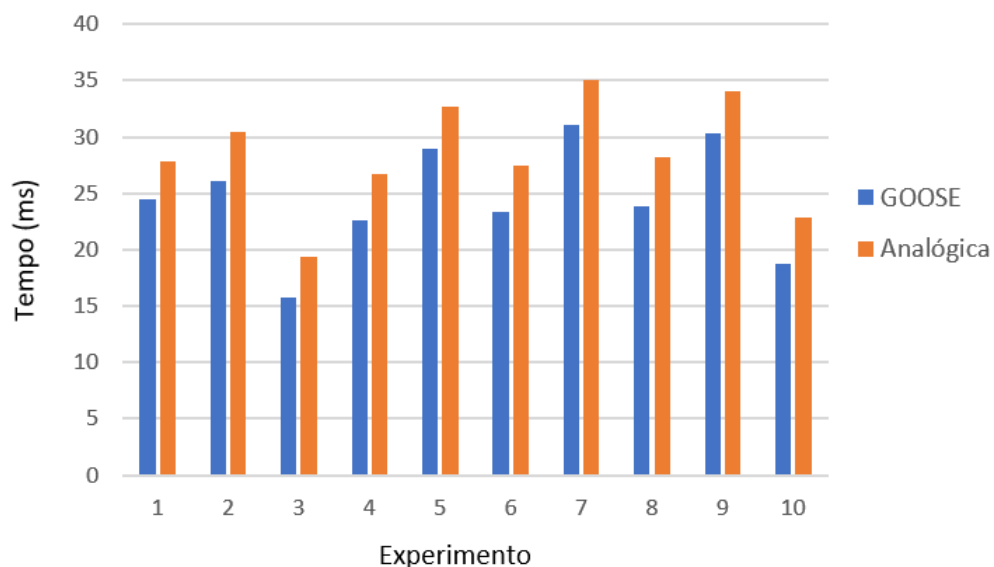
Para o primeiro teste foi feito o experimento baseado em uma rede livre, sendo a rede dedicada apenas para as mensagens de sincronismo e GOOSE. As mensagens GOOSE nesse experimento estavam sem nenhum tipo de segregação.

Na tabela 3 é apresentado o tempo de atuação da proteção, separado entre tempo digital e analógico referenciado ao tempo teórico de atuação da proteção. Esta tabela também mostra a diferença de tempo presente entre a atuação da mensagem analógica com a digital. Esses dados são apresentados graficamente na Figura 23.

Tabela 3 – Teste pouco trafego

Experimento	GOOSE (ms)	Analógico (ms)	Diferença Tempo (ms)
1	24,5	27,8	-3,3
2	26,1	30,5	-4,4
3	15,7	19,4	-3,7
4	22,6	26,7	-4,1
5	28,9	32,7	-3,8
6	23,4	27,4	-4
7	31,1	35	-3,9
8	23,8	28,2	-4,4
9	30,3	34	-3,7
10	18,8	22,9	-4,1
Media	24,52	28,46	-3,94

Figura 23 – Gráfico tempo de atuação banda livre



Fonte: Autor

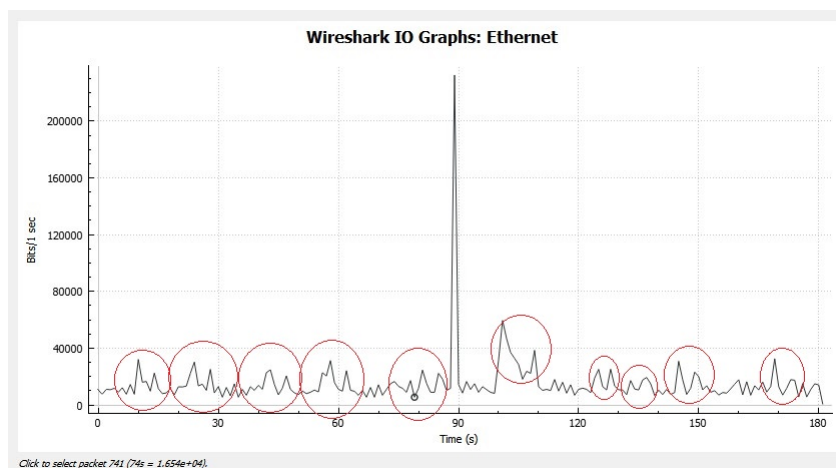
É possível analisar que existe um atraso entre o tempo de atuação das proteções teórico e prático, essa diferença ocorre pelo tempo de processamento do relé, da mala e do atraso no caminho da comunicação.

No experimento a proteção utilizando GOOSE teve um tempo de atuação médio de 24.5 ms enquanto a mensagem analógica atuou em média em 28,4 ms sendo a mensagem GOOSE em média 3,94 ms mais rápida que a mensagem analógica e com um desvio padrão de 0,33 ms.

Foi utilizado o programa de código aberto Wireshark para fazer a análise de tráfego na rede.

Na figura 24 é apresentado o comportamento da rede *ethernet* durante o teste. Durante todo o teste foram trafegados 1978 pacotes com média de 174,08 bytes durante 181s. Sendo assim o tráfego médio na rede foi de 1,9 kbytes.

Figura 24 – wireshark, banda livre



Fonte: Autor

Na figura os círculos em vermelho indicam os momentos em que as proteções atuaram, sendo o primeiro pico em cada círculo, a atuação do *pickup*, e no segundo a atuação do *trip*.

Nessa configuração a mensagem GOOSE teve um tempo de atuação mais rápido que a mensagem analógica, em todas as medições.

## 5.2 TESTE COM SV NA REDE

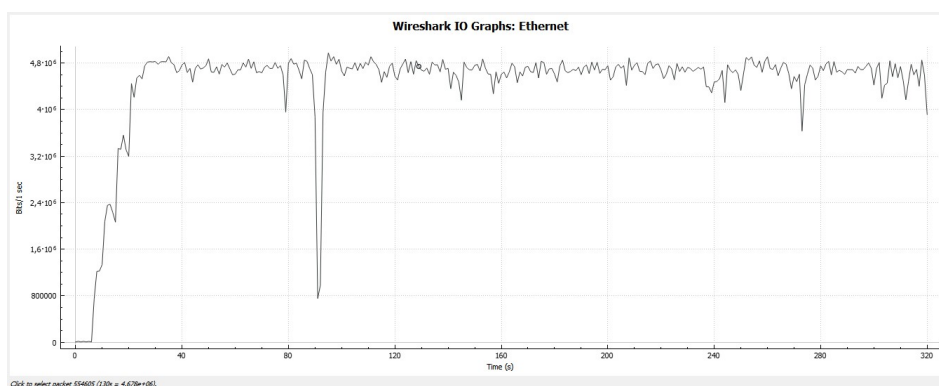
Para um segundo teste foi injetado na rede uma mensagem SV enviada para a mala de testes e para o relé. Sendo os caminhos: switch - computador 1, switch - mala de testes e switch - relé, com mensagens SV passando por eles. Nesta condição foram trafegados 1458891 pacotes com média de 122,07 bytes durante 320 s, resultando em uma média de 556 kbits/s, figura 25.

Os valores encontrados nesse experimento são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Teste com SV na rede

Experimento	GOOSE (ms)	Analógico (ms)	Diferença Tempo (ms)
1	27,3	31,4	-4,1
2	30,2	34,7	-4,5
3	19,5	23,2	-3,7
4	24,3	28,1	-3,8
5	32	36	-4
6	23,2	27,2	-4
7	20,3	24,3	-4
8	21,7	25,3	-3,6
9	24,5	28,2	-3,7
10	27,4	31,7	-4,3
Media	25,04	29,01	-3,97

Figura 25 – Uso da banda, teste com SV na rede



Fonte: Autor

O resultado encontrado nesse experimento foi que, a proteção, utilizando GOOSE teve um tempo de atuação médio de 25,4 ms enquanto a mensagem analógica atuou em média em 29,1 ms, a diferença entre as atuações foi de 3,97 ms com um desvio padrão de 0,28 ms.

### 5.3 TESTE COM 100 MBITS

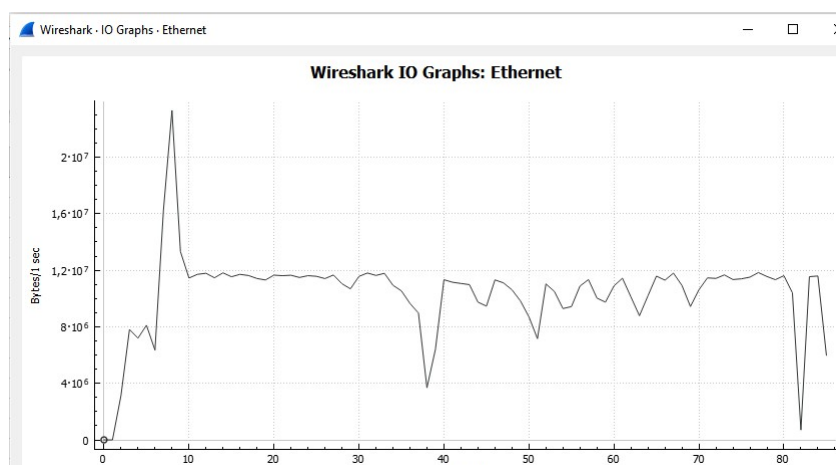
No teste seguinte foi utilizado o limite possível de uma porta *fast ethernet*, sendo este limite o de 100 Mbits/s. Para isso foi utilizado o computador 3 da figura 15, para injetar tráfego de SV na rede, sendo apresentado os valores encontrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Teste com 100 Mb/s na rede

Experimento	GOOSE (ms)	Analógico (ms)	Diferença Tempo (ms)
1	39,8	35,6	4,2
2	18,4	22,3	-3,9
3	16,6	20,8	-4,2
4	34	35,8	-1,8
5	26,2	29,9	-3,7
6	27,6	22,8	4,8
7	26,7	30,4	-3,7
8	25,8	29,7	-3,9
9	28,5	32,2	-3,7
10	29	33,6	-4,6
Media	27,26	29,31	-2,05

Durante o período de análise de 5 amostras foram trafegados 25929660 pacotes com média de 132,45 bytes durante 381 s, isso resultou em uma ocupação média de banda de 90,143 M bits/s, o estado da rede esta apresentado na figura 26.

Figura 26 – Uso da banda, teste 100 Mb/s



Fonte: Autor

O resultado encontrado no teste com a banda cheia foi de que a atuação GOOSE teve um tempo médio de 27,26 ms enquanto a mensagem analógica atuou em média em 29,31 ms, a diferença entre as atuações foi de 2,05 ms com um desvio padrão de 3,530580689 ms.

Nessa condição o maior tempo de atuação ocorrido através da mensagens GOOSE foi de 39,8 ms. Em média a proteção GOOSE continuou sendo mais rápida que a proteção analógica.

#### 5.4 TESTE COM 200 MBITS

Outro teste realizado foi utilizando dois computadores emitindo SV na capacidade máxima de suas portas. Nesse caso, não era possível analisar a condição da rede durante o teste com os equipamentos utilizados, devido ao fato que o computador é limitado a uma porta *fast ethernet*.

Desse modo foi verificado primeiramente que o computador 3, da figura 15, estava emitindo 100 Mbit/s para o relé e para a mala e que este não estava enviando nada para o computador 2. Após isso, foi feita a verificação análoga com o computador 2. Deste modo espera-se que a taxa de envio de um computador não interfira na taxa de envio do outro, tendo em vista que estes não recebiam as mensagens.

Para esse teste foi utilizado um maior número de amostras devido ao aumento no desvio padrão. A média do tempo de resposta da mensagem GOOSE foi 68,23 ms em quanto a analógica atuou em média em 32,65 ms, a diferença média entre os valores foi de -35,575 ms com desvio padrão de 73,30 ms, os valores encontrados nesse experimento são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Teste com 200 Mbits/s na rede

Experimento	GOOSE (ms)	Analógico (ms)	Diferença Tempo (ms)
1	104,5	26	78,5
2	40,5	41,2	-0,7
3	30,7	31,3	-0,6
4	58,6	24,4	34,2
5	32,8	25,2	7,6
6	37,9	40,1	-2,2
7	194,2	38,2	156
8	36,8	38,2	-1,4
9	36,9	31,6	5,3
10	183,2	28,5	154,7
11	34,7	30,5	4,2
12	28,1	29,6	-1,5
13	38,2	39,8	-1,6
14	25,4	27,1	-1,7
15	36,4	30,7	5,7
16	304,2	36,6	267,6
17	24,5	26,1	-1,6
18	32,2	33,3	-1,1
19	46,4	39,8	6,6
20	38,4	34,9	3,5
Media	68,23	32,655	35,57



### 5.5 TESTE COM 200 MBITS COM PRIORIZAÇÃO DE VLAN

Esse teste procurou reproduzir as mesmas condições do teste anterior, porém existindo agora uma segregação nas mensagens GOOSE, colocando uma priorização nestas mensagens para esse teste. Também foram utilizadas mais amostras.

Os valores médios encontrados nesse teste foram de 31,41 ms para o tempo de atuação via GOOSE e 32,55 ms para o tempo de atuação via entrada analógicas, sendo a diferença média entre elas de 1,14 ms, com desvio padrão de 3,079 ms, os valores encontrados nesse experimento são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 – Teste com 200 Mbits/s na rede com priorização

<b>Experimento</b>	<b>GOOSE (ms)</b>	<b>Analógico (ms)</b>	<b>Diferença Tempo (ms)</b>
1	26,8	30,4	-3,6
2	26,4	28,9	-2,5
3	34,8	36,2	-1,4
4	36,4	37,7	-1,3
5	32,3	23,8	8,5
6	29,7	31,2	-1,5
7	29,1	30,8	-1,7
8	35,9	30,4	5,5
9	22,7	24,2	-1,5
10	29,3	31,6	-2,3
11	36	39,4	-3,4
12	29,1	32,9	-3,8
13	40,5	42,7	-2,2
14	29,7	32,4	-2,7
15	28,6	30,1	-1,5
16	39,8	42	-2,2
17	22,8	24,9	-2,1
18	26,0	27,7	-1,7
19	37,4	35,4	2
20	35,0	38,4	-3,4
Media	31,415	32,555	-1,14

### 5.6 TESTE BANDA LIVRE COM PRIORIZAÇÃO DE VLAN

Esse teste foi utilizado para analisar se o atraso comparativo entre o teste anterior com banda sobrecarregada e os testes com banda livre sem priorização de VLAN, foram provenientes da banda.

Foram mantidas as configurações feitas no último teste, existindo segregação de VLAN e priorização das mensagens, porém apenas com as mensagens GOOSE trafegando na rede.

Os resultados encontrados foram de 30,86 ms médio de tempo de resposta para mensagens GOOSE, 34,56 ms tempo de resposta médio para mensagens analógicas,

resultando em uma diferença média 3,7 ms com desvio padrão de 0,24 ms, os valores encontrados nesse experimento são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 – Teste banda livre com priorização

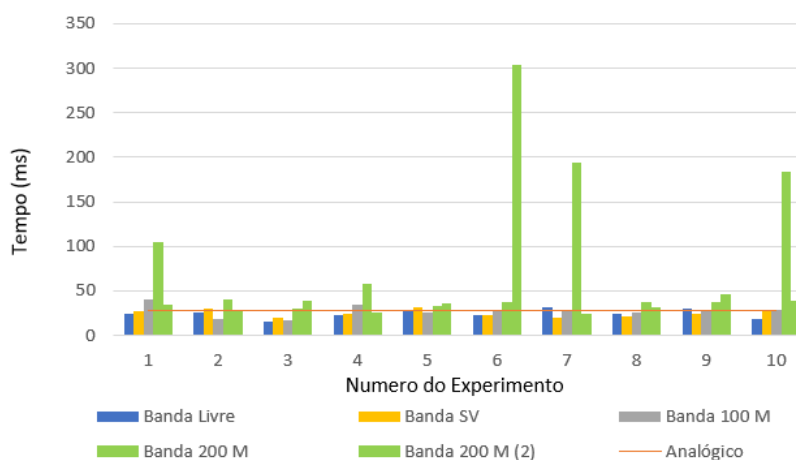
Experimento	GOOSE (ms)	Analógico (ms)	Diferença Tempo (ms)
1	22,6	26,1	-3,5
2	34,1	38,3	-4,2
3	36,2	39,6	-3,4
4	34,5	38,3	-3,8
5	33,2	36,8	-3,6
6	35,7	39,7	-4
7	25,7	29,2	-3,5
8	27,1	30,8	-3,7
9	26,5	30,1	-3,6
10	33	36,7	-3,7
Media	30,86	34,56	-3,7

### 5.7 RESULTADOS GERAIS

Os gráficos apresentados nessa seção apresentam o tempo de atuação da mensagem GOOSE. Entretanto esses valores não são o tempo real de envio das mensagens, pois o tempo apresentado não considera os tempos de processamento da mala de testes, tanto na geração da corrente como no processamento da mensagem.

Na figura 27 é possível perceber que, abaixo dos limites das portas *ethernet* do sistema, o tempo de reposta de uma mensagem GOOSE é pouco afetada pelo aumento do tráfego de mensagens.

Figura 27 – Tempo de reposta sem VLAN

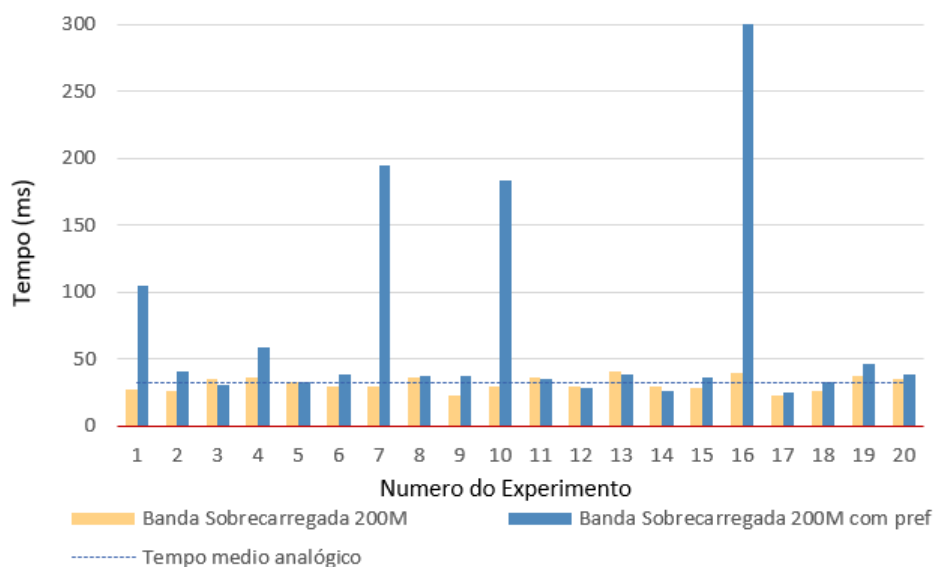


Fonte: Autor

Já nos casos onde a banda está sobrecarregada, acima desses limites, o atraso começou ser significativo, podendo ser percebido na "Banda 200 M" e "Banda 200 M (2)" onde são respectivamente os dez primeiros teste feitos com a banda em 200 Mbits e os dez últimos.

Nesta condição ao se utilizar priorização e VLAN's, o tempo de resposta juntamente com seu desvio padrão diminuíram, tornando-se uma mensagem mais consistente. Na figura 28 perceber-se que ao não serem feitas as configurações de priorização, apesar de 45% das atuações digitais continuarem sendo mais rápidas, essa proteção tornou-se inconsistente, possuindo uma amostra com mais de 250 ms e as amostras com um desvio padrão de 73 ms para atuação. Enquanto nas proteções com VLAN ela teve atuações satisfatórias.

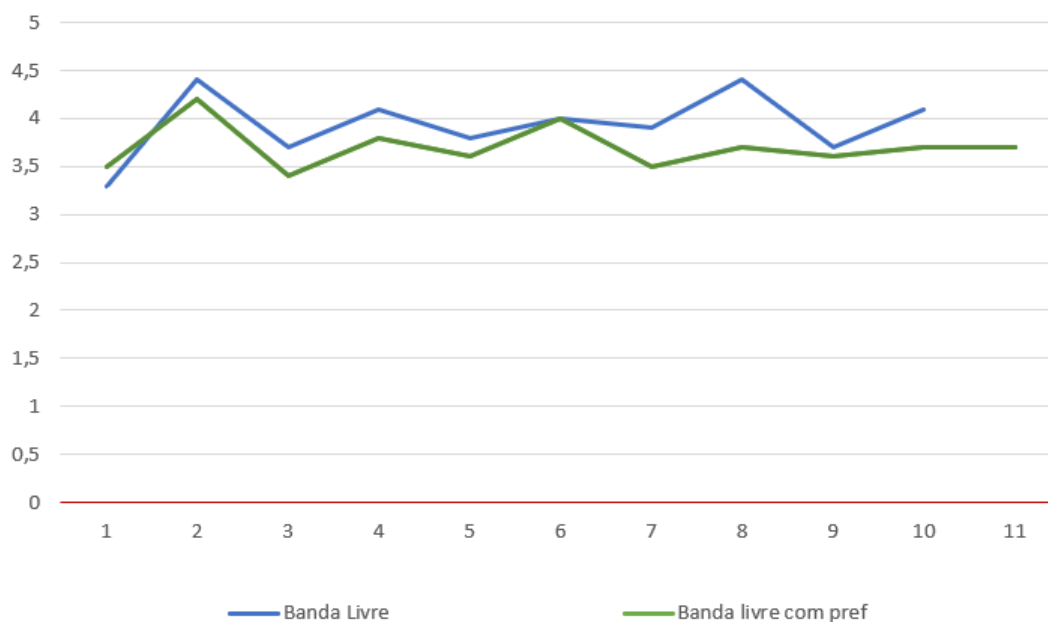
Figura 28 – Tempo de reposta banda 200 Mbit/s



Fonte: Autor

Na figura 29 comparando-se a curva em verde e a curva em azul escuro, respectivamente Banda livre com Preferencia e Banda Livre, a utilização de segregações em VLAN não causa diferença significativa no tempo de atuações ao ser utilizada quando existe pouco tráfego na rede, deste modo, a utilização dessa configuração se torna altamente recomendável.

Figura 29 – Diferença de tempo na utilização de VLAN



Fonte: Autor

Na tabela 9 foi feita uma síntese dos resultados encontrados nos experimentos. Os valores "Comp." foram calculados tomando como base a diferença entre os valores Goose e analógicos.

Tabela 9 – Tabela Geral

Teste	Média	Média Comp.	Desvio Padrão	Maior Tempo Comp.
Banda Livre	24,5	-3,94	0,33	-3,3
SV	25,04	-3,97	0,28	-3,6
100 M	27,26	-2,05	3,53	4,8
200 M	68,23	35,57	73,30	267,6
200 M Prd.	31,41	-1,14	3,07	8,5
Banda Livre Prd.	30,86	-3,7	0,24	-3,4

## 6 CONCLUSÃO

A utilização da norma IEC-61850 é capaz de trazer diversas vantagens para uma aplicação de proteção.

Uma mensagem GOOSE possui um tempo de envio mais rápido em comparação a mensagem analógica. Além da vantagem temporal que essa mensagem possui, as facilidades no comissionamento e a quantidade de informações possíveis de serem transmitidas fazem com que o seu uso se intensifique cada vez mais, devido o aumento das necessidades do SEP.

Nos testes, mesmo simulando em condições acima das condições de operação de uma rede normal de uma subestação, aproximante 330 pontos de medição SV, as atuações das proteções continuaram tendo resultados satisfatórios.

Além disso, nesse trabalho, pode ser percebido a importância de uma configuração correta do equipamento, pois mesmo em situações adversas, em ambientes de estresse onde os *links* de comunicação estão com a comunicação sobrecarregada, a proteção continuou atuando ao se configurar as prioridades na VLAN.

Muitas vezes essas parametrizações são difíceis de serem percebidas quando não configuradas corretamente, pois em situações de baixo tráfego a diferença entre as atuações são imperceptíveis.

Percebe-se que ao aumentar o tráfego acima da banda suportada, apresentado nos itens 4 e 5 do capítulo 5, existiu um atraso em relação ao envio dessas mensagens. Ao utilizar a configuração de priorização, as atuações ficaram com o tempo de atuação médio menor que o analógico e com um baixo desvio padrão.

Entretanto por tratar-se de aplicações de proteções, o quinto e oitavo experimento do Teste 200 Mbits com VLAN acabaram tendo tempo de atuações elevados para esse tipo de aplicação. Sendo recomendado para trabalhos futuros expandir o número de amostras para esse tipo de aplicação. Analisando se esse tempo fica dentro dos limites mínimos apresentados pela norma, de 10 ms para o envio e recebimento de uma mensagem de trip.

## REFERÊNCIAS

ABB. **ABB REVIEW SPECIAL REPORT: IEC 61850**. [S.l.: s.n.], 2012.

ANEL. **BIG - Banco de Informações de Geração**. [S.l.: s.n.], 2019. Dados 30/10/2019:  
<https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>.

BETT JUNIOR, Joé Nieheus. **ANALISE DO DESEMPENHO DO BARRAMENTO DE PROCESSOS DE SUBETAÇÃO BASEADO NA NORMA IEC-61850**. [S.l.: s.n.], 2018.

BRUNNER, Cristhop. **PEER-TO-PEER COMMUNICATION IN IEC 61850**. [S.l.: s.n.], 2016.

CISCO. **CATALYST 4500 SERIES SWITCH CISCO IOS SOFTWARE CONFIGURATION GUIDE, 12.2(25)EW**. [S.l.], 2019.

CISCO. **Cisco Catalyst 2960-24PC-L Switch datasheet**. [S.l.: s.n.], 2014.

COVRE, Helber Peixoto. **INTEGRAÇÃO DE DADOS DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE SUBESTAÇÕES DISTRIBUIDORAS**. 2011. Diss. (Mestrado).

DE PAULA, Leonardo Costa. **RELÉ DIGITAL PARA OPERAÇÃO CONTRA SOBRECORRENTE E MONITORAMENTO DA OPERAÇÃO DE MOTORES DE INDUÇÃO**. 2005. Diss. (Mestrado).

FERNANDEZ, Marcial Porto. **REDE DE COMPUTADORES**. [S.l.: s.n.], 2015.

FOROUZAN. **COMUNICACAO DE DADOS E REDES, V4**. [S.l.: s.n.], 2011.

GE. **CURSO : INTRODUÇÃO A REDES DE COMUNICAÇÃO**. [S.l.], 2018.

GHISLENI, Jordana. **ESTUDO COMPARATIVO E AVALIAÇÃO DE CUSTO-UTILIDADE MULTICRITERIAL DA ARQUITETURA APLICADA A SUBESTAÇÃO DIGITAL UTILIZANDO MERGING UNITS SOB ENFOQUE DA NORMA IEC 61850**. [S.l.: s.n.], 2019.

IEC, International Electrotechnical Commission's -. **IEC TR 61850-1:2013**. [S.l.], 2013.

LEÓN, Héctor Enrique De La Hoz. **MODELAGEM DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS INTELIGENTES PARA BARRAMENTO DE PROCESSOS BASEADO NA NORMA IEC 61850**. 2015. Diss. (Mestrado). Dissertação submetido(a) ao Programa de pós-graduação em Automação e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina.

LUIZ, Sergio. **SINCRONIZAÇÃO TEMPORAL DE EQUIPAMENTOS USANDO REDE ETHERNET – ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE**. [S.l.: s.n.], 2011.

MACKIEWICZ, R. E. **OVERVIEW OF IEC 61850 AND BENEFITS**. [S.l.: s.n.], 2006.

MANSSOUR, Professora Isael Harb. **PARADIGMAS DE LINGUAGEM I**. [S.l.: s.n.], 2009.

MIRANDA, Juliano Coelho. **IEC-61850: INTEROPERABILIDADE E INTERCABIABILIDADE ENTRE EQUIPAMENTOS DE SUPERVISÃO, CONTROLE E PROTEÇÃO ATRAVÉS DAS REDES DE COMUNICAÇÃO DE DADOS**. 2009. Diss. (Mestrado).

NEGREIROS, William Matthew. **Influência da aplicação de plasma de argônio não térmico nas propriedades mecânicas e transformação de fase da zircônia Y-TZP = Influence of non-thermal argon plasma on the mechanical properties and phase transformation of Y-TZP zirconia**. 2017. Diss. (Mestrado).

NTP. **O NTP**. [S.l.: s.n.], 2007. <https://ntp.br/ntp.php>.

OLIVEIRA MUZY, Gustavo Luiz Castro de. **SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS**. [S.l.: s.n.], 2012.

OLIVEIRA, Carlos Henrique Rodrigues de. **COMUNICAÇÃO DE MENSAGENS GOOSE NA WAN ENTRE ROTEADORES DE SUBESTAÇÕES PARA TELEPROTEÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO E DISPOSITIVOS ELÉTRICOS PROPORCIONANDO CONVERGÊNCIA DE SERVIÇOS**. [S.l.: s.n.], 2010.

PETENEL, FERNANDO HENRIQUE JACYNTHO. **ANÁLISE DE PROBLEMAS LIGADOS ÀS COMUNICAÇÕES EM REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES**. 2014. Diss. (Mestrado). Dissertação submetido à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

RODRIGUES, Guilherme Freitas. **BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DA NORMA IEC 61850 EM SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO DA SUBESTAÇÕES E PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS**. [S.l.: s.n.], 2013.

SIEMENS. **MANUAL MULTIFUNCTIONAL MACHINE PROTECTION 7UM62**. [S.l.], 2019.

SILVA, Fabrício Roosevelt Melo da. **IMPLANTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UMA REDE DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL E SISTEMA SCADA PARA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PURIFICADA**. 2017. Diss. (Mestrado).

TYPHOON HIL. **IEC 61850 Sampled Values protocol**. [S.l.: s.n.], 2019.

UCA, Internacional Users Group. **IMPLEMENTATION GUIDELINE FOR DIGITAL INTERFACE TO INSTRUMENT TRANSFORMER USING IEC-61850**. [S.l.], 2004.

VICENTE, Décio Tomasulo De. **Aplicação dos Padrões da Norma IEC 61850 a Subestação compartilhada de Transmissão/distribuição de energia elétrica**. 2011. Diss. (Mestrado).

WTENGENHARIA. **REDES DE ENERGIA ELÉTRICA**. [S.l.: s.n.], 2019.