



# **Aplicação da norma IEC61850-8-1 nas redes de proteção do sistema elétrico**

## **Trabalho de Conclusão de Curso**

### **Engenharia da Computação**

**Alana Ramos de Araujo**  
**Orientador: Prof. Sergio Campello**  
**Co-Orientador: Prof. Stefano Gualtieri**



UNIVERSIDADE  
DE PERNAMBUCO

**Universidade de Pernambuco  
Escola Politécnica de Pernambuco  
Graduação em Engenharia de Computação**

**ALANA RAMOS DE ARAUJO**

**Aplicação da norma IEC61850-8-1  
nas redes de proteção do sistema  
elétrico**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia de Computação pela Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco.

**Recife, maio de 2011.**

**De acordo**

**Recife**

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

---

**Orientador da Monografia**

*Dedico este trabalho à minha avó Leda (em memória) pelo apoio e carinho oferecidos em todo momento de minha vida, figura de grande importância em minha formação e de quem sinto muitas saudades.*

# Agradecimentos

À minha mãe, Elena, por ser tão amiga, por acreditar em mim, por me fazer acreditar que nada é impossível e pelo apoio para concluir mais uma etapa da minha vida. Meu imenso agradecimento, pois sem dúvida foi quem me deu o maior incentivo para conseguir concluir esse trabalho.

Ao meu pai, Aduino, por ter sido tão dedicado em minha criação, sempre me apoiando em todos os momentos e pela confiança em mim depositada, meu agradecimento.

A meu avô Manoel, por estar sempre torcendo para que meus objetivos sejam alcançados. À minha avó Leda (em memória), por ter sido minha estrutura familiar por muitos anos, uma pessoa que mostrou que muitas vezes um gesto marca mais que muitas palavras, coração bondoso que dedicou toda sua vida a família. Por todo o amor que ambos me dedicaram meu eterno amor e agradecimento.

À minha prima Margarida, pela paciência e compreensão durante esta etapa da minha vida, pela amizade verdadeira, por ter sido tão presente e atenciosa, meu especial agradecimento.

Aos amigos conquistados ao longo do curso, que fizeram essa jornada prazerosa, por todos os momentos que passamos durante esses cinco anos, meu agradecimento.

Ao meu co-orientador, professor Stefano Gualtieri, que foi quem me incentivou inicialmente a desenvolver este projeto e que tirou todas as minhas dúvidas com bastante paciência, meu agradecimento.

Ao meu orientador, professor Sérgio Campello, pelo ensinamento e dedicação dispensados no auxílio a concretização dessa monografia. Muito obrigada.

# Resumo

Atualmente, a indústria de energia elétrica tem tido grandes avanços tecnológicos que aprimoraram os **Sistemas de Automação de Subestações, SAS**. A norma IEC 61850 foi desenvolvida para ser um padrão internacional de comunicação e integração com o objetivo de, entre outras coisas, permitir interoperabilidade entre IEDs (*Intelligent Electronic Devices*) de diferentes fabricantes. Dentre os recursos definidos nessa norma, as mensagens GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*) se destacam por serem telegramas de alta prioridade. Assim, garantem uma rápida troca de informações entre os IEDs interligados em rede, para realizarem funções de proteção, monitoramento, automação, medição e controle. GOOSE não utiliza fios elétricos, Os sinais dos equipamentos são transportados via rede, através de pacotes de dados. Este trabalho faz uma abordagem do uso da norma IEC 61850 em sistemas elétricos de proteção e apresentará uma aplicação para auditoria das mensagens GOOSE. Serão apresentados os benefícios do auditor e o desempenho obtido com a simulação, a captura e tratamento de pacotes e a geração de alarmes de erro.

# Abstract

Nowadays, the electric Power industry has experienced great technological advances that improved systems for substations automation. The IEC 61850 was developed to be an international standard of communication and integration which allows, among other things, interoperability between multivendor IEDs (Intelligent Electronic Devices). Amongst the features defined in the standard, the GOOSE messages (Generic Object Oriented Substation Event) stand out for being high priority telegrams. Thus, ensuring a fast Exchange of information between IEDs networked to execute functions of protection, monitoring, automation, measurement and control. GOOSE does not use wires, the status signals of the equipment are transported over the network via data packets. This document will make an approach to the use of IEC 61850 in protection systems and present an application to audit the GOOSE messages. It will be presented the benefits of the auditor and the performance achieved with the simulation, the packets capture and analyses and the creation of error alarms.

# Sumário

<b>Capítulo 1 Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 2 Revisão .....</b>	<b>3</b>
<b>Proteção.....</b>	<b>3</b>
<b>IED .....</b>	<b>5</b>
Relé de Proteção.....	6
<b>VLAN .....</b>	<b>7</b>
<b>Capítulo 3 IEC 61850 .....</b>	<b>10</b>
<b>Mensagens GOOSE .....</b>	<b>15</b>
<b>Aplicação de 61850 .....</b>	<b>17</b>
<b>Capítulo 4 Auditor GOOSE.....</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Definição .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Características do telegrama GOOSE.....</b>	<b>20</b>
<b>4.3 Desenvolvimento.....</b>	<b>21</b>
4.3.1 Arquitetura de testes.....	21
Configuração do Relé.....	22
Auditor .....	28
<b>Capítulo 5 Conclusão .....</b>	<b>34</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>36</b>

# Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b>	Proteção do SEP .....	5
<b>Figura 2.</b>	Relé eletromecânico .....	7
<b>Figura 3.</b>	Relé estático de sobrecorrente instantânea .....	7
<b>Figura 4.</b>	TAG VLAN .....	9
<b>Figura 5.</b>	Integração de dispositivos .....	10
<b>Figura 6.</b>	Divisão da norma IEC 61850 .....	11
<b>Figura 7.</b>	Hierarquia do modelo de dados .....	12
<b>Figura 8.</b>	Tipos de mensagens .....	13
<b>Figura 9.</b>	Estrutura da SCL .....	15
<b>Figura 10.</b>	Arquitetura de cabeamento convencional (A) e rede IEC 61850 (B)...	16
<b>Figura 11.</b>	Telegrama GOOSE .....	16
<b>Figura 12.</b>	Prioridade da mensagem GOOSE .....	20
<b>Figura 13.</b>	Tempo de transmissão em caso de eventos .....	21
<b>Figura 14.</b>	Arquitetura de testes .....	22
<b>Figura 15.</b>	Alimentação do relé .....	23
<b>Figura 16.</b>	Tela do programa de conexão com o relé. ....	24
<b>Figura 17.</b>	Configuração da lógica de funcionamento .....	25
<b>Figura 18.</b>	Configuração da comunicação com o relé .....	26
<b>Figura 19.</b>	Configuração do envio de mensagens GOOSE. ....	27
<b>Figura 20.</b>	Sniffer wireshark .....	27
<b>Figura 21.</b>	Campo <i>type</i> do frame ethernet .....	28
<b>Figura 22.</b>	Fluxograma de funcionamento do auditor .....	29
<b>Figura 23.</b>	Tela inicial do auditor .....	30
<b>Figura 24.</b>	Auditor capturando GOOSE na rede. ....	30

<b>Figura 25.</b>	Detalhe das mensagens. ....	31
<b>Figura 26.</b>	(A) e (B) alteração de estado binário. ....	32
<b>Figura 27.</b>	(C) e (D) mudança do <i>sequencenumber</i> e <i>statenumber</i> . ....	33

# Índice de Tabelas

<b>Tabela 1.</b> Valores do VID .....	<b>8</b>
---------------------------------------	----------

# Tabela de Símbolos e Siglas

**ANSI** - American National Standards Institute (Instituto Nacional Americano de Padronização)

**CID** - Configured IED Description (Descrição do IED configurado)

**EPRI** - Electric Power Research Institute (Instituto de pesquisa em energia elétrica)

**GSE** - Generic Substation Event (Evento genérico de subestação)

**GOOSE** - Generic Object Oriented Substation Event (Objeto genérico orientado a evento de subestação)

**GSSE** - Generic Substation Status Event (Status de evento genérico de subestação)

**ICD** - IED Capability Description (Descrição da capacidade do IED)

**IEC** - International Electrotechnical Commission (Comissão Eletrotécnica Internacional)

**IEDs** - Intelligent Electronic Devices (Equipamentos eletrônicos inteligentes)

**IEEE** - Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)

**IHM** - Interface Homem Máquina

**ISO** - International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)

**LN** - Logical node (Nó lógico)

**MAC** - Media Access Control (Endereço MAC)

**MMS** - Manufacturing Message Specification (Especificação de mensagens de fabricação)

**OSI** - Open Systems Interconnection (Interconexão de Sistemas Abertos)

**PSL** - Programmable Scheme Logic (Esquema programável de lógica)

**SAS** - Substation Automation System (Sistemas de Automação de Subestações)

**SCADA** - Supervisory Control and Data Acquisition (Sistema de supervisão e aquisição de dados)

**SCD** - Substation Configuration Description (Descrição da configuração de subestação)

**SCL** - Substation Configuration Language (Linguagem de configuração de subestação)

**SE** - Subestação

**SIMPASE** - Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos

**SNTP** - Simple Network Time Protocol (Protocolo simples de gerência de rede)

**SSD** - System Specification Description (Descrição da especificação do sistema)

**SV** - Sampled Values (Valores Amostrados)

**TC57** – Technical Committee 57 (Comitê técnico 57)

**UCA** - Utility Communications Architecture (Arquitetura de utilitários de comunicação)

**VLAN** - Virtual Local Area Network (Rede local virtual)

**XML** - eXtensible Markup Language (Linguagem de marcação extensível)

# Capítulo 1

## Introdução

As redes de proteção [1] das subestações de energia elétrica possuem vários equipamentos como relés de proteção, oscilógrafos, entre outros, os quais fornecem informações importantes para a análise do sistema elétrico. Tais equipamentos são integrados a uma rede de comunicação, mas se comunicam através de vários protocolos [1]. O custo para integrar os diferentes protocolos, utilizando conversores de protocolo, é bastante alto. Toda a arquitetura de comunicação, no projeto e no pátio, tem que ser reorganizada quando há necessidade de incluir um novo equipamento, para estruturar a inclusão dos novos cabos. Além disso, para integrar todos os equipamentos que precisam se comunicar, é necessário utilizar fios elétricos, aumentando o custo e reduzindo a flexibilidade de instalação e reposicionamento de equipamentos [2].

Para resolver o problema da existência de múltiplos protocolos de comunicação a *International Electrotechnical Commission* (IEC) criou a norma IEC 61850 [3]. Nesta norma, os comandos, antes enviados através de fios elétricos, passam a trafegar pela rede *ethernet* [4]. Nesse tipo de rede, o tráfego pode compartilhar o mesmo meio de transporte e ainda assim ser separado em domínios, através das redes locais virtuais (VLANs), que serão explicadas com mais detalhes no capítulo 2. Além disso, a norma criou uma linguagem única para comunicar com qualquer equipamento, resultando em uma padronização de comunicação.

Dentre as soluções previstas pela norma, estão definidas as mensagens GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*) [5]. As mensagens GOOSE são de alta prioridade e permitem que os IEDs (*Intelligent Electronic Devices*) em rede possam se comunicar para realizar operações lógicas, além de dispensar o uso de cabeamento para transmissão de sinais de estados.

Para facilitar a compreensão das mensagens GOOSE e as informações que ela pode fornecer, foi proposta uma aplicação de auditoria para ser responsável por monitorar a rede de proteção e garantir a consistência da rede.

Uma rede formada de apenas um relé e um switch foi simulada para testar o auditor. A rede foi configurada de acordo com a norma IEC 61850. O auditor foi capaz de capturar todas as mensagens GOOSE da rede e tratá-las para capturar as informações relevantes e correlacioná-las com os parâmetros definidos nos arquivos de configuração.

Com essa aplicação é possível compreender melhor o que ocorre na rede e permitir melhor identificação de problemas, como, por exemplo, relé não atualizado. O auditor de mensagens GOOSE é de fundamental importância para a análise dos telegramas e compreensão dos estados de cada relé e da subestação. Ele facilita a combinação de informações para fornecer uma análise muito mais completa da rede.

Os desenvolvimentos da simulação e funcionamento da rede e do auditor são importantes em estudos de impactos de implantação da norma IEC 61850 em ambientes reais de subestações. O domínio do conhecimento da norma e de suas metodologias de implantação e gerenciamento é de extrema importância para a comunidade técnica uma vez que tal norma encontra-se em fase de implantação em empresas do setor elétrico nacional.

Neste trabalho, um simulador com uma arquitetura contendo um IED e um switch foi simulado. O auditor desenvolvido foi capaz de ler e interpretar todas as mensagens GOOSE que trafegaram na rede e informam sobre eventos importantes através da geração de alarmes. Com base nas simulações e nos experimentos, foi possível demonstrar a importância de se ter uma aplicação para avaliar e assegurar o bom funcionamento das mensagens.

Este trabalho está dividido da seguinte forma: o capítulo 1 apresentou uma introdução sobre o tema e sobre o que será abordado no restante do documento. O capítulo 2 é uma breve revisão de conceitos básicos e necessários para a total compreensão do texto. O capítulo 3 é uma explicação aprofundada da nova norma IEC 61850 apresentando seu histórico e benefícios e as suas principais propostas. O capítulo 3 é uma abordagem detalhada da aplicação que foi desenvolvida neste projeto, a arquitetura que foi utilizada, como foi feita a simulação e os resultados obtidos. O último capítulo trata da conclusão do assunto e o que pode ser desenvolvido, em trabalhos futuros, a partir da aplicação aqui apresentada.

# Capítulo 2

## Revisão

Neste capítulo serão explicados alguns conceitos importantes, a fim de criar o ambiente propício para a compreensão do projeto.

### Proteção

Os sistemas elétricos de potência estão expostos a inúmeros eventos que podem comprometer a qualidade, a continuidade ou a confiabilidade do seu sistema, tais como: catástrofes naturais, falhas humanas de operação, falhas em dispositivos, etc. Uma falha em uma parte do sistema pode comprometer todos os sistemas que estiverem interligados. Por isso, quando ocorre uma falha, muitas vezes é preciso isolar a área afetada para que o restante do sistema continue funcionando.

Proteção é um ramo de engenharia elétrica que tem o objetivo de manter o sistema de energia estável, protegendo-o de falhas que possam ocorrer interna ou externamente, limitar a extensão e duração da interrupção do serviço e minimizar danos aos componentes do sistema envolvido na falha. Através do uso de relés de proteção, unidade básica, que podem ser de diferentes tipos, é identificada a área com falha e isolada tão rápido quanto possível, procurando manter o restante do sistema em funcionamento [1].

O termo proteção não significa prevenção, portanto, não é possível evitar que uma falha ou defeito em equipamentos ou qualquer outro componente do sistema elétrico aconteça. Os relés de proteção atuam após a ocorrência de uma anomalia e procuram minimizar o defeito ou suas implicações. Os fundamentos de proteção são:

1. Confiabilidade: Garantia de que a proteção irá executar corretamente. A segurança deve sempre ter prioridade sobre a continuidade dos serviços, danos ao equipamento, ou a economia;
2. Seletividade: Máximo de continuidade do serviço com mínimo de interrupção do sistema. A proteção elétrica deve ser projetada para um melhor compromisso entre o dano material e a continuidade do serviço,

- ou seja, minimizar a extensão do desligamento de equipamentos em caso de uma falha;
3. Velocidade: Mínima duração das falhas. O sistema de proteção deve atuar o mais rapidamente possível para reduzir o prejuízo nos equipamentos e a interrupção de fornecimento;
  4. Simplicidade: Sistema simples de relés de proteção que executem as atividades esperadas. Todos os equipamentos acrescentados devem ser cuidadosamente levados em conta, uma vez que qualquer operação incorreta ou indisponibilidade poderá resultar em problemas desastrosos;
  5. Economia: Máxima proteção a um custo mínimo. Muitos recursos podem ser adicionados para melhorar uma ou mais características do sistema (confiabilidade, desempenho e flexibilidade). Esses recursos implicam em um maior custo inicial, porém os benefícios em longo prazo são bem maiores, uma vez que fica garantida a atividade com segurança. O custo de um sistema de proteção menor ou mais simples pode implicar em um desempenho regular, tornando a modificação desse sistema dispendiosa. A avaliação dos custos deve incluir também exigências de manutenção de equipamentos, como paralisações planejadas.

A Figura 1 apresenta os subsistemas que formam a proteção de sistemas elétricos. A proteção é composta de relés de proteção, disjuntores, transformadores, bateria. Os relés recebem sinais de entrada, de tensão e corrente, e atuam sobre disjuntores caso essas entradas estejam em desacordo com os parâmetros, previamente definidos. Os disjuntores são dispositivos capazes de isolar partes do sistema elétrico, cessando a passagem de corrente. Os transformadores reduzem a tensão e corrente sem que haja perda na forma da onda. As baterias são usadas em caso do não fornecimento de energia por parte do sistema, garantindo o funcionamento dos subsistemas [6].

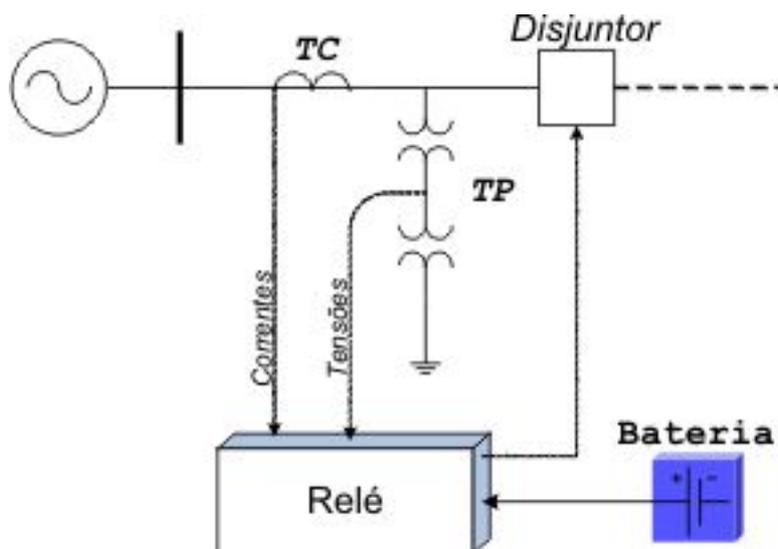


Figura 1. Proteção do SEP

A correta implantação e manutenção de um sistema de proteção pode reduzir danos aos equipamentos próximo ao local de falha, evitar explosões, evitar o efeito cascata, aumentando a estabilidade. Um exemplo da importância da proteção foi o apagão que deixou oito estados do Nordeste no escuro em fevereiro e prejuízos para 40 milhões de consumidores. Em matéria para o G1 da globo [7], o presidente da Eletrobrás disse que o problema teria sido uma falha no sistema de proteção da Usina de Luiz Gonzaga.

## IED

O termo IED é largamente utilizado para definir qualquer equipamento eletrônico que possui algum tipo de inteligência. Porém, no ambiente de proteção e de energia elétrica, a palavra se refere a um equipamento com funções de proteção, controle, monitoramento e medição, com inteligência interna e capacidade de se comunicar com o sistema de supervisão e aquisição de dados (SCADA - do inglês, *Supervisory Control and Data Aquisition*).

Os IEDs recebem dados de sensores e equipamentos elétricos e assim, podem executar comandos como desligar um equipamento ou regular tensão ou corrente para atingir um nível pré-definido. Esses equipamentos são de extrema importância para automação de subestações.

Um tipo de IED bastante comum no setor elétrico é o relé de proteção. É o mecanismo básico utilizado no sistema de proteção, é utilizado para diminuir os efeitos de falhas que possam ocorrer no sistema.

### **Relé de Proteção**

A principal função dos relés de proteção é analisar as grandezas elétricas do sistema elétrico de potência e tirar imediatamente de serviço qualquer elemento da sua zona de proteção, que apresente algum comportamento anormal que possa causar danos ou interferir no funcionamento do resto do sistema. Os relés tem a ajuda de disjuntores capazes de desconectar o equipamento com defeito assim que solicitado pelo relé. Os disjuntores ajudam a definir os contornos da zona de proteção.

Os relés são a parte lógica do sistema de proteção e são compostos de mais de uma função de proteção. As várias funções de proteção que os relés podem ter são indicados por números de dispositivo padrão ANSI (*American National Standards Institute*), cuja tabela pode ser encontrada no Anexo A.

A abertura de um disjuntor (*trip*), por comando de relé, é determinada pela função que está sendo executada pelo relé, dos limiares previamente definidos e da topologia da rede elétrica. Os relés podem ser eletromecânicos ou estáticos:

- **Eletromecânicos:** São monofuncionais. Foram os primeiros relés, são bastante lentos, contatos ruidosos e apresentam baixa confiabilidade, devido ao sistema eletromecânico. São compostos de uma bobina, uma armadura de ferro, contatos e terminais. A transmissão do sinal acontece por meio de um circuito magnético com movimentação mecânica (bobina + armadura). A Figura 2 apresenta uma ilustração da estrutura desse relé.

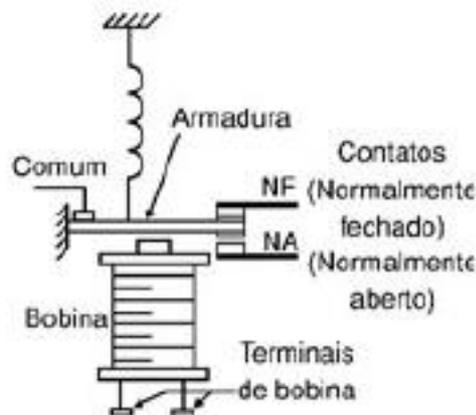


Figura 2. Relé eletromecânico

- Estático: também chamado de relé de estado sólido. Utiliza componentes semi condutores discretos ou integrados. São mais rápidos e requerem menor manutenção que os eletromecânicos. Não possuem partes móveis. A Figura 3 apresenta um esquema de um relé estático do tipo sobrecorrente.

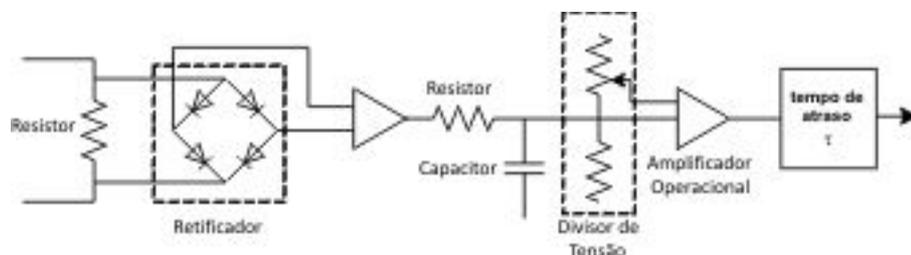


Figura 3. Relé estático de sobrecorrente instantânea

## VLAN

Virtual LAN (VLAN) é uma rede local virtual composta de equipamentos conectados logicamente. Os dispositivos podem estar fisicamente distantes. As VLANs podem ser utilizadas para distinção dos pacotes que trafegam na rede. Em redes *ethernets*, o tráfego compartilhado pode ser facilmente classificado através da separação virtual dos pacotes. Por exemplo, em subestações, os equipamentos de proteção e controle poderiam ser segmentados com uso de VLANs.

O protocolo IEEE 802.1p/Q define os princípios e funcionamento da VLAN. Na especificação são adicionados dois campos no cabeçalho MAC relacionados com VLAN: identificador de VLAN (12 bits) e prioridade (3bits). Pode ter no máximo 4096 identificadores VLAN (VID). Alguns dos valores possuem um sentido associado e os outros podem ser definidos pelo usuário. Para os identificadores definidos pelo usuário, deve haver uma porta (PVID) associada para administração do filtro dos VIDs. A Tabela 1 apresenta os valores reservados dos identificadores pelo protocolo.

**Tabela 1.** Valores do VID

VID (hex)	Definição
0	VID é nulo, ou seja, não há identificador VLAN na mensagem. Este valor não deve ser configurado como uma porta ou um grupo.
1	Valor padrão do PVID para classificar quadros chegando por uma porta entre VLANs.
FFF	Reservado para implementação. Não deve ser configurado como uma porta ou grupo.

A prioridade, PCP (do inglês, Priority Code Point) da mensagem depende dos 3 bits reservados do cabeçalho. A prioridade pode variar de 000 (0), menor, a 111 (7), maior. Essa prioridade irá permitir ao switch, próprio para redes 61850, priorizar as mensagens com PCP maior. A Figura 4 ilustra os 4 bytes utilizados para definir a *tag* VLAN, porém os de relevância para este projeto são apenas o VID e a prioridade.

O conceito de VLAN é utilizado na norma 61850 para garantir maior segurança e confiabilidade à rede local da subestação, separando as mensagens críticas do resto das mensagens. O tráfego da rede local deve garantir que a latência das mensagens críticas seja a menor possível. Como a norma IEC 61850 utiliza *ethernet*, ou seja, todos os pacotes compartilham do mesmo cabo para transporte, um valor de prioridade (VID) pode ser atribuído aos pacotes, possibilitando a criação

de redes virtuais de alta prioridade. Assim, as mensagens mais urgentes, com maior prioridade (GOOSE), não irão competir com outras de menor prioridade.

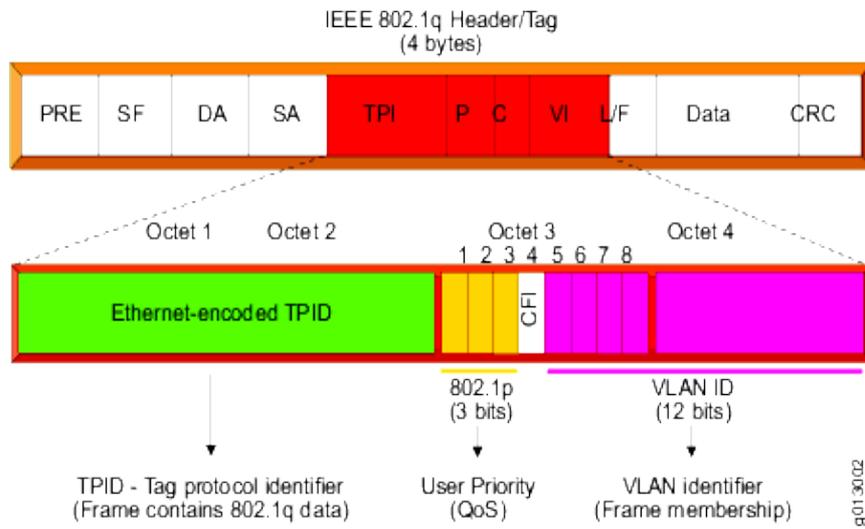


Figura 4. TAG VLAN

# Capítulo 3

## IEC 61850

A IEC (*International Electrotechnical Commission*) é a organização líder no desenvolvimento de padrões internacionais para o setor elétrico e afins. A norma IEC 61850 foi desenvolvida recentemente para Sistemas de Automação de Subestações (SAS).

Nas subestações, há uma grande disponibilidade de protocolos de comunicação, como pode ser visto na Figura 5 [9]. É comum encontrar proteções e sistemas de controle com diferentes protocolos e de diferentes fabricantes instalados nestes locais e, quando surge a necessidade de trocar informações de forma serial, é necessário investir em desenvolvimento, com alto custo, como cabos e conversores de protocolos [1].

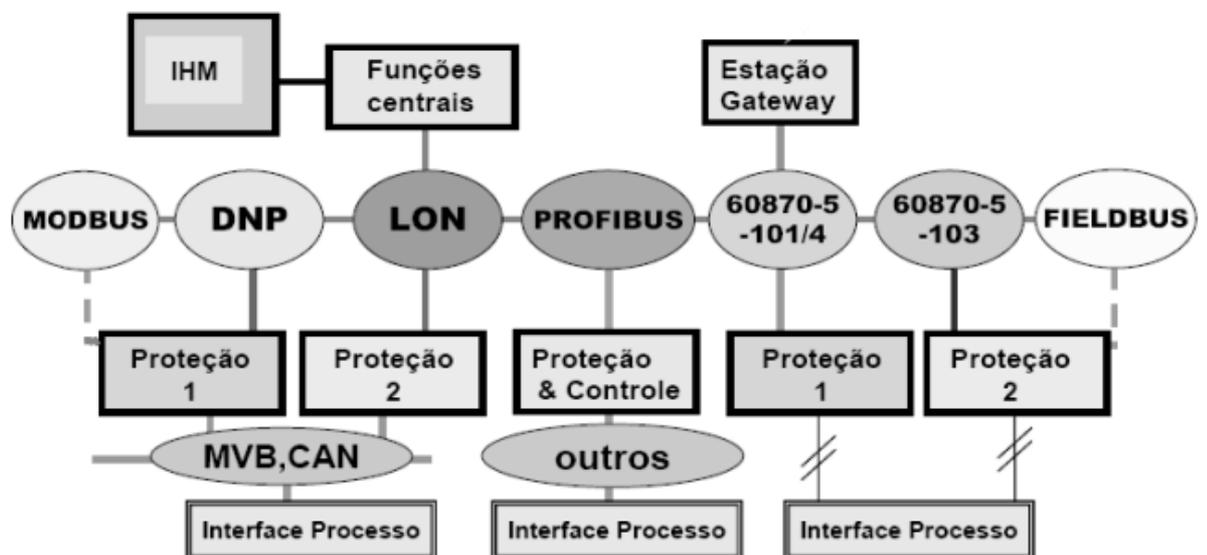


Figura 5. Integração de dispositivos

A nova norma surge como uma necessidade do mercado de energia, que demanda um padrão global com suporte às funções específicas da automação elétrica e que garanta um desempenho otimizado, com redução dos custos de engenharia, comissionamento, monitoramento, diagnóstico e manutenção.

No início dos anos 90, o Instituto de Pesquisa de Energia Elétrica (EPRI, do inglês, *Electric Power Research Institute*) e o Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE, do inglês, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) iniciaram a definição da UCA (*Utility Communications Architecture*), que posteriormente passou a ser a UCA 2.0. O comitê técnico 57 (TC57) da IEC se juntou àquele grupo em 1997, para trabalharem juntos na definição de um padrão comum internacional. Essa parceria resultou na atual especificação IEC 6185.

Na Figura 6 é apresentada a estrutura da documentação da norma IEC 61850. Cada parte da documentação trata de um tema específico, garantindo uma abordagem completa no que se refere aos sistemas de automação de subestações.

Parte 1	Introdução e Visão Geral
Parte 2	Glossário
Parte 3	Requisitos Gerais
Parte 4	Planejamento do Sistema e do Projeto
Parte 5	Requisitos Comuns Para Funções e Modelos de Dispositivos
Parte 6	Linguagem de Configuração para IEDs de Subestação (XML)
Parte 7	Serviços de Comunicação
7.1	Princípios e Modelos
7.2	Serviços de Comunicação Abstratos (ACSI)
7.3	Classes de Dados Comuns
7.4	Classes de Nós Lógicos Compatíveis
Parte 8.1	Mapeamento para MMS e Ethernet
Parte 9.1	Valores Amostrados Sobre Enlace Serial Unidirecional Ponto a Ponto
Parte 9.2	Valores Amostrados Sobre Ethernet
10	Testes de Conformidade

**Figura 6.** Divisão da norma IEC 61850

A IEC 61850 modela os dados de forma a atender os requisitos de comunicação e as funcionalidades encontradas em um SAS. O modelo de dados definido pela norma, representado na Figura 7 [10], é constituído de:

- Nós lógicos, LN (do inglês, *logical node*): Menor elemento funcional capaz de trocar informações;
- Dispositivos lógicos: Conjunto de nós lógicos;
- Dispositivos físicos: Conjunto de dispositivos lógicos, formando o equipamento IED.

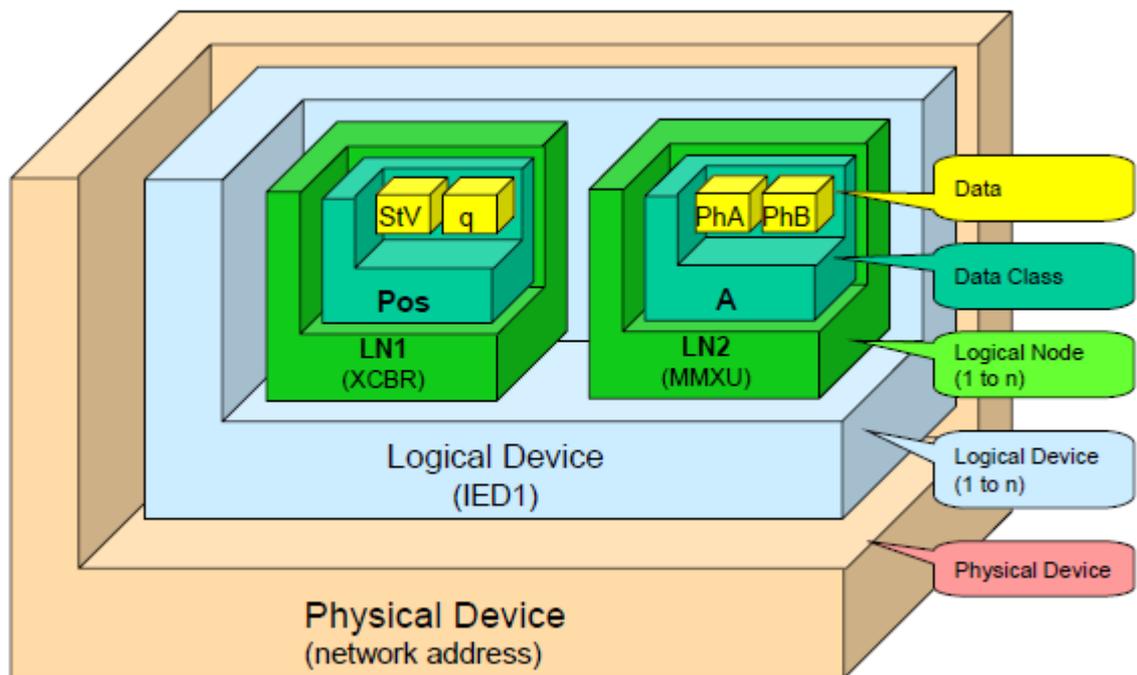


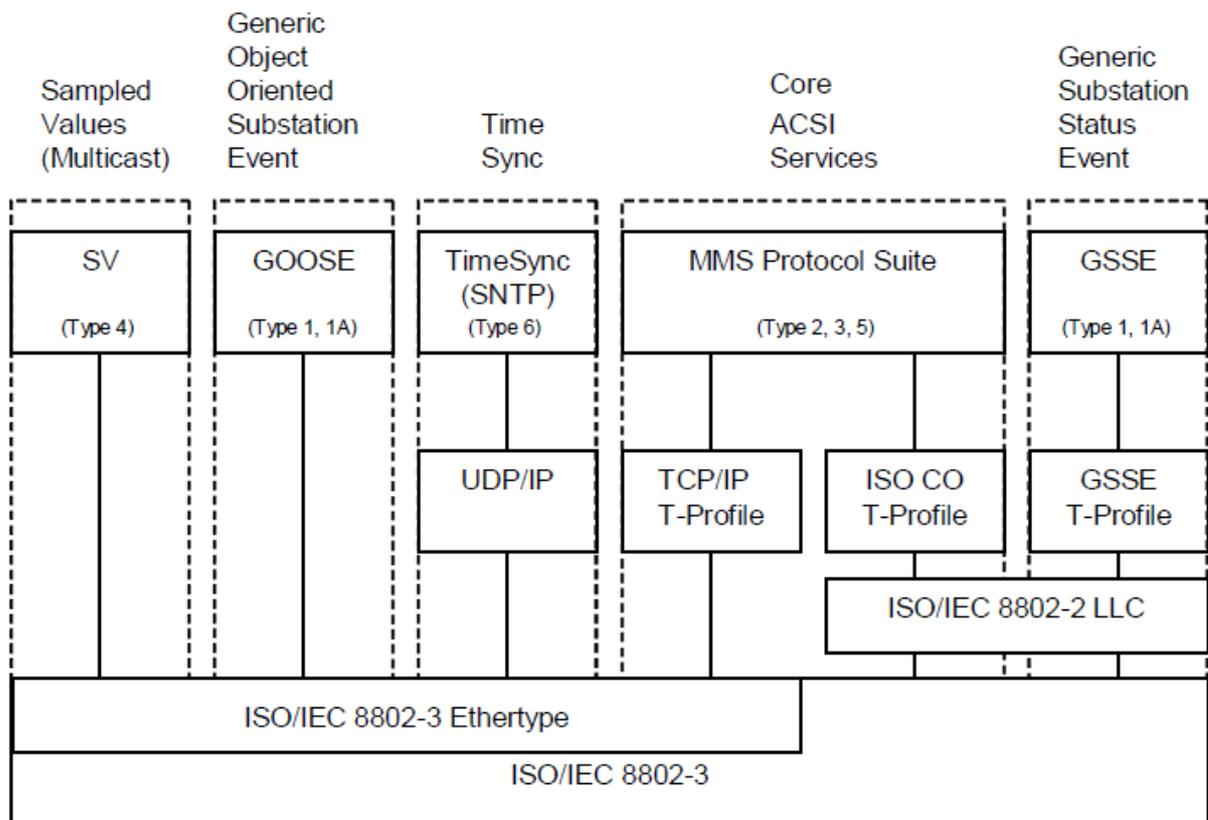
Figura 7. Hierarquia do modelo de dados

As funções podem ser executadas dentro de um único equipamento ou podem ser distribuídas entre vários dispositivos, no mesmo nível (comunicação horizontal) ou entre diferentes níveis (comunicação vertical) da hierarquia funcional da subestação: Estação, Bay e Processo.

Os nós lógicos permitem a identificação única e explícita de cada objeto de dado do IED de uma forma padronizada. Assim, os dados de objetos são definidos por nome e função. Os nós lógicos e as classes de dados de objetos são usados para criar uma hierarquia de nomes para referenciar os objetos do IED e assim representá-los independente do equipamento onde se encontra.

De acordo com o tipo de comunicação, são possíveis diferentes tipos de mensagens. As mensagens MMS (*Manufacturing Message Specification*) são

usadas para comunicação vertical, uma vez que este tipo de comunicação não possui restrições críticas de tempo. As mensagens GOOSE e GSSE (*Generic Substation Status Event*) são de alta prioridade e compõem o grupo de comunicação horizontal, pois a troca de mensagens, que são realizadas no modo *publisher-subscriber* (produtor-consumidor), deve ser com a eficiência de um contato físico (cabo). A Figura 8 [11] ilustra os tipos de mensagens classificadas segundo desempenho. Este trabalho foca em mensagens GOOSE, que será explicada com mais detalhes na próxima seção.



- Tipo 1 – Mensagens rápidas;
- Tipo 1A – Trip;
- Tipo 2 – Velocidade média;
- Tipo 3 – Baixa velocidade;
- Tipo 4 – Dados em rajada (raw data) ou SV – sampled values;
- Tipo 5 – Transferência de arquivos;
- Tipo 6 – Sincronização de tempo

**Figura 8.** Tipos de mensagens

A norma IEC 61850 estabelece uma padronização para a linguagem que mapeia os modelos de dados de objetos, SCL- *Substation Configuration Language* (Descrito na parte 6 da norma). Essa linguagem baseada no padrão XML (*Extensible*

*Markup Language*) [12] independe dos fabricantes e descreve o modelo de dados com todas as suas opções, a alocação dos nós lógicos aos diferentes dispositivos, todos os canais de comunicação, e a alocação de funções aos equipamentos de manobras de acordo com o diagrama unifilar [13]. A configuração da comunicação baseada na IEC 61850 é descrita através dos arquivos XML (*eXtensible Markup Language*) abaixo:

- **SSD** (*System Specification Description*): Possui a descrição dos dados de todo o sistema e contém o diagrama unifilar da subestação e todos os nós lógicos (funções)alocados;
- **SCD** (*Substation Configuration Description*): Arquivo gerado pela ferramenta de configuração do sistema, contendo as informações configuradas para a comunicação de toda a subestação. Possui os ICDs, descrito a seguir;
- **ICD** (*IED Capability Description*): Arquivo gerado pela ferramenta de configuração do IED para informar suas características e funções que podem ser utilizadas;
- **CID** (*Configured IED Description*): Arquivo para ser carregado em determinado IED com as configurações habilitadas ou parametrizadas pelo usuário.

A Figura 9 [14] apresenta a estrutura da SCL baseada nos arquivos definidos pela norma [17]. A partir do SSD, com a utilização de uma ferramenta de configuração, obtém-se o arquivo de configuração da subestação SCD. Deste são obtidos os arquivos de capacidade dos IEDs, ICD, com todas as funções que podem ser utilizadas no sistema. Através de uma ferramenta de configuração do IED, tem-se o CID que é o arquivo de configuração de um único IED.

Um dos objetivos mais importantes da norma IEC61850, através desta linguagem, é garantir a interoperabilidade, entre os IEDs. Assim, esses equipamentos podem trocar informações a fim de realizar suas funções. Essa característica, mencionada anteriormente, é chamada de comunicação horizontal, realizada através do uso de mensagens GOOSE.

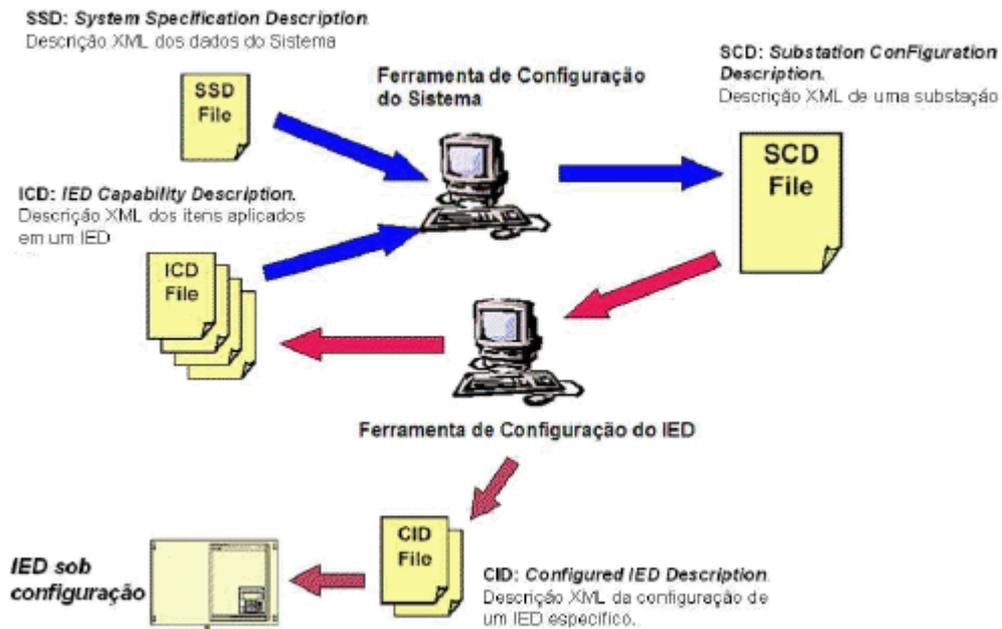
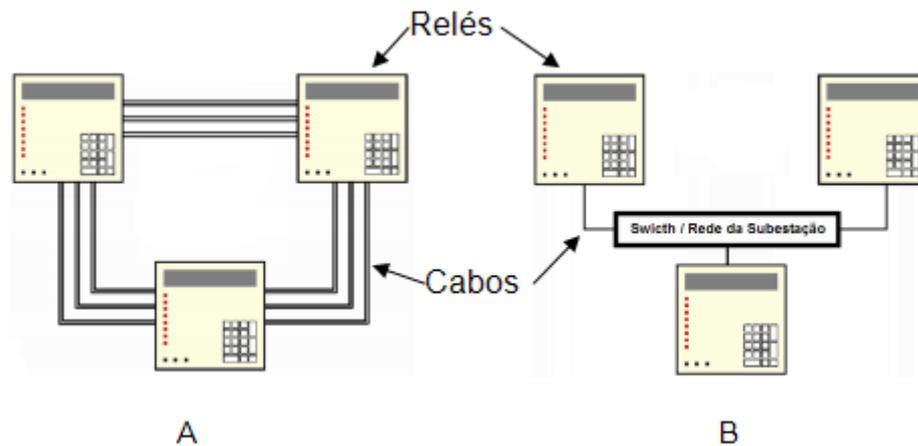


Figura 9. Estrutura da SCL

## Mensagens GOOSE

O termo GOOSE já era usado no protocolo UCA. Porém, esta versão na norma IEC 61850 é mais avançada, pois pode trocar uma vasta gama de dados comuns descritos por um *dataset* (grupo de dados). As mensagens GOOSE, são da classe *Generic Substation Event* (GSE), do tipo 1 e 1A (Figura 8) - de alta velocidade, por isso são utilizadas para troca, em tempo real, de lógicas de intertravamento e para envio de trip.

Uma das grandes vantagens das mensagens GOOSE é a diminuição de dependência de cabos, uma vez que em apenas um “telegrama”, é possível definir vários estados. Antes, para cada sinal de estado de um IED para outro, era necessário um fio elétrico. Com GOOSE, basta que todos os relés estejam em rede, conectados por um switch, como mostra a Figura 10 [14]. As mensagens GOOSE são realizadas em tráfego de informações multicast, ou seja, o dispositivo, configurado para enviar mensagens GOOSE, envia para todos os equipamentos na rede (*publisher*) e aquele que não for assinante (*subscriber*) ignora a mensagem. Por ser multicast, as mensagens GOOSE requerem pouca banda.



**Figura 10.** Arquitetura de cabeamento convencional (A) e rede IEC 61850 (B)

A Figura 11 apresenta uma mensagem GOOSE com apenas um sinal de estado. O tamanho da mensagem é geralmente em torno de 200 kB.

```
IEC GOOSE
{
  ControlBlockReference*: F1CTRL/LLN0$GO$Control_Dataset1
  TimeAllowedtoLive(msec): 500
  DatasetReference*: F1CTRL/LLN0$Dataset1
  GOOSEID*: 4
  EventTimestamp: 2008-04-17 17:51.43,041992 Timequality: 0a
  StateNumber*: 2
  SequenceNumber*: Sequence Number: 23
  Test*: FALSE
  ConfigRevision*: 1
  NeedsCommissioning*: FALSE
  NumberDatasetEntries: 2
  Data
  {
    BITSTRING:
      BITS 0000 - 0015: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
    BOOLEAN: TRUE
  }
}
```

**Figura 11.** Telegrama GOOSE

Os parâmetros são definidos por rótulos (*tags*) e são muito importantes para a compreensão da mensagem. O parâmetro *ControlBlockReference* é a referência do IED que gerou a mensagem. O parâmetro *TimeAllowedtoLive*, TAL, muito importante, é o tempo de vida da mensagem, ou seja, o tempo máximo que o receptor (subscriber) deve aguardar pela próxima transmissão. Normalmente a

transmissão ocorre em um tempo inferior (metade) ao definido pelo TAL. Se o tempo expirar, o receptor pode assumir que houve uma perda na conexão. O parâmetro *EventTimestamp* indica o último horário em que ocorreu qualquer mudança de estado. *Statenumber* indica quantas vezes ocorreu mudança de estado, é um parâmetro importante, pois, assim que é alterado, então sabe-se que ocorreu algum disparo. *SequenceNumber* informa continuidade, é uma sequência de números naturais que cresce até ocorrer alguma mudança de estado, quando, então, zera. *Data* é o espaço no qual ficam os dados referentes aos estados.

## Aplicação de 61850

Várias empresas de energia elétrica tem implantado a norma 61850 em um processo chamado de modernização de subestações. Apesar de ser bastante nova, a norma apresenta resultados muito positivos. Abaixo são apresentados 2 casos de sucesso.

A Elektro Eletricidade e Serviços S.A., uma grande fornecedora de energia de São Paulo possui 120 subestações em atividade. Em 2006, a Elektro apostou na modernização de 30 de suas subestações através da inclusão da rede 61850 [15]. Os custos iniciais despendidos com treinamentos e alterações no projeto podem ter aparentado maior despesa do que as outras soluções. Porém uma análise mais profunda convenceu a concessionária a utilizar a norma, por conta de seus benefícios a longo prazo, como o uso de comunicação de alta velocidade em rede Ethernet, interoperabilidade de equipamentos de diferentes fabricantes e a significativa redução na quantidade de cabos a serem utilizados, agilizando o comissionamento (testar o funcionamento dos equipamentos na subestação) e principalmente a garantia de fácil expansibilidade.

Foi concluído após testes que os resultados obtidos foram satisfatórios, principalmente pela redução da indisponibilidade e pela redução da quantidade de intervenções. O sistema passou a se normalizar muito mais rapidamente após uma ocorrência.

*A padronização dos projetos e lógicas, a utilização do protocolo IEC61850 GOOSE e os testes prévios*

*realizados em laboratório permitiram uma redução de 40% no tempo de comissionamento do sistema de automação de cada subestação [...]A utilização do protocolo IEC61850 GOOSE possibilitou a redução em 50% no volume de cabos de controle utilizados no projeto de modernização quando comparado às soluções tradicionais.[15]*

Na CHESF, o uso da norma IEC 61850 teve início em 2006. O processo de migração foi complexo. No artigo [16], são explicitados algumas dificuldades da implantação e alguns benefícios.

O conhecimento técnico do padrão é bastante escasso. A norma possui várias facetas que ainda não são conhecidas. Uma documentação mais detalhada é necessária. O uso das mensagens GOOSE para implementar funções importantes requer uma melhor supervisão, para garantir um funcionamento confiável. Softwares para manusear arquivos SCL são necessários para garantir importação e exportação com sucesso. Esses são alguns desafios e dificuldades encontrados durante a implantação da norma. As próximas versões da norma irão, com certeza, atenuar parte dos problemas que vem sendo encontrados.

O uso de mensagens GOOSE para substituir cabos físicos, apresenta uma boa flexibilidade a um baixo custo, através da implementação lógica. Após a integração com 61850, toda a subestação fica preparada para *retrofit* (atualização dos equipamentos) e expansões, reduzindo a dependência de protocolos.

A CHESF tem implantado a norma em várias de suas subestações, conseguindo sempre um desempenho bastante satisfatório e uma redução dos problemas anteriormente ocorridos.

# Capítulo 4

## Auditor GOOSE

### 4.1 Definição

Um auditor é, por definição, aquele que assegura a qualidade da informação [18]. O auditor deve garantir a consistência do sistema quanto a possíveis problemas de falha humana.

As mensagens GOOSE, são de grande importância para o setor elétrico, em especial para a rede de proteção. Por isso é preciso verificar constantemente as mensagens em relação aos parâmetros determinados no arquivo SCD a fim de garantir a consistência e facilitar a identificação de falhas, como, por exemplo, um IED que não tenha sido atualizado.

Uma característica das mensagens GOOSE são as repetições em intervalos de tempo definidos, ao invés de utilizar o controle de recebimento, *ack*. A eficiência das mensagens GOOSE deve ser tal qual a de um cabo físico. Para garantir esta característica, é utilizado o conceito de prioridade. Os componentes da rede devem atender à norma IEEE 802.1Q. Essa norma estabelece que dentro do frame ethernet devam estar contidas as informações de prioridade e de VLAN. Com essa informação, o switch, por exemplo, ao identificar que é uma mensagem GOOSE, a envia na frente de qualquer outro pacote, como pode ser vista na Figura 12.

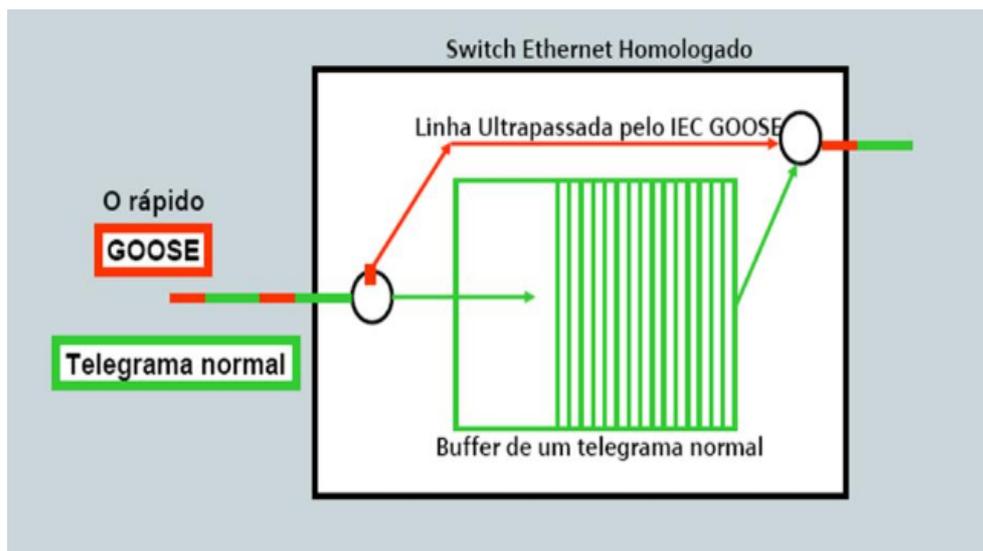


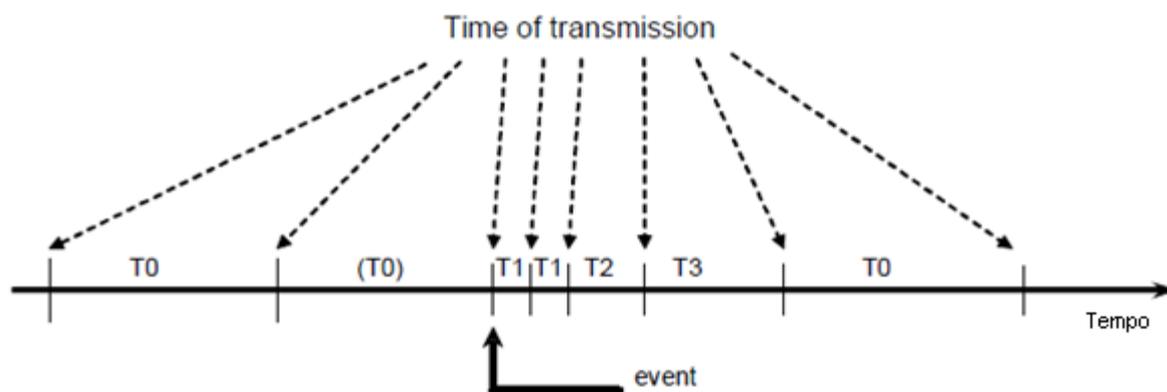
Figura 12. Prioridade da mensagem GOOSE

Além da prioridade, é preciso garantir que não estejam ocorrendo falhas quanto à entrega da mensagem. Quando algum problema ocorria com os fios elétricos, eram utilizados meios para medir a sua continuidade. Para mensagens GOOSE, essa continuidade é medida através do *sequencenumber*. A última variação de qualquer dos estados pode ser vista em *EventTimestamp*.

O auditor deve garantir principalmente essas qualidades citadas acima, continuidade e consistência. O auditor aqui proposto contempla somente essas características. Porém, muitas outras funcionalidades podem ser adicionadas a ele, como por exemplo, perda de pacotes/congestionamento de GOOSE, geração de relatórios, etc.

## 4.2 Características do telegrama GOOSE

Quando ocorre uma mudança de estado, o tempo de transmissão diminui consideravelmente, enviando mensagens GOOSE em uma rajada. Depois o tempo vai aumentando gradativamente até atingir o tempo de estabilidade. A Figura 13 ilustra a mudança no tempo de retransmissão quando da ocorrência de um evento. A mudança de estado zera o *SequenceNumber*, reiniciando a contagem com uma “nova” mensagem. O estado no qual ocorreu a mudança tem o valor booleano (*BOOLEAN*) modificado. O parâmetro *statenumber* é acrescido em uma unidade.



- T0 tempo de retransmissão em condições estáveis (sem eventos)
- (T0) tempo de retransmissão em condições estáveis que será reduzido por um evento
- T1 menor tempo de retransmissão após um evento
- T2, T3 tempos de retransmissão até estabilizar as condições normais de retransmissão

**Figura 13.** Tempo de transmissão em caso de eventos

## 4.3 Desenvolvimento

### 4.3.1 Arquitetura de testes

Os testes foram feitos em um laboratório na CHESF, Companhia Hidro Elétrica do São Francisco [21]. Neste laboratório foi montada a arquitetura de testes mostrada na Figura 14 utilizada neste projeto, composta de um relé Areva [22] P442 - 360, um switch Ruggedcom [23] RSG2100 e um computador desktop com Windows XP, para rodar o auditor GOOSE. O relé e o switch foram emprestados da CHESF para a realização dos testes da rede 61850. Os equipamentos foram conectados via rede ethernet através de cabo RJ-45.

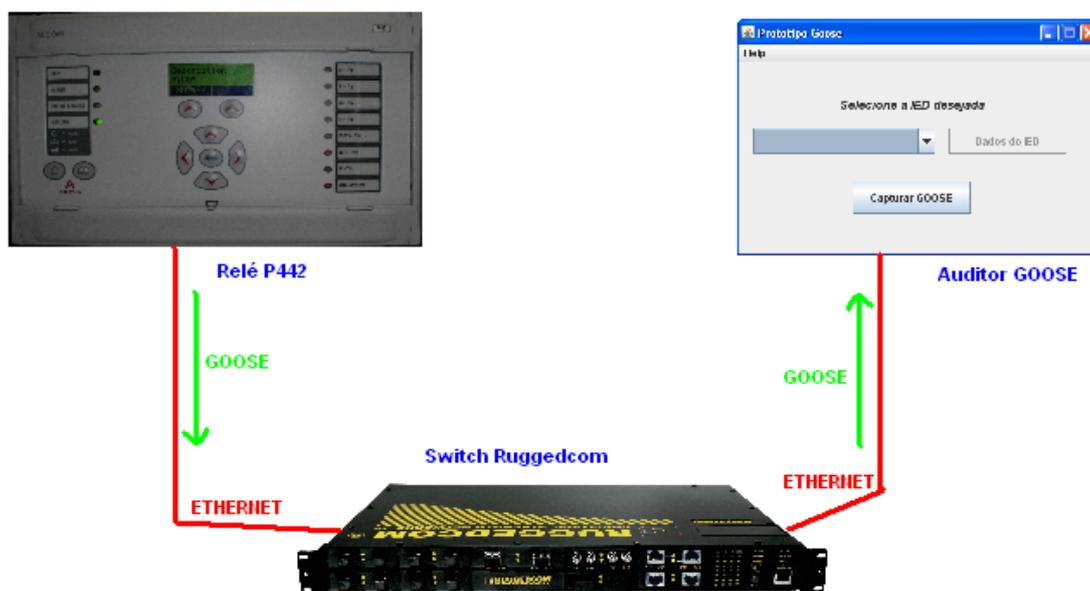


Figura 14. Arquitetura de testes.

### Configuração do Relé

A família de relés P442 suporta a norma 61850 à partir do modelo 320J. Neste projeto foi utilizado um relé 360J. Como o objetivo deste projeto é desenvolver um protótipo de auditor que seja capaz de monitorar o fluxo de mensagens GOOSE, apenas um relé é suficiente. Portanto, por simplicidade, optou-se pela utilização de uma rede simples com apenas um relé.

Primeiramente, é preciso ligar o relé. A parte traseira do relé é composta de filas de terminais nomeadas por letras do alfabeto. Cada fila possui 18 terminais e cada um desses terminais representa alguma informação como será explicada a seguir. A alimentação do relé encontra-se na parte traseira, e apresenta uma tensão alternada de 110V ou 220V nos bornes J1 e J2. O GOOSE está sendo transmitido pela rede ethernet. A variação no estado do GOOSE pode ser feita através da inclusão de um interruptor nos terminais D1 e D2 com corrente contínua, ao invés de estar sendo feita diretamente no relé. Ainda há a possibilidade de comunicação com o relé via porta serial DB9, conectando-se com os bornes J17 e J18. A Figura 15 ilustra a alimentação do relé.

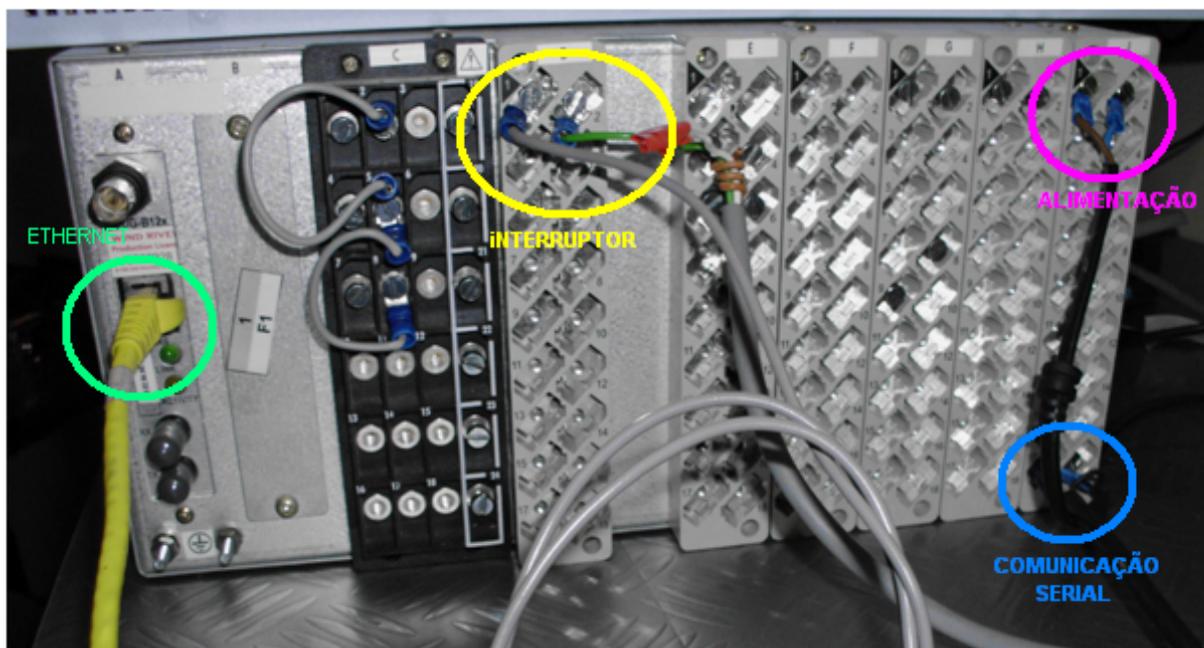
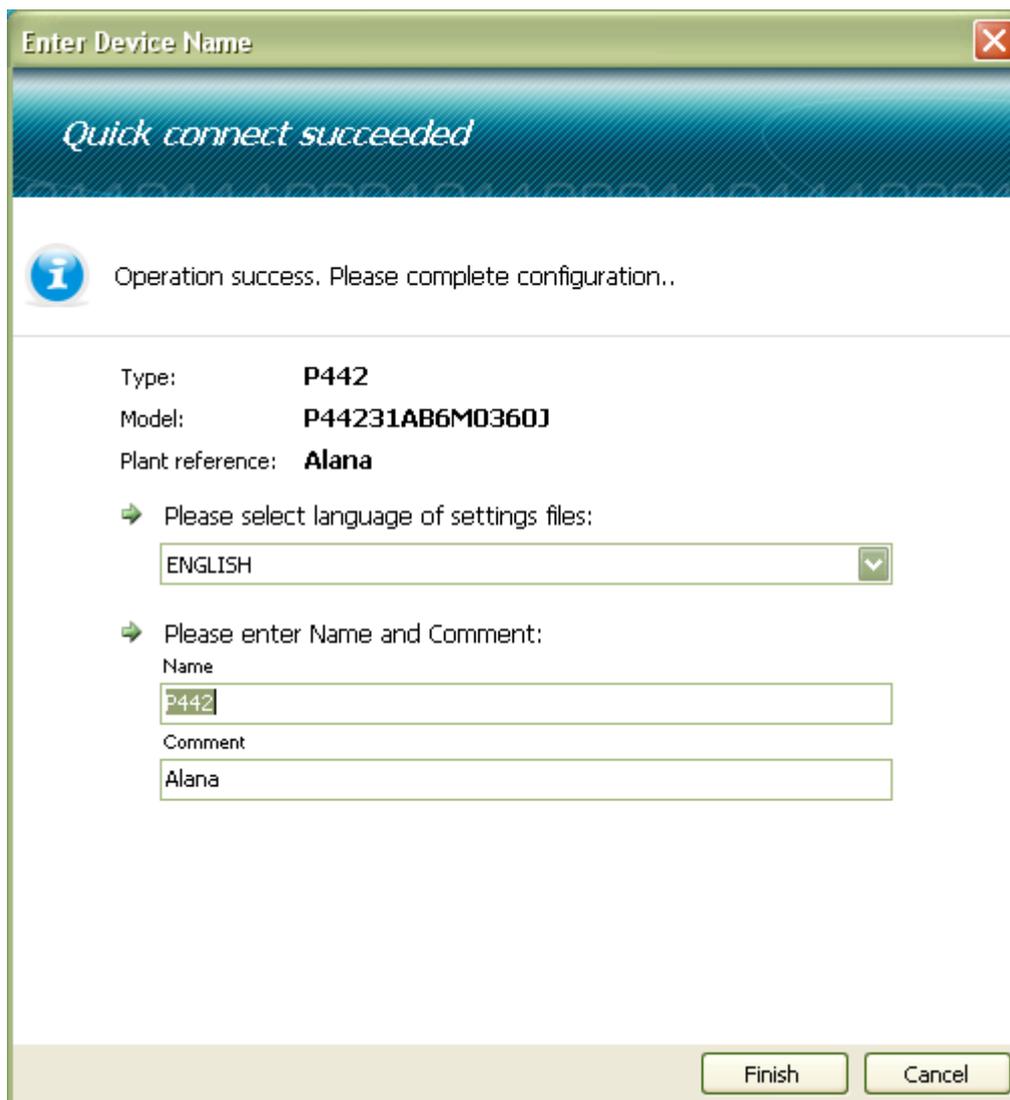


Figura 15. Alimentação do relé

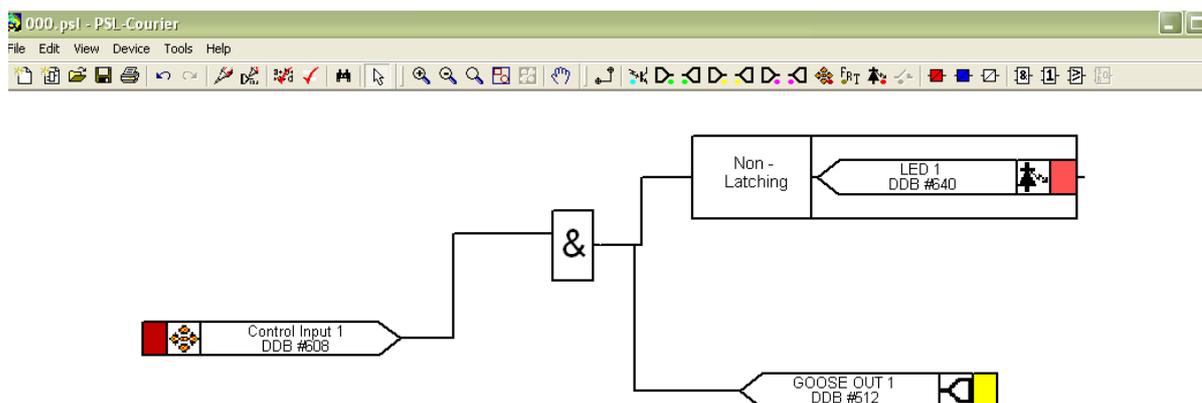
O relé precisa ser habilitado e configurado para enviar mensagens GOOSE. Para conectar com o relé, é preciso utilizar o programa MICOM Studio S1 do fabricante Areva. O Studio possui para cada família de relés um modelo de cada tipo de configuração (configurações gerais, Lógica, etc). Como o relé está em rede com o computador, foi criada uma conexão, através do botão *quick connection* (conexão rápida), do tipo ethernet. Foi selecionado a família do relé, Px4x e o tipo P442. O computador precisa estar com o IP no mesmo range do IP do relé. Assim é possível extrair informações de configuração do relé e também, enviar. Ao concluir a *quick connection*, o MICOM identifica o tipo e modelo do relé, como pode ser visto na Figura 16.



**Figura 16.** Tela do programa de conexão com o relé.

A habilitação para mensagens GOOSE foi feita através do parâmetro GoEna dentro das configurações em *IED CONFIGURATOR*. Após habilitado, foi configurado o envio de mensagens GOOSE. O relé do tipo P44x aceita 32 entradas e saídas de sinais digitais. Para o projeto, somente foi configurado o primeiro sinal. Ou seja, somente o primeiro sinal irá ser alterado na simulação. Foi montada a lógica de comunicação do relé, ilustrado na Figura 17, via PSL, configurador lógico do IED. A configuração para este projeto foi ligar o primeiro sinal de entrada do relé, identificado pelo parâmetro “*Control Input 1*” à primeira saída GOOSE, “GOOSE OUT 1”, e ao primeiro LED, “LED 1”, do equipamento através de uma porta &. O primeiro sinal de entrada pode ser considerado, neste caso, como um interruptor,

pois, manualmente, é possível ativar (*set*) e desativar (*reset*) este parâmetro, fazendo alterar o sinal do GOOSE a ele associado. O LED do equipamento foi utilizado simplesmente para melhor visualização da mudança de estado. Depois de configurado o PSL, salva o arquivo e envia para o relé.



**Figura 17.** Configuração da lógica de funcionamento

A configuração de GOOSE propriamente dita foi feita em um software auxiliar acoplado ao MICOM Studio, o *IEC61850 IED CONFIGURATOR*. Primeiro define-se o modelo do IED para poder ser apresentado o *template* a ser utilizado. Pode ser modificado o nome do IED, que vem por *default* como *TEMPLATE*.

Configura-se o IP do equipamento, conforme a Figura 18, para permitir a comunicação via rede ethernet.



**Figura 18.** Configuração da comunicação com o relé.

Na configuração do envio de GOOSE, define-se o tipo de tráfego, no caso multicast cujo MAC é 00-01-CD-01-00-00. O ID da aplicação, o identificador de VLAN, se for necessário e a prioridade de VLAN também, podem ser configurados. No caso deste projeto, como só foi utilizado apenas um relé, não foi definido o ID da VLAN e, portanto, não foi necessário configurar o switch para separar as portas para cada ID de VLAN. O ID da aplicação foi definido como default em 0. A prioridade foi definida no nível 4. A frequência de repetição das mensagens também pode ser configurada. É possível definir o tempo mínimo e o máximo ideais de repetição, porém o valor Máximo não pode ser maior que o *TimeAllowedtoLive*. No bloco referente aos parâmetros dos dados, é apresentado o identificador, formado pelo nome do relé e sua referência como *publisher*, a referência do grupo de dados (*Dataset*) e a versão da configuração, assim é mais fácil manter o controle das modificações que foram feitas na configuração. A Figura 19 apresenta a configuração do IED.

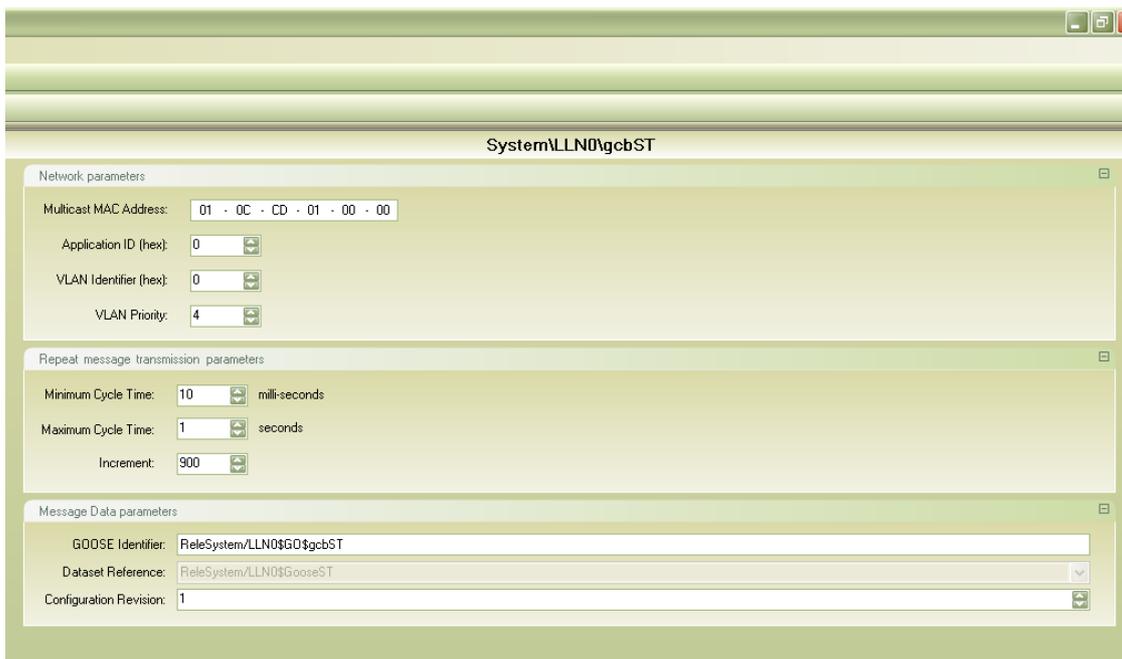


Figura 19. Configuração do envio de mensagens GOOSE.

Para testar se o relé estava de fato enviando as mensagens, foi utilizado o software *Wireshark* [24], um analisador de rede. A Figura 20 mostra o Software capturando GOOSE na rede. Esse programa funciona como um *sniffer* (analisador de pacotes da rede) que captura todos os pacotes que trafegam na rede. Ele identifica o tipo dos pacotes e um desses tipos é IECGOOSE. Com essa informação foi possível comprovar que o relé estava de fato enviando as mensagens GOOSE.

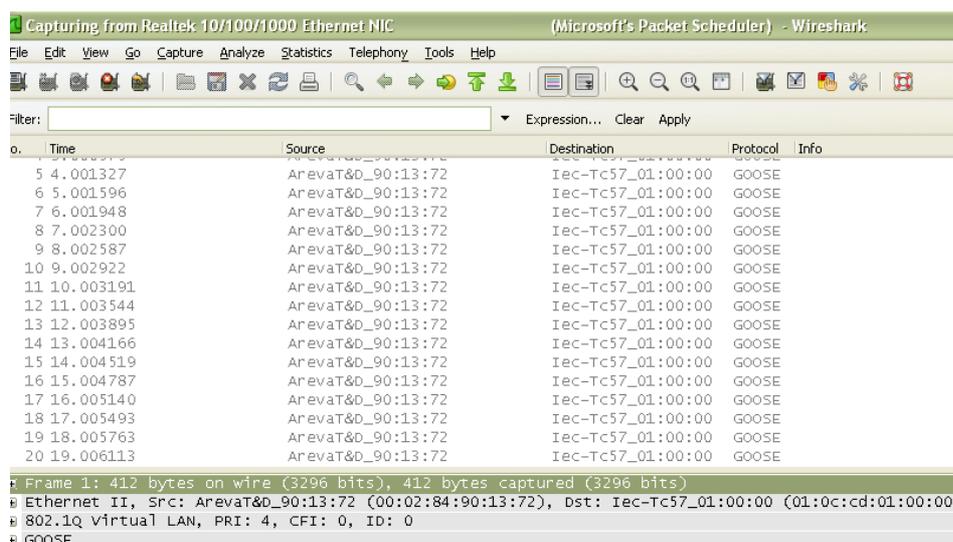


Figura 20. Sniffer wireshark

## Auditor

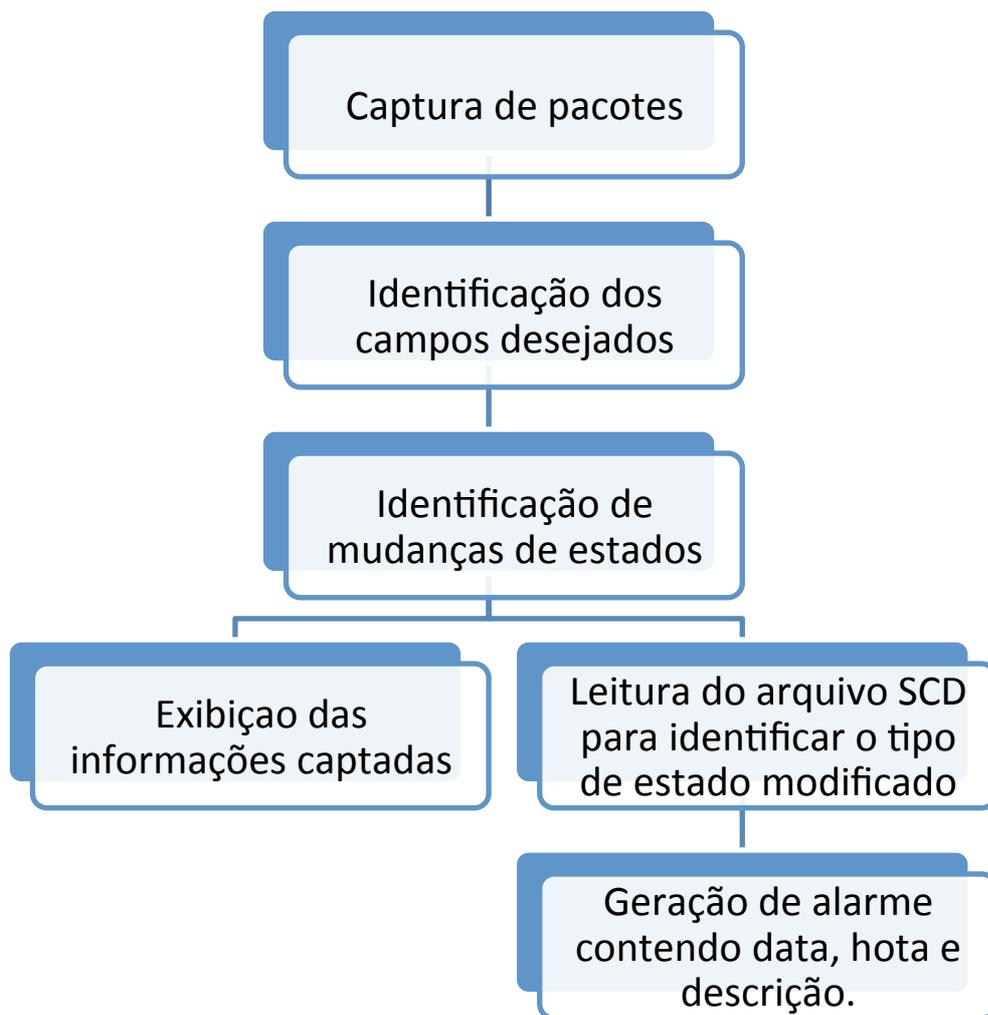
O auditor foi desenvolvido utilizando a linguagem JAVA [19] e a biblioteca Jpcap [20] para captura e envio de pacotes. Essa biblioteca foi usada para dar à aplicação uma característica de *sniffer*. Assim, o auditor é capaz de capturar qualquer pacote que trafegue pela rede, analisando somente os que são classificados como mensagem GOOSE. É possível identificar que uma mensagem é GOOSE através do campo *type*, como pode ser visto na Figura 21, no frame ethernet, se este campo estiver definido como 0x88b8, então é GOOSE. Alguns Sniffer, como o wireshark, já identificam.

```

Frame 3: 408 bytes on wire (3264 bits), 408 bytes captured (3264 bits)
  Arrival Time: May 30, 2011 16:30:14.693634000 Hora oficial do Brasil
  Epoch Time: 1306783814.693634000 seconds
  [Time delta from previous captured frame: 0.735192000 seconds]
  [Time delta from previous displayed frame: 0.735192000 seconds]
  [Time since reference or first frame: 1.000271000 seconds]
  Frame Number: 3
  Frame Length: 408 bytes (3264 bits)
  Capture Length: 408 bytes (3264 bits)
  [Frame is marked: False]
  [Frame is ignored: False]
  [Protocols in frame: eth:goose]
  [Coloring Rule Name: Broadcast]
  [Coloring Rule String: eth[0] & 1]
Ethernet II, Src: ArevaT&D_90:13:72 (00:02:84:90:13:72), Dst: Iec-Tc57_01:00:00 (01:0c:cd:01:00:00)
  Destination: Iec-Tc57_01:00:00 (01:0c:cd:01:00:00)
  Source: ArevaT&D_90:13:72 (00:02:84:90:13:72)
  Type: IEC 61850/GOOSE (0x88b8)
GOOSE
    
```

Figura 21. Campo *type* do frame ethernet

O funcionamento do auditor pode ser visualizado no fluxograma abaixo, Figura 22. Primeiro, o auditor captura os pacotes que trafegam pela rede e analisa apenas os que são GOOSE. Das mensagens GOOSE, são guardadas as informações importantes e depois identificado se houve uma mudança de estado em relação a mensagem anterior. Se ocorreu uma mudança então o auditor lê o arquivo SCD e gera um alarme, se não, apenas disponibiliza as informações obtidas.



**Figura 22.** Fluxograma de funcionamento do auditor

A Figura 23 mostra a tela inicial do auditor. É uma tela bastante simples composta de um *combobox* e dois botões, “Dados do IED” e “Capturar GOOSE”. Nesta tela, o usuário inicia a captura de pacotes GOOSE, através do botão de captura. O auditor apresenta todos os IED que estão enviando mensagens GOOSE na rede. É possível detalhar as mensagens de cada um desses IEDs.

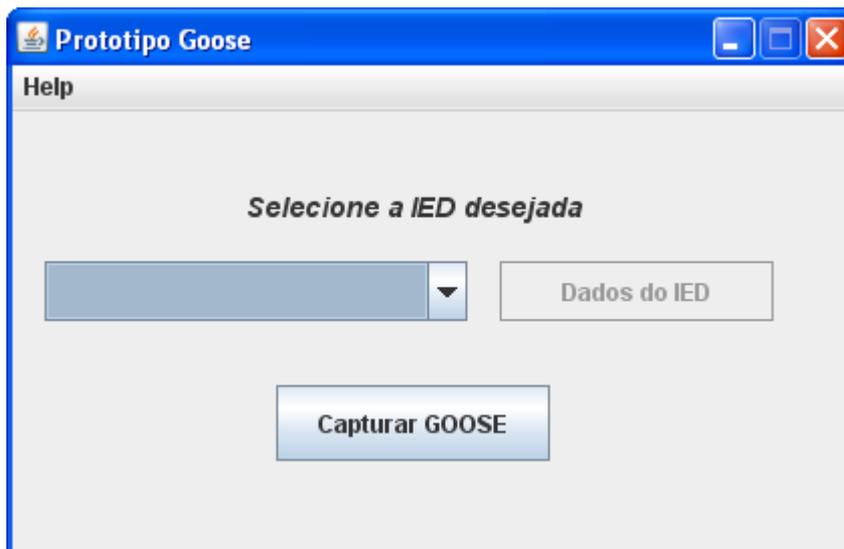


Figura 23. Tela inicial do auditor

A aplicação começa a capturar e analisar as mensagens GOOSE assim que o botão “Capturar GOOSE” é clicado. A partir disso inicia-se o processo de análise dos frames GOOSE. Uma análise inicial feita é a identificação dos remetentes, ou seja, os IEDs que estão transmitindo as mensagens. Com essa informação, o *combobox* é preenchido. É neste componente que são exibidas todas as IEDs que enviam mensagens do tipo GOOSE. Essa informação de remetente é adquirida pelo campo *ControlBlockReference, GoCB*. No caso do teste desse projeto, haverá somente um nome na *combobox* da Figura 24.

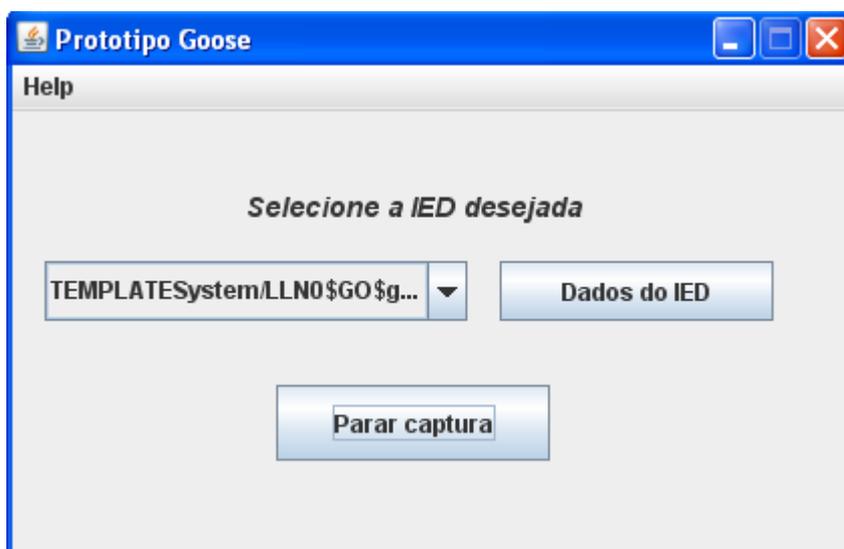


Figura 24. Auditor capturando GOOSE na rede.

A leitura de pacotes é através dos bytes do frame. Cada grupo de bytes representa uma informação. Ao identificar que é uma mensagem GOOSE, o auditor lê os próximos bytes e armazena as informações mais relevantes para serem exibidas. As informações principais são:

- GoCB → Nome da IED que envia as mensagens GOOSE, *publisher*.
- GID → O identificador do IED, mesmo valor do GoCB.
- DATA SET → O nome do grupo de dados. Definido pelo IED.
- APPID → O ID da aplicação, definido pelo usuário ao configurar as mensagens GOOSE.
- TIMETOLIVE → o tempo máximo de espera entre um pacote e outro
- SEQNUMBER → indica a continuidade das mensagens GOOSE e a alteração de algum sinal, quando este acontece.
- NDATASETENTRIES → Informa quantos sinais a mensagem está carregando.

A Figura 25 apresenta um detalhamento das mensagens capturadas pelo auditor. De cada mensagem são apresentadas as informações descritas acima.

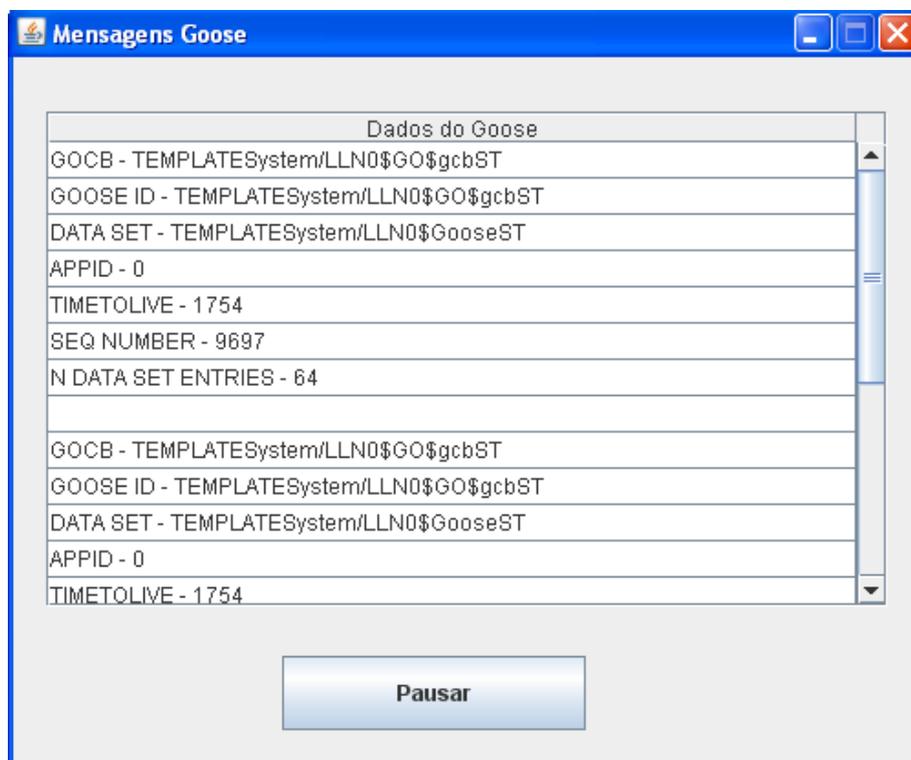


Figura 25. Detalhe das mensagens.

Há uma ocorrência quando o *staternumber* é alterado, o *sequencenumber* reinicia a contagem e algum estado é alterado, conforme pode ser visto na Figura 26 e Figura 27.

```

t: Jan 30, 2011 17:57:21.234999954 UTC
stNum: 36
sqNum: 0
test: False
confRev: 0
ndsCom: False
numDatSetEntries: 64
allData: 64 items
  Data: boolean (3)
    boolean: True
  Data: bit-string (4)
    Padding: 3
    bit-string: 0000
  Data: boolean (3)
    boolean: False
  Data: bit-string (4)
    Padding: 3
    bit-string: 0000
  Data: boolean (3)
    boolean: False
0090 01 40 ab 82 01 00 83 01 01 84 03 03 00 00 83 01 ..@.....|.....
00a0 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 01 ..@.....|.....
00b0 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 01 ..@.....|.....
00c0 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 01 ..@.....|.....
00d0 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 01 ..@.....|.....
00e0 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 01 ..@.....|.....

```

(A)

```

t: Jan 30, 2011 17:57:16.683999955 UTC
stNum: 35
sqNum: 14
test: False
confRev: 0
ndsCom: False
numDatSetEntries: 64
allData: 64 items
  Data: boolean (3)
    boolean: False
  Data: bit-string (4)
    Padding: 3
    bit-string: 0000
  Data: boolean (3)
    boolean: False
  Data: bit-string (4)
    Padding: 3
    bit-string: 0000
  Data: boolean (3)
    boolean: False
0090 8a 01 40 ab 82 01 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 ..@.....|.....
00a0 01 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 ..@.....|.....
00b0 01 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 ..@.....|.....
00c0 01 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 ..@.....|.....
00d0 01 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 ..@.....|.....
00e0 01 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 ..@.....|.....

```

(B)

Figura 26. (A) e (B) alteração de estado binário.

```

Ethernet II, Src: Arevat&D_90:13:72 (00:02:84:90:13:72), Dst: Iec-Tc57_01:00:00 (01:0c:cd:01:00:00)
GOOSE
  APPID: 0x0000 (0)
  Length: 393
  Reserved 1: 0x0000 (0)
  Reserved 2: 0x0000 (0)
  goosePdu
    gocbRef: TEMPLATESystem/LLN0$go$gcbST
    timeAllowedtoLive: 2010
    dataSet: TEMPLATESystem/LLN0$gooseST
    goID: TEMPLATESystem/LLN0$go$gcbST
    t: Jan 30, 2011 17:57:16.683999955 UTC
    stNum: 35
    sqNum: 14
    test: False
    confRev: 0
    ndsCom: False
    numDataSetEntries: 64
  allData: 64 items
0080 0a 85 01 23 86 01 00 87 01 00 88 01 00 89 01 00 ...#. . . . .
0090 8a 01 40 ab 82 01 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 ..@. . . . .
00a0 01 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 .....
00b0 01 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 .....
00c0 01 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 .....
00d0 01 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 .....

```

(C)

```

Ethernet II, Src: Arevat&D_90:13:72 (00:02:84:90:13:72), Dst: Iec-Tc57_01:00:00 (01:0c:cd:01:00:00)
GOOSE
  APPID: 0x0000 (0)
  Length: 392
  Reserved 1: 0x0000 (0)
  Reserved 2: 0x0000 (0)
  goosePdu
    gocbRef: TEMPLATESystem/LLN0$go$gcbST
    timeAllowedtoLive: 32
    dataSet: TEMPLATESystem/LLN0$gooseST
    goID: TEMPLATESystem/LLN0$go$gcbST
    t: Jan 30, 2011 17:57:21.234999954 UTC
    stNum: 36
    sqNum: 0
    test: False
    confRev: 0
    ndsCom: False
    numDataSetEntries: 64
  allData: 64 items
0080 85 01 24 86 01 00 87 01 00 88 01 00 89 01 00 8a ..$. . . . .
0090 01 40 ab 82 01 00 83 01 01 84 03 03 00 00 83 01 ..@. . . . .
00a0 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 01 .....
00b0 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 01 .....
00c0 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 01 .....
00d0 00 84 03 03 00 00 83 01 00 84 03 03 00 00 83 01 .....

```

(D)

Figura 27. (C) e (D) mudança do sequencenumber e statenumber .

O auditor interpreta essa mudança de estado, seguindo as seguintes etapas:

- Compara cada estado booleano (*true* ou *false*) com o valor anterior
- Identifica qual o estado que foi alterado
- Busca no SCD.txt a que se refere o estado alterado
- Inclui no arquivo Alarmes.txt uma linha contendo a data e hora, o nome do relé no qual ocorreu a alteração e qual foi a alteração.

O arquivo SCD deste projeto é apenas uma ilustração representativa, pois um arquivo SCD real é bastante complexo.

# Capítulo 5

## Conclusão

A IEC 61850 já é uma realidade em sistemas elétricos. O nível de aceitação por parte das concessionárias só tem aumentado e varias implantações bem sucedidas estão acontecendo. A resposta que se tem dessas migrações para 61850 são extremamente positivas. Foi possível constatar que a quantidade de fiação elétrica foi reduzida, aproveitando as características que a norma IEC61850 oferece, diminuindo custos e melhorando a configuração do sistema.

O GOOSE permite a substituição destes cabos por pacotes de dados trafegando em rede. Essa proposta modifica a filosofia tradicional de configuração de subestações, tornando a aplicação mais complexa de se implementar e analisar. A configuração de todos os elementos é um procedimento crucial, que se mal feita pode influenciar drasticamente no desempenho da rede com aplicação GOOSE. Por isso há necessidade de um auditor GOOSE.

O auditor é uma ferramenta com um potencial enorme. O pequeno protótipo desenvolvido neste projeto é bastante útil, ao identificar características da mensagem GOOSE e ocorrências do IED. Foi desenvolvido em JAVA, porém poderia ser utilizada outras linguagens que possuam alguma Biblioteca de captura de pacotes

O auditor funciona de acordo com os arquivos de configuração SCD, SSD, ICD e CID. A expansão ou redução dos equipamentos na rede 61850, reflete direto nestes arquivos e não exige nenhum retrabalho quanto ao auditor.

A utilização de um auditor GOOSE, pode aumentar consideravelmente a utilização da norma IEC 61850. O auditor pode identificar instantaneamente se algum dos equipamentos estiver em desacordo com os arquivos de configuração, se não forem todos atualizados, ou se houver perda de comunicação entre eles. O auditor irá identificar e avisar sobre eventuais problemas que possivelmente seriam descobertos somente em casos de urgência, quando fosse necessário o perfeito

funcionamento. Qualquer rede 61850 pode e deve ter um auditor para supervisionar o funcionamento.

Em uma subestação real, são necessárias muitas outras funcionalidades que poderão ser adicionadas em um projeto futuro, como por exemplo:

- Solução para perda de pacotes;
- Tratamento para compatibilidade de versões dos arquivos de configuração.
- Monitoramento da rede para evitar o congestionamento.
- Geração de relatórios;
- ETC.

Com o grande aumento de subestações que estão aderindo a norma, o auditor será uma aplicação indispensável. É importante que o desenvolvimento seja ampliado e que novas funcionalidades sejam agregadas a fim de garantir sempre o maior nível de segurança.

# Bibliografia

- [1] BLACKBURN, J. L. **Protective relaying : principles and applications** - 2 ed. Washington: Marcel Dekkerin, Inc, 1997. 559 p.
- [2] DURAN, J. R. B., Penner, N., Busnardo, O. e Gualtieri, S.R. **Grupo de Estudo de Proteção, Medição e Controle e Automação em Sistemas de Potência – GPC. Aplicação da Norma IEC 61850 em Sistemas de Oscilografia**. XX SNPTEE 2009 Recife.
- [3] INTERNATIONAL Eletrotechnical Commission. **IEC 61850-1: Communication networks and systems in substations - Part 1: Introduction and overview**. Geneva, 2004;
- [4] KUROSE, J. F. **Redes de Computadores e a Internet: uma abordagem top down**. 3 ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2006. 625 p.
- [5] INTERNATIONAL Eletrotechnical Commission. **IEC 61850-8-1: Communication networks and systems in substations – Part 8-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Mappingsto MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) andto ISO/IEC 8802-3**. Geneva, 2004;
- [6] BARBOSA, D. **Relés Numéricos de Proteção**. Disponível em: <[http://143.107.235.69/index.php?option=com\\_content&view=article&id=9:rele-s-numericos-de-protecao-&catid=8:protecao-digital-de-sistemas-eletricos-de-potencia&Itemid=18](http://143.107.235.69/index.php?option=com_content&view=article&id=9:rele-s-numericos-de-protecao-&catid=8:protecao-digital-de-sistemas-eletricos-de-potencia&Itemid=18)> Acesso em: 19 de março de 2011
- [7] GLOBO. **Causas do apagão no Nordeste ainda não estão claras, diz Eletrobras**. Disponível em <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2011/02/causas-do-apagao-no-nordeste-ainda-nao-estao-claras-diz-eleetrobras.html>> Acesso em 24 de março de 2011.
- [8] IEEE. **IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Virtual Bridged Local Area Networks - IEEE Std 802.1Q™-2005**. 2006, New York.
- [9] SANTOS, L. F. & Pereira, M. **Uma Abordagem Prática do IEC61850 para Automação, Proteção E Controle de subestações**. São Paulo, VII Simpase.

- [10] PROUDFOOT, D. **UCA and IEC 61850 for Dummies**. Siemens Power Transmission and Distribution, 2002. Disponível em <[http://www.nettedautomation.com/download/UCA and 61850 for dummies V12.pdf](http://www.nettedautomation.com/download/UCA_and_61850_for_dummies_V12.pdf)> Acesso em 19 de março de 2011.
- [11] INTERNATIONAL Electrotechnical Commission. **IEC 61850-5: Communication networks and systems in substations – Part 5 Communication requirements for functions and device models**. Geneva, 2003;
- [12] W3C. **XML Technology**. Disponível em: <<http://www.w3.org/standards/xml/>> Acesso em: 19 de março de 2011
- [13] MOREIRA, V. M. **Avaliação do desempenho da comunicação de dados baseada na IEC 61850 aplicada a refinarias de petróleo**. Monografia UFPE. Recife Fev 2009.
- [14] PAULINO, M. E. C. **Testes de IED Operando com Redes de Comunicação Baseados na IEC-61850**. Foz do Iguaçu 2007. Décimo Segundo Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRÉ.
- [15] ZANIRATO, E. **Modernização das funções de seletividade lógica e falha do disjuntor com a utilização da norma IEC-61850 (Memnsagens GOOSE) – caso real**. IEEE PCIC BR 2008-20. Campinas – São Paulo.
- [16] PEREIRA, A.T.A. e FERREIRA, J.C. **Integration of new IEC 61.850 based SAS to legacy systems**. CIGRE 2011 Saint Petersburg.
- [17] PAULINO, M. E. de C., Siqueira, I. P. & Carmo, U. A. **Requisitos para Interoperabilidade de IEDS e Sistemas Baseados na Norma IEC61850**. STPC 2010 Recife.
- [18] WIKIPEDIA. **Auditoria**. Disponível em < <http://pt.wikipedia.org/wiki/Auditoria>> Acesso em 02 de Abril 2011.
- [19] ORACLE. **Java Platform, Enterprise Edition (Java EE) Technical Documentation**. Disponível em: <<http://download.oracle.com/javasee/>> Acesso em: 22 de março de 2011.

- [20] JPCAP. **Introduction.** Disponível em <http://netresearch.ics.uci.edu/kfujii/Jpcap/doc/> Acesso em 05 de Abril de 2011.
- [21] CHESF. Disponível em [http://www.chesf.gov.br/portal/page/portal/chesf\\_portal/paginas/inicio](http://www.chesf.gov.br/portal/page/portal/chesf_portal/paginas/inicio) . Acesso em 05 Abril de 2011.
- [22] AREVA. **GROUP.** Disponível em <http://www.aveva.com/EN/group-57/global-leader-in-nuclear-energy-and-renewable-energy-solutions.html> > Acesso em 05 Abrl de 2011.
- [23] RUGGEDCOM. **Company Overview.** Disponível em <http://www.ruggedcom.com/about/investor/company/>> Acesso em 05 de Abril de 2011.
- [24] WIRESHARK. **About Wireshark.** Disponível em <http://www.wireshark.org/about.html>> Acesso em 05 de Abril de 2011.

# Apêndice A

## Tabela ANSI

Nº	Função
1	Elemento Principal
2	Função de partida ou fechamento temporizado
3	Função de verificação ou interbloqueio
4	Contator principal
5	Dispositivo de interrupção
6	Disjuntor de partida
7	Disjuntor de anodo
8	Dispositivo de desconexão da energia de controle
9	Dispositivo de reversão
10	Chave de sequência das unidades
11	Reservada para futura aplicação
12	Dispositivo de sobrevelocidade
13	Dispositivo de rotação síncrona
14	Dispositivo de subvelocidade
15	Dispositivo de ajuste ou comparação de velocidade ou frequência
16	Reservado para futura aplicação
17	Chave de derivação ou descarga
18	Dispositivo de aceleração ou desaceleração
19	Contator de transição partida-marcha
20	Válvula operada eletricamente
21	Relé de distância
22	Disjuntor equalizador
23	Dispositivo de controle de temperatura
24	Relé de sobreexcitação ou Volts por Hertz
25	Relé de verificação de Sincronismo ou Sincronização
26	Dispositivo térmico do equipamento

<b>27</b>	Relé de subtensão
<b>27-0</b>	Relé de subtensão na alimentação auxiliar
<b>28</b>	Reservado para futura aplicação
<b>29</b>	Contator de isolamento
<b>30</b>	Relé anunciador de alarme
<b>31</b>	Dispositivo de excitação
<b>32</b>	Relé direcional de potência
<b>33</b>	Chave de posicionamento
<b>34</b>	Chave de sequência operada por motor
<b>35</b>	Dispositivo para operação das escovas ou curto-circuitar anéis coletores
<b>36</b>	Dispositivo de polaridade
<b>37</b>	Proteção de motor: relé de subcorrente ou subpotência
<b>38</b>	Dispositivo de proteção de mancal
<b>39</b>	Reservado para futura aplicação
<b>40</b>	Relé de perda de excitação
<b>41</b>	Disjuntor ou chave de campo
<b>42</b>	Disjuntor/ chave de operação normal
<b>43</b>	Dispositivo de transferência manual
<b>44</b>	Relé de sequência de partida
<b>45</b>	Reservado para futura aplicação
<b>46</b>	Relé de proteção de seqüência negativa
<b>47</b>	Relé de sequência de fase de tensão
<b>48</b>	Relé de sequência incompleta de partida
<b>49</b>	Relé de proteção térmica
<b>50</b>	Relé de sobrecorrente instantâneo
<b>50N</b>	Relé de sobrecorrente instantâneo de neutro
<b>50BF</b>	Relé de proteção de falha de disjuntor
<b>51</b>	Relé de sobrecorrente temporizado
<b>51N</b>	Relé de sobrecorrente temporizado de neutro
<b>51GS</b>	Relé de sobrecorrente temporizado de sensor de terra (GS)

<b>52</b>	Disjuntor de corrente alternada
<b>53</b>	Relé para excitatriz ou gerador CC
<b>54</b>	Disjuntor para corrente contínua, alta velocidade
<b>55</b>	Relé de fator de potência
<b>56</b>	Relé de aplicação de campo
<b>57</b>	Dispositivo de aterramento ou curto-circuito
<b>58</b>	Relé de falha de retificação
<b>59</b>	Relé de sobretensão
<b>59N</b>	Relé de tensão de terra
<b>60</b>	Relé de balanço de tensão / queima de fusíveis
<b>61</b>	Relé de balanço de corrente
<b>62</b>	Relé de interrupção ou abertura temporizada
<b>63</b>	Relé de pressão ou nível de fluxo líquido ou gás (Buchholz)
<b>64</b>	Relé de proteção de terra
<b>65</b>	Regulador (governador) de velocidade
<b>66</b>	Proteção de motor: supervisão do número de partidas
<b>67</b>	PTOC Relé direcional de sobrecorrente
<b>68</b>	Relé de bloqueio por oscilação de potência
<b>69</b>	Dispositivo de controle permissivo
<b>70</b>	Reostato eletricamente operado
<b>71</b>	Dispositivo de detecção de nível
<b>72</b>	Disjuntor de corrente contínua
<b>73</b>	Contator de resistência de carga
<b>74</b>	Função de alarme
<b>75</b>	Mecanismo de mudança de posição
<b>76</b>	Relé de sobrecorrente DC
<b>77</b>	Transmissor de impulsos
<b>78</b>	Relé de medição de ângulo de fase/ proteção contra falta de sincronismo
<b>79</b>	Relé de religamento AC
<b>80</b>	Reservado para futura aplicação

---

<b>81</b>	Relé de sub / sobrefrequência
<b>82</b>	Relé de religamento DC
<b>83</b>	Relé de seleção/ transferência automática
<b>84</b>	Mecanismo de operação
<b>85</b>	Relé receptor de sinal de telecomunicação
<b>86</b>	Relé auxiliar de bloqueio
<b>87B</b>	Proteção diferencial - barra
<b>87T</b>	Proteção diferencial - transformador
<b>87G</b>	Proteção diferencial - gerador
<b>87L</b>	Proteção diferencial - linha
<b>88</b>	Motor auxiliar ou motor gerador
<b>89</b>	Chave seccionadora
<b>90</b>	Dispositivo de regulação
<b>91</b>	Relé direcional de tensão
<b>92</b>	Relé direcional de tensão e potência
<b>93</b>	Contator de variação de campo
<b>94</b>	Relé de desligamento
<b>95 à 99</b>	Reservado para aplicações específicas