



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

JOÃO GABRIEL VIEIRA

**SUBESTAÇÕES DIGITAIS:
TECNOLOGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO DIGITAL**

Palhoça

2017

JOÃO GABRIEL VIEIRA

**SUBESTAÇÕES DIGITAIS:
TECNOLOGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO DIGITAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica Telemática da
Universidade do Sul de Santa Catarina como
requisito parcial à obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Sheila Santisi Travessa, Dra.Eng.

Palhoça

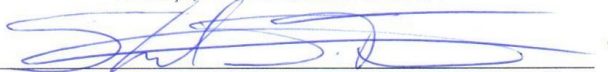
2017

JOÃO GABRIEL VIEIRA

**SUBESTAÇÕES DIGITAIS:
TECNOLOGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO DIGITAL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica Telemática da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 01 de Dezembro de 2017.



Sheila Santisi Travessa, Dra.Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Gláucio Ligeiro, Eng
Universidade do Sul de Santa Catarina



Charlise Martins da Silva, Eng
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho a toda a minha família que sempre me apoio nos momentos necessários e em especial ao meu pai e minha mãe que me proporcionaram a oportunidade de estudar neste curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, no qual sempre me apoiou nos momentos que tive dificuldade e nos momentos que tive vitória.

À minha família, que sempre me apoiou nas decisões que tomei com relação ao meu curso e minha vida.

Aos meus pais que proporcionaram o estudo e me apoiaram sempre quando precisei.

“A única história que vale alguma coisa é a história que fazemos hoje” (Henry Ford, 1940).

RESUMO

Com a vinda de novas tecnologias o setor elétrico assim como outros setores que receberam muitas novidades ficaram sem orientações com relação as normas de comunicação entre equipamentos. Com isso a norma IEC 61580 veio para facilitar e resolver alguns problemas que por diversos anos foi muito debatido em grandes obras como, sistema de comunicações (protocolos) e meios físicos de comunicações (cabos). Com a aplicação da norma em subestações, houve-se a necessidade dos fabricantes de aperfeiçoarem os equipamentos já existentes em mercado para atendimento a norma, não somente a aplicação de comunicação, mas também no que se diz a aquisição de dados advindos do pátio. Tendo uma norma tão nova e revolucionaria, grandes concessionárias de energia não acreditam que a mesma possa resolver grandes problemas como o custo de instalação de uma subestação. Com isso projetos pilotos como os que serão apresentados neste trabalho são necessários para a verificação da confiabilidade e robustez do sistema que utiliza a norma IEC 61850. Com esses projetos em andamento, pode-se verificar a confiabilidade da norma e a robustez dos equipamentos já desenvolvidos pelos fabricantes, atestando o crescimento do uso do protocolo em uma subestação.

Palavras-chave: IEC 61850. Automação. Setor elétrico. Comunicação.

ABSTRACT

With the coming of new technologies, the electric sector as well as other sectors that received many innovations were left without guidelines regarding the standards communication between equipment. With this, the IEC 61850 standard came to facilitate and solve some problems that for many years was much debated in major works such as communications system (protocols) and physical communications (cables). With the application of the standard in substations, it was necessary the manufacturers to improve the equipments that already exist in the market to meet the norm, not only the application of communication but also in the acquisition of data coming from the field. With such a new and revolutionary standard, large energy utilities do not believe that it can solve major problems such as the cost of installing a substation. So, pilot projects such as those presented in this paper are necessary to verify the reliability and robustness of the system using the IEC 61850 standard. With these projects in progress, it is possible to verify the reliability of the standard and the robustness of the equipment already developed by the manufacturers attesting the growth of the use of the protocol in a substation.

Keywords: IEC 61850. Automation. Electrical sector. Communication

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Subestação	16
Figura 2 – Níveis de subestações.....	16
Figura 3 – Barramento IEC 61850.....	18
Figura 4 – Sistema de protocolos de uma subestação comum	21
Figura 5 – Arquitetura de um bay de uma subestação convencional	21
Figura 6 – Arquitetura de um bay em uma subestação digital	22
Figura 7 – Nivel de automação de uma subestação digital	23
Figura 8 – Relé de proteção de motor SEL710	26
Figura 9 – Siprotec 5 Siemens.....	27
Figura 10 – RT430 Relógio GPS.....	28
Figura 11 – Registrador Digital de Perturbações.....	29
Figura 12 – Merging Unit	30
Figura 13 – Transformador de corrente óptico.....	31
Figura 14 – Subestação de Gauville	34
Figura 15 – Projeto Poste Intelligent	35
Figura 16 – Arquitetura do sistema.....	36
Figura 17 – Painel de aquisição de sinais.....	37
Figura 18 – Paineis de proteção.....	37
Figura 19 – Transformador de Corrente óptico.....	38
Figura 20 – Unifilar o bay IEC 61850	41
Figura 21 – Arquitetura de comunicação	41
Figura 22 – Paines de medição	42
Figura 23 – Comparação de oscilografias	43
Figura 24 – Arquitetura de instalação	43
Figura 25 – Painel de instalação	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA	12
1.2 OBJETIVO	12
1.2.1 Objetivo geral.....	12
1.2.2 Objetivo específico	13
1.3 METODOLOGIA DO TRABALHO	13
1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	13
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	15
2.1 SUBESTAÇÃO.....	15
2.1.1 Níveis de Comunicação entre equipamentos dentro de subestações	16
2.2 IEC 61850	20
2.2.1 IEC 61850 -Histórico.....	20
2.2.2 IEC 61850 - Funcionalidade	20
2.2.3 IEC 61850 – Vantagens ao utilizar a norma	24
2.2.3.1 IEC 61850 – Vantagens ao utilizar a norma - Interoperabilidade.....	24
2.2.3.2 IEC 61850 – Papel da norma junto aos fabricantes de equipamentos	24
2.2.3.3 Guia para engenheiros norma IEC 61850.....	25
2.3 EQUIPAMENTOS QUE UTILIZAM A NORMA 61850	25
2.3.1 Equipamentos de proteção.....	25
2.3.2 Equipamentos de sincronismo	27
2.3.3 Registrador Digital de perturbações	28
2.3.4 Merging Unit.....	29
2.3.5 TC – Transformador de corrente óptico	30
2.4 MIGRAR UMA SUBESTAÇÃO PARA IEC 61850.....	31
2.5 IMPLEMENTAÇÃO DE UMA NOVA SUBESTAÇÃO DIGITAL.....	32
3 ESTUDO DE CASO	34
3.1 SUBESTAÇÃO DE GAUVILLE	34
3.2 SUBESTAÇÃO DE UBERABA	40
3.3 SUBESTAÇÃO DE EMBU-GUAÇU.....	43
4 RESULTADOS OBTIDOS	45
5 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES.....	47

6 CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS.....	49
ANEXOS	50
ANEXO A – TÍTULO.....	51
ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	

1 INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje somos cada vez mais afetados por tecnologias, muitas que beneficiam a vida das pessoas e outras nem tanto. Na área de transmissão e distribuição de energia elétrica não é diferente, principalmente nas subestações, locais onde o quantitativo de tecnologia é grande.

Com isso tem-se a iniciação da subestação digital, subestação que possui o mesmo funcionamento de uma subestação tradicional porém utiliza-se de alta tecnologia para o seu funcionamento.

A subestação digital tem como principal norma a IEC 61850, norma que foi criada para resolver o conglomerado de normas que existiam e ainda existem e são utilizados em uma subestação de energia e usinas. De acordo com (Vasquez, Bruno. 2007), em 1995 a IEC verificou que era necessário normatizar as interfaces e dispositivos eletrônicos inteligentes e seus protocolos de comunicação. Com isso um comitê técnico foi criado para elaboração desta norma que será apresentada.

Esse trabalho apresentará não somente as normas que regem a utilização e a construção de subestações digitais, mas também apontará equipamentos e tecnologias desenvolvidas a partir destas normas para aplicações nesse tipo de subestação.

1.1 JUSTIFICATIVA

Este trabalho foi elaborado para verificação da norma IEC 61850 no que diz respeito aos equipamentos instalados em subestações digital, preparação dos equipamentos para receber esta norma e interoperabilidade entre eles.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar tecnologias existentes e novas para aplicação em uma subestação completamente digitalizada, apresentando também seus benefícios para a economia.

É proposto também apresentar ao público não somente a norma que rege a utilização e implantação de uma subestação digital, mas como foco principal os equipamentos que fazem parte desse sistema.

1.2.2 Objetivo específico

- Mostrar os equipamentos para utilização em uma subestação digital;
- Demonstrar uma aplicação real destes equipamentos em uma subestação 100% digital;
- Apresentar uma breve ideia da norma IEC61850;
- Apresentar uma relação de custos para uma subestação digital;
- Verificar que uma subestação convencional, pode ser alterada para subestação digitalizada.

1.3 METODOLOGIA DO TRABALHO

Este trabalho tem como principal foco a pesquisa de novos equipamentos e equipamentos existentes para aplicação em uma subestação digital. Todo o trabalho está voltado para geração de conhecimento aos ouvintes.

Para este trabalho foi utilizado o tipo de pesquisa exploratória que proporciona um maior aprendizado sobre o tema principal do assunto pesquisado.

Como será utilizado o tipo de pesquisa exploratória, podemos constatar que o trabalho tem cunho bibliográfico, pesquisa documental, tendo em vista uma aplicação real sendo assim um estudo de caso.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho limita-se a uma pesquisa e demonstração de um estudo de caso, para aplicação de equipamentos em uma subestação digital. Com isso o leitor terá um conhecimento breve na norma que rege a implantação de uma subestação digital e um conhecimento maior nos equipamentos que podem ser utilizados para esse fim.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi desenvolvido focando em cinco capítulos principais, no primeiro são apresentadas a introdução, justificativa e objetivos do trabalho.

O segundo capítulo aborda a fundamentação teórica, onde serão discutidos os conceitos envolvidos para execução desse trabalho.

No Terceiro capítulo, serão apresentadas as tecnologias envolvidas para realização do problema principal.

No quarto capítulo será feito um estudo de caso real, demonstrando uma aplicação dos itens vistos no terceiro ponto.

Por fim o quinto capítulo, onde são apresentadas as conclusões obtidas com esse trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

Para resolução do problema proposto, subestação digital e suas tecnologias, precisa-se passar por alguns itens antes, para mostrar um pouco sobre a norma que rege esta tecnologia e demais protocolos de comunicação que são utilizados nesse tipo de sistema.

2.1 SUBESTAÇÃO

Antes de apresentar as aplicações necessárias para uma subestação completamente digital, será apresentado um pouco sobre subestações em um contexto geral, para que serve e como funciona.

De acordo com o site USP – edisciplinas – Subestações elétricas (2017), uma subestação é uma instalação utilizada para transmissão e distribuição de energia, controlando fluxos de potência e níveis de tensão necessários para chegar até o usuário final.

Dividimos hoje as subestações em alguns tipos: distribuição, transmissão, elevadoras, manobra, abaixadoras e conversoras. Elas possuem poucas diferenças, trabalham com o fluxo de potência e diversos níveis de tensão.

De acordo com Fiorine da Silva, Daniel (2014) as subestação de transmissão normalmente são subestações de grande porte, pois recebem um nível de tensão muito maior, em torno de 500 kV, advindo das usinas geradoras. Nessas subestações temos toda a parte de proteção, controle, supervisão para que não ocorra nenhum tipo de erro durante a passagem da energia por essa subestação. Seu porte tem como principal influenciador os níveis de tensão que a mesma trabalha. Caso seja uma subestação transmissão próximo a uma cidade ela terá diversos níveis de tensão para distribuir para outras subestações distribuidoras, caso seja uma subestação de passagem o seu porte será bem reduzido.

Já para uma subestação de distribuição, de acordo com site Unesp Engenharia elétrica (2017), normalmente são de menor porte, pelo motivo que são próximos a cidades e possuem uma variação nos níveis de tensão menor. Caso haja uma subestação de distribuição com um número grande de variações nos níveis de tensão ela ainda vai continuar sendo de pequeno porte, pois o tamanho dos trafos abaixadores utilizados para reduzir o nível de tensão é muito menor comparado aos de grandes níveis.

De acordo com Duailibe, Paulo (1999), uma subestação seccionadora, de manobra ou de chaveamento, é aquela que interliga um mesmo nível de tensão, não realizando a transformação deste nível. Com isso este tipo de subestação possibilita o seccionamento de circuitos que possuem um comprimento maior, porem pode ser seccionado em trechos menores.

De acordo com ABB (2016), subestação digital foi um conceito bastante complicado durante muitos anos, pois se acreditava que a utilização de apenas alguns componentes eletrônicos já se encaixava em uma subestação digital, figura 1.

Hoje pode-se verificar que o conceito de uma subestação digital é diferente, é o conceito de termos tudo interligado, todos os equipamentos em uma rede inteligente.

Figura 1 – Subestação

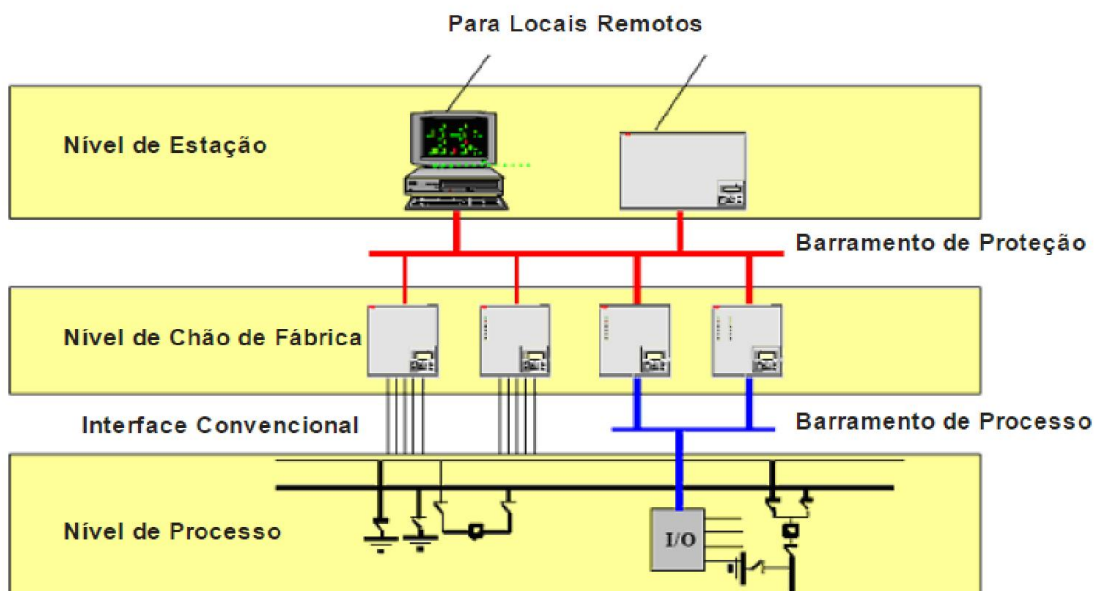


Fonte: ABB (2016).

2.1.1 Níveis de Comunicação entre equipamentos dentro de subestações

Conforme Nogueira, Bruno Vasquez (2007), uma subestação possui diversos níveis de comunicação conforme conseguimos verificar na figura 2.

Figura 2 – Níveis de subestações



Fonte: Nogueira, Bruno Vasquez (2007)

Para um correto conhecimento do assunto serão apresentadas algumas partes principais, o foco principal será a parte de barramentos. Tem-se dois tipos em uma subestação comum, o barramento de proteção e o barramento de processo.

Cada um desses barramentos possui protocolos específicos e meios físicos específicos para a comunicação entre os equipamentos.

Em um barramento de proteção é onde circulam todas as informações que são decorrentes do sistema de proteção da subestação, principalmente de relés de proteção. Informações como status de atuação e demais para supervisão estão nesse barramento.

Já em um barramento de processo é onde tem-se a comunicação com os equipamentos de pátio, disjuntores, seccionadoras e demais equipamentos.

Pode-se ver esses barramentos na figura 1, os barramentos não são interligados, cada um é independente do outro, caso haja algum problema no meio físico, um sistema não interfere no outro. Nogueira, Bruno Vasquez (2007)

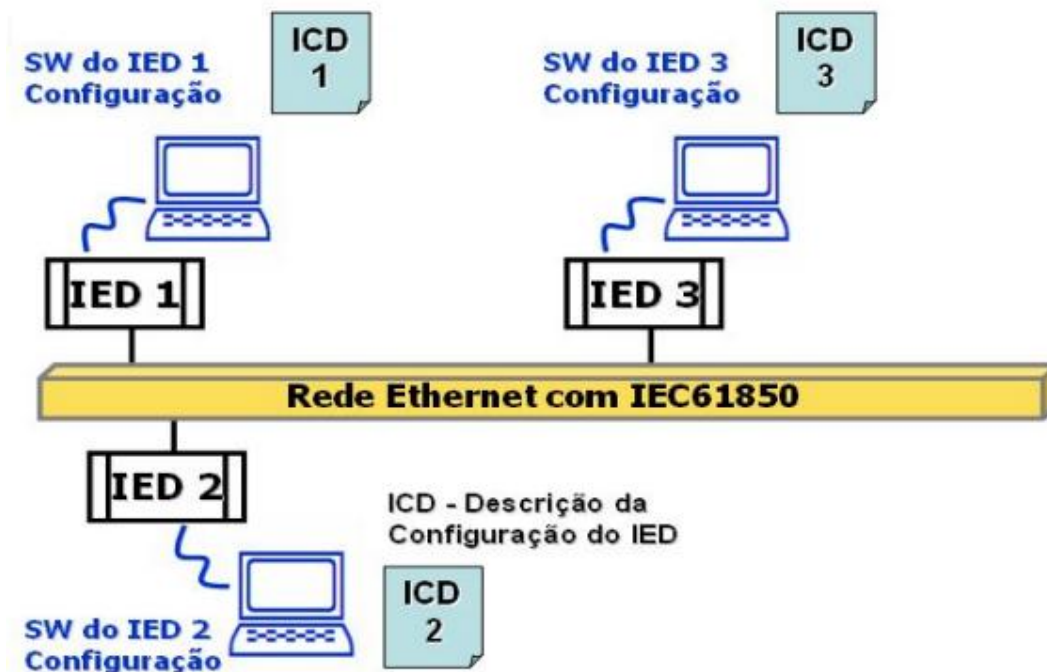
De acordo com Nogueira, Bruno Vasquez (2007), em uma subestação existem muitos protocolos e temos alguns como principais e mais utilizados:

- PROFIBUS
- MODBUS
- DNP
- SNTTP
- IRIG-B

Esses protocolos acima citados são protocolos de comunicação entre equipamentos e protocolos de sincronismo temporal. Cada um desses protocolos utiliza diferentes meios físicos para envio e recebimento de informações, com isso em uma subestação “comum” temos um número grande de tipos de cabos e em grandes quantidades independentemente do tamanho da subestação.

Já para uma subestação digital baseada na norma IEC 61850 temos um único barramento aonde todas as informações necessárias para o funcionamento de uma subestação estão em um único meio físico conforme figura 3.

Figura 3 – Barramento IEC 61850



Nesse único barramento podemos encontrar todos os protocolos de comunicação entre equipamentos normatizados pela IEC 61850, com isso é possível ter uma redução significativa no que se diz ao quantitativo de cabos e também modelos de cabos utilizados.

2.2 IEC 61850

2.2.1 IEC 61850 -Histórico

De acordo com Vasquez (2007), a necessidade do setor energético de repassar algum retorno econômico para seus investidores e sócios é grande, com isso espera-se que o investimento feito por estes seja devolvido como uma brevidade maior do que o já havia sendo repassado.

Com isso veio a necessidade de criação de um protocolo unificado, que conversasse com todos os equipamentos, não necessitando ser da mesma marca, e com isso reduzir o custo de implantação desta subestação. Utilizando um número menor de conversores, cabos e demais acessórios.

Sendo assim em 1995 um determinado órgão conhecido como IEC (*International Electrotechnical Commision*) verificou esta necessidade de unificação de vários protocolos em um. Com isso tivemos a criação do protocolo IEC 61850, que permitia a comunicação entre diversos equipamentos, sendo equipamentos de controle ou proteção.

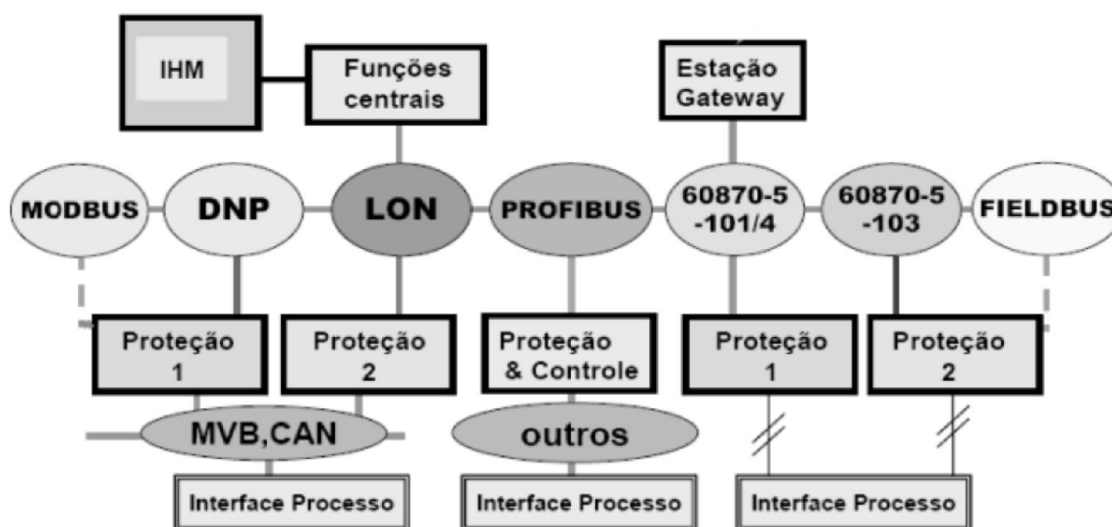
2.2.2 IEC 61850 - Funcionalidade

Conforme Almeida, Ezequiel (2011), não podemos dizer que a norma IEC 61850 veio para resolver todos os problemas de confiabilidade e disponibilidade do sistema de proteção e controle. Porém em uma subestação comum sem a utilização desta norma em 100% de sua infraestrutura, temos uma dificuldade de configuração dos sistemas de comunicação como o sistema SCADA, programa base para um sistema supervisor de uma subestação, com demais equipamentos de diversos fabricantes.

Desta forma como a norma IEC 61850 utiliza das redes Ethernet para sua comunicação de dados, temos uma comunicação muito mais fácil de ser implantada e também muito mais confiável, pois utiliza um número reduzido de cabos e conversores.

Com a figura 4 pode-se demonstrar como é o sistema de comunicação de uma subestação que não utiliza 100% do protocolo IEC 61850. É importante frisar que a norma IEC 61850 utiliza de diversos protocolos, para sincronismo, para comunicação de IEDs, para envio de mensagens digitais. Por isso algumas subestações comuns podem utilizar parte da norma como por exemplo um sistema de sincronismo temporal baseado na norma IEC 61850. A subestação não vai ser 100% digitalizada pois utiliza de uma pequena parte desta norma, porem já pode ser claramente visto a redução no número de cabos e conversores.

Figura 4 – Sistema de protocolos de uma subestação comum



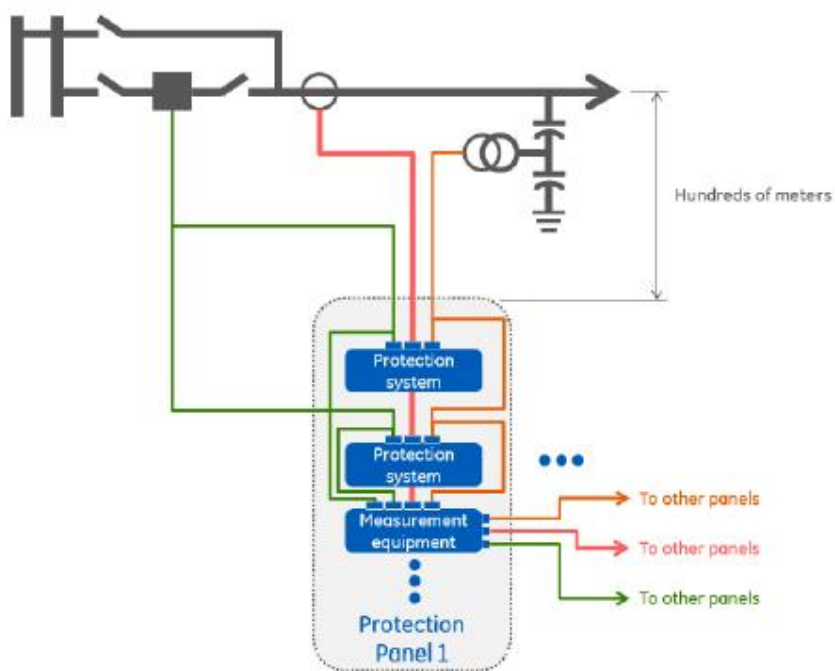
Fonte: Almeida, Ezequiel (2011).

De acordo com GE grid solutions (2017) um dos principais protocolos dentro da IEC 61850 é o Sampled Values, protocolo responsável pelo envio de grandezas analógicas, tensão e corrente, para os demais equipamentos dentro de uma subestação.

Toda a interface entre os equipamentos de potência com os equipamentos de proteção e controle é feita através da rede ethernet utilizando cabos de rede. Todos os sinais de corrente, tensão, sincronismo, medição entre outros são encaminhados na mesma rede, porém cada equipamento receberá apenas o pacote com informações que é necessário para sua operação, através de programações de destinos de envio e recebimento.

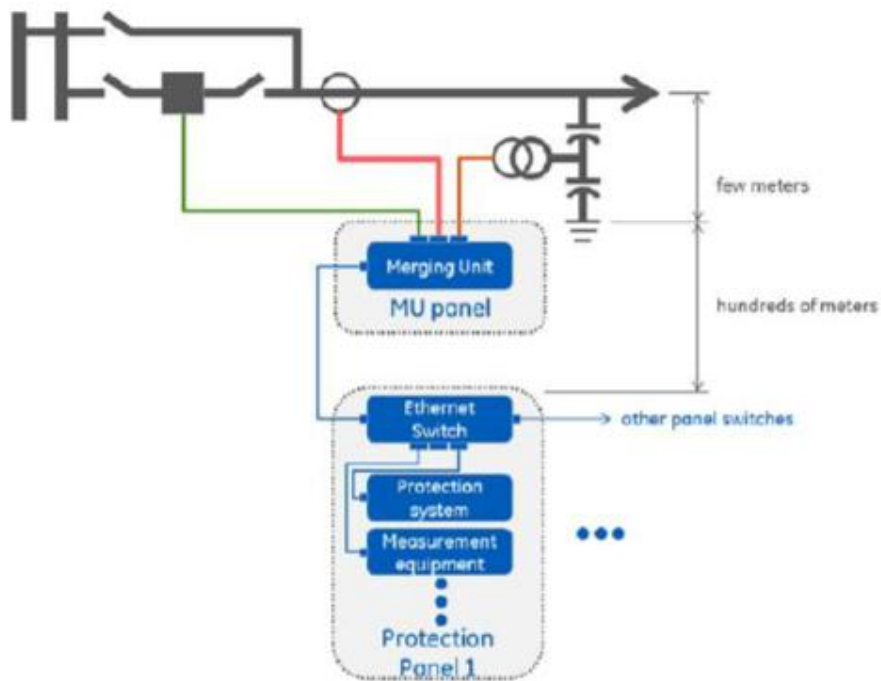
Conforme GE grid solutions (2017), para uma subestação digitalizada pela norma IEC 61850, pode-se utilizar painéis com menores dimensões pois não há necessidade de utilização de cabos de cobre para recebimentos dos sinais de campo, figura 5 e 6.

Figura 5 – Arquitetura de um bay de uma subestação convencional



Fonte: GE grid solutions (2017)

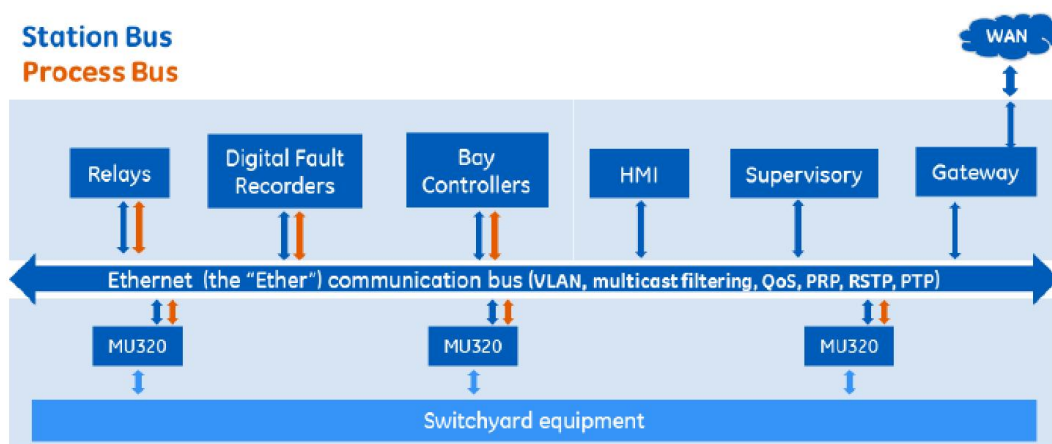
Figura 6 – Arquitetura de um bay em uma subestação digital



Fonte: GE grid solutions (2017)

O sistema de automação pode ser configurado e projetado muito mais rápido pois todas as informações de campo são enviadas normatizadas, figura 7.

Figura 7 – Nível de automação de uma subestação digital



Fonte: GE grid solutions (2017)

2.2.3 IEC 61850 – Vantagens ao utilizar a norma

Como principal item de estudo desse trabalho, a maior vantagem na utilização da norma IEC 61850 é a redução do custo de infraestrutura, podemos dizer que a utilização de cabos e conversores é drasticamente reduzida.

De acordo com Almeida, Ezequiel (2011), a grande vantagem em utilizar a norma é a facilidade em comunicação de todos os IEDs. Como todos os equipamentos utilizados para a implantação em uma subestação digital são nativos 61850, há uma significativa vantagem com a programação desta subestação que será muito mais fácil e rápida. Com isso tem-se uma redução no custo de mão de obra especializada para em cada tipo de protocolo, sendo necessária somente uma pessoa que conhece a norma IEC 61850.

2.2.3.1 IEC 61850 – Vantagens ao utilizar a norma - Interoperabilidade

Afirma-se que uma das maiores vantagens em utilizar a norma é a interoperabilidade que a mesma fornece para os usuários.

Utilizar uma única norma que todos os fabricantes de equipamentos utilizam e poder realizar a configuração de uma forma mais simples e rápida reduz drasticamente o fator mais importante em uma implantação de uma nova subestação, o custo.

De acordo com Nogueira, Bruno Vasquez (2007), interoperabilidade é um dos assuntos mais importantes da norma IEC 61850, pois é um dos principais motivos da norma ser criada, a fácil comunicação entre equipamentos de diferentes fabricantes.

2.2.3.2 IEC 61850 – Papel da norma junto aos fabricantes de equipamentos

Conforme Vicente, Décio (2011), a norma IEC61850 é uma norma recente, que ainda está em grande evolução. Para que essa evolução ocorra de forma correta e de acordo com as necessidades do mercado, os fabricantes devem estar sempre em contato com os órgãos normativos para que essa norma seja sempre atualizada.

2.2.3.3 Guia para engenheiros norma IEC 61850

Conforme GE grid solutions (2017), a norma IEC 61850 possui guia para ajudar na aplicação da norma em uma subestação digital.

Neste guia pode-se verificar os seguintes tópicos:

- Meios físicos para serem utilizados;
- Segregação de mensagens por aplicação;
- Prioridade de mensagens;
- Redundância de redes;
- Sincronismo temporal;

2.3 EQUIPAMENTOS QUE UTILIZAM A NORMA 61850

Como já foi apresentado um pouco da norma que rege a implantação de subestações digitais, IEC 61850, agora serão apresentados os equipamentos que utilizam a norma, fabricantes e facilidades de cada um dos equipamentos.

Grande parte dos equipamentos aqui apresentados podem ser utilizados para uma subestação convencional também, pois hoje em dia os fabricantes utilizam de seus equipamentos existentes e implementam a norma nos mesmos, com isso temos equipamentos que atendem uma subestação nova 100% digital ou um retrofit de uma subestação já instalada.

Tudo isso deve-se ao custo elevado de desenvolvimento destes equipamentos e também um custo elevado de manter duas linhas distintas sendo que a linha que utiliza da norma não é utilizada com tanta frequência.

2.3.1 Equipamentos de proteção

Equipamentos como relés de proteção, figura 8, são indispensáveis em uma subestação pois são eles que protegem o sistema de falhas e também os demais equipamentos de uma subestação como transformadores, TC's, TP's etc. (<https://selinc.com/pt/> - SEL – 2017)

Estes equipamentos de proteção já utilizam protocolos de comunicação padrões como ModBus ou DNP3. Porém com a norma IEC 61850 os equipamentos estão utilizando mensagens do tipo GOOSE e Sample Values. Estas normas estão incluídas na IEC 61850 para normatizar as questões de envio e recebimento de mensagens.

Temos hoje diversos fabricantes de relés de proteção normatizados pela IEC 61850, fabricantes como GE, Alstom, Siemens, Schneider e SEL já possuem e comercializam esses equipamentos.

Figura 8 – Relé de proteção de motor SEL710



Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories (2017)

Conforme exemplo da figura 8, pode-se citar um relé de proteção de motor que tem a possibilidade de operar com o protocolo IEC 61850, porem como ainda não temos 100% das subestações digitalizadas e este é um projeto futuro, esta funcionalidade neste equipamento é opcional, podendo ser adquirida ou não. Nessa aquisição devem ser levado em conta todos os custos de implantação da norma por completa ou somente uma parte como é geralmente visto. Basicamente este relé utiliza da norma para receber e enviar mensagens GOOSE indicando status de disjuntores e demais equipamentos via sinais digitais.

O equipamento que a figura 9 demonstra também é um relé de proteção porem de outro fabricante, Siemens. Fabricante que também utilizada da norma IEC 61850 para melhorar a comunicação de seus dispositivos, facilitando assim a interação deste com demais equipamentos de outros fabricantes.

Figura 9 – Siprotec 5 Siemens



Fonte: Siemens (2017)

2.3.2 Equipamentos de sincronismo

Como em uma subestação comum, os equipamentos de uma subestação digital devem ser sincronizados, para terem uma referência única de tempo. Os equipamentos de sincronismo temporal utilizam de referências vindas de satélites para informar aos equipamentos a real estampa de tempo.

Da mesma forma que os equipamentos de proteção temos diversos fabricantes que já utilizam a norma IEC61850 para normatizar o protocolo utilizado para providenciar a estampa de tempo corretas são eles, Reason Tecnologia, Arbiter, Meinberg entre outros.

O protocolo padrão para sincronismo temporal advindo da IEC 61850 são os protocolos NTP (*Network Time Protocol*), SNTP (*Simple Network Time Protocol*) e o PTP (*Precision Time Protocol*), estes protocolos encaminham suas estampas de tempo através da rede Ethernet.

O Equipamento apresentado na figura 10 é um relógio sincronizado por satélite GPS, o mesmo recebe as estampas de tempo advindas dos satélites e repassa em diversos protocolos entre eles NTP/SNTP/PTP, protocolos utilizados pela norma IEC 61850.

Figura 10 – RT430 Relógio GPS



Fonte: GE Grid Solutions (2017)

2.3.3 Registrador Digital de perturbações

Um registrador digital de perturbações, mais conhecido como RDP ou oscilopertubógrafo, figura 11, é capaz de monitorar todas as grandezas elétricas, tensão e corrente, de uma subestação. Essas grandezas são utilizadas para gerar uma oscilografica que ao ser analisada revela aonde pode ter ocorrido uma falha seja em uma linha, transformador, reator, barramento ou qualquer lugar monitorado pelo mesmo.

Este equipamento é utilizado em subestações convencionais, que não utilizam 100% da norma IEC 61850 e em subestações 100% digitais que atendem a norma por completo.

Figura 11 – Registrador Digital de Perturbações



Fonte: GE Grid Solutions (2017)

2.3.4 Merging Unit

É um dos equipamentos mais importantes em uma subestação digital, o mesmo é capaz de receber todas as grandezas analógicas e digitais de um determinado local e repassar para um protocolo de comunicação exclusivo da IEC 61850 o protocolo Sampled Values, figura 12.

Este protocolo é responsável por levar as informações recebidas por esta merging unit para todos os equipamentos que necessitam destas grandezas para realizar seus cálculos e seu correto funcionamento.

Figura 12 – Merging Unit



Fonte: GE Grid Solutions (2017)

Este equipamento deve ser capaz de se comunicar com os demais equipamentos de uma subestação independentemente de seu fabricante, pois isso o uso do protocolo normatizado Sampled values.

2.3.5 TC – Transformador de corrente óptico

Equipamento primordial dentro de uma subestação, com ele podemos receber informações de corrente dos equipamentos de pátio, figura 13.

De acordo com Uliana, Policarpo (2016), a utilização de instrumentos de medição baseados em canais ópticos traz diversos benefícios para o usuário. Pode-se citar um como o acoplamento do dielétrico dos instrumentos com os equipamentos do pátio.

Como os sinais luminosos enviados pelas fibras ópticas são poucos afetados pelos campos magnéticos, os sinais advindos deste equipamento praticamente não são afetados.

Conforme Uliana, Policarpo (2016), esta tecnologia já é conhecida a muitos anos, porem como o uso equipamentos de medição analógicos tornou-se padrão em subestações, a compatibilidade de um transformador de corrente óptico que envia sinais digitais ficou difícil de ser utilizada.

Entretanto em um a subestação digital que utiliza a norma IEC 61850, este equipamento pode ser facilmente utilizado em suas aplicações.

Figura 13 – Transformador de corrente óptico



Fonte:Poweropticks (2017)

2.4 MIGRAR UMA SUBESTAÇÃO PARA IEC 61850

De acordo com Nogueira, Bruno Vasquez (2007), existem no mercado diversos equipamentos que fazem a transição da norma IEC 61850 para protocolos já utilizados em subestações existentes, não aderentes da norma.

Esses equipamentos facilitam na hora que algum equipamento deve ser trocado. Temos como exemplo um relé de proteção, em uma subestação convencional os sinais digitais dos relés são levados através de cabos elétricos até os demais equipamentos, já na norma IEC 61850 esses sinais são levados pela rede ethernet através do protocolo GOOSE.

Com isso os relés preparados para receber esse protocolo GOOSE também possuem as entradas digitais físicas para que em uma situação de troca de equipamento em uma subestação não digital, o mesmo pode ser utilizado sem a necessidade de troca de todos os equipamentos de proteção. Esta situação é necessária para que o custo da mesma não seja elevado, tornando-se inviável a manutenção de uma subestação.

Este mesmo caso ocorre com todos os equipamentos dentro de uma subestação exceto equipamentos exclusivos para atendimento a norma IEC 61850, como a merging unit.

Conforme Nogueira, Bruno Vasquez (2007), uma subestação convencional pode ser alterada para digital de gradativamente, através dessas trocas de equipamentos decorrentes de manutenções necessárias. Isso só será possível se os equipamentos adquiridos já possuam o atendimento da norma.

A norma IEC 61850 foi elaborada para que haja uma maior integridade nos dados de uma subestação. A utilização de conversores de protocolo faz que essa integridade de dados seja menor do que a prevista em norma, porém isso é um dos pontos que deve ser levado em consideração na hora da conversão para subestação digital.

Outro ponto importante é o investimento na reconfiguração e parametrização dos equipamentos desta subestação, levando-se em consideração que os mesmos já estão configurados e operantes.

Deve ser levado em consideração também o atraso implementado por estes conversores, sendo que alguns pontos da norma não poderão ser 100% utilizados, como por exemplo sincronismo via PTP, a não ser que toda a estrutura seja trocada.

Todos esses pontos acima informados devem ser levados em consideração antes da implementação da norma, na subestação.

2.5 IMPLEMENTAÇÃO DE UMA NOVA SUBESTAÇÃO DIGITAL

A implementação de uma subestação nova 100% digital é muito mais fácil do que o remanejamento de uma existente.

Os equipamentos mostrados nos capítulos anteriores mostram que tem-se 100% dos equipamentos necessários para implementação desta subestação.

De acordo com Almeida, Ezequiel Mendes (2011), a implementação de uma subestação que atende a norma IEC 61850 tem um custo menor do que a convencional, pois utiliza um número menor de cabos e equipamentos como conversores de média e protocolo.

Todos estes custos reduzidos tem um grande impacto no número de subestações em construção, pois tendo um custo menor pode-se ter um número maior de subestações.

Um ponto bem importante e deve ser levado em consideração é a manutenção dessas subestações digitais, como é utilizado um único protocolo principal e todos os

equipamentos são capazes de se comunicar, a manutenção dos mesmos torna-se mais fácil e rápida.

Porém se para uma subestação mista, que utiliza o protocolo em partes, a manutenção torna-se muito mais elevada, pois tem-se diversos fatores que podem ocasionar problemas. Sendo assim essa implantação deve ser muito bem pensada e estudada.

De acordo com Alstom (2015), pode-se verificar no mercado, um grande número de empresas que possuem experiência na elaboração do projeto e execução, de acordo com a norma IEC61850.

Grande parte dessas empresas, fabricantes de equipamentos, já possuem em seu portfólio todos os equipamentos necessários para aplicação da norma em 100% da subestação. Tem-se hoje como referências de mercado as empresas: GE, Alstom, ABB, Siemens entre outras do ramo.

3 ESTUDO DE CASO

Como parte integrante desse trabalho será apresentado um estudo de caso sobre subestações digitais, onde será apresentado um caso onde tem-se uma aplicação de uma subestação 100% digital, onde todos os equipamentos trabalham com o protocolo IEC61850, e também casos aonde apenas um bay da subestação está com essa tecnologia aplicada.

3.1 SUBESTAÇÃO DE GAUVILLE

A subestação de Gauville, figura 14, fica localizada na França, é uma subestação antiga da década de 60, onde eram utilizados equipamentos eletromecânicos para o seu pleno funcionamento. Esta subestação possui nível de tensão de 225/90 kV, podendo ser aplicada a uma subestação de transmissão para distribuição.

Figura 14 – Subestação de Gauville

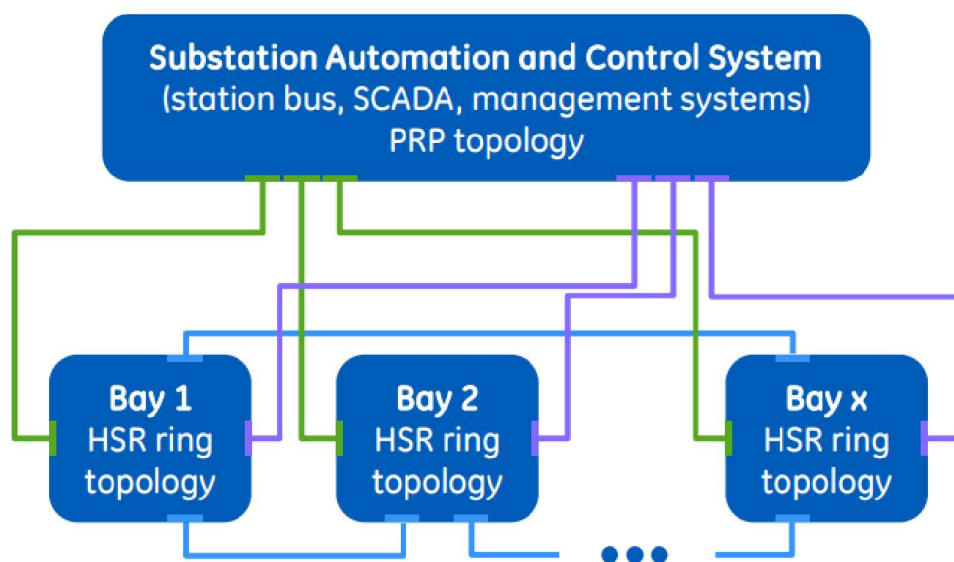


Fonte: GE Grid Solutions (2016)

A GE Grid Solutions em parceria com demais empresas como Schneider, Alcatel entre outras, foram responsáveis pela elaboração do projeto e execução do mesmo.

Por se tratar de um projeto pioneiro no que se diz a uma subestação totalmente integrada a IEC 61850, este projeto destaca-se como um projeto de grande importância para o setor elétrico mundial, tendo em vista que o protocolo IEC 61850 é um protocolo utilizado no mundo inteiro, figura 15.

Figura 15 – Projeto Poste Intelligent



Fonte: GE Grid Solutions (2016)

Um dos grandes pontos da IEC 61850 é a interoperabilidade dos equipamentos independente da marca, o que pode ser verificado nesse projeto, pois diversos fabricantes estavam envolvidos para execução do projeto.

O projeto foi elaborado em 2009 e executado em 2016, logo tem-se um período razoável de tempo, e nesse tempo diversas tecnologias envolvendo a norma foram alteradas, buscando uma melhora na comunicação dos equipamentos.

Nesta subestação houve alguns problemas de comunicação dos equipamentos, porém não por parte dos equipamentos e norma aplicada e sim na configuração da rede de comunicação, pois os profissionais que executavam os serviços eram capacitados somente na norma e não em configuração de redes de comunicação.

recebidos podendo realizar a comparação com os equipamentos que são utilizados hoje, menores e com a necessidade reduzida de cabos.

Na figura 17, pode-se verificar um painel de aquisição de sinais de campo, como tensão e corrente já atualizado para a norma IEC 61850. Neste painel é utilizado o sistema de Merging Units para realizar essa transição do meio analógico para o meio digital via cabo ethernet e protocolo específico de comunicação.

Figura 17 – Painel de aquisição de sinais



Fonte: GE Grid Solutions (2016)

Na figura 18, tem-se os painéis de proteção, todos esses equipamentos de proteção possuem comunicação IEC 61850, utilizando dados advindos das Merging Units e Transformadores de corrente ópticos para realização dos seus cálculos.

Como pode-se verificar na figura 18 mesmos os painéis de uma subestação digital ainda possuem o mesmo tamanho dos painéis convencionais, porém a quantidade de equipamentos que podem ser alocados em cada painel é maior, tendo assim uma redução significativa no quantitativo de painéis.

Figura 18 – Painéis de proteção



Fonte: GE Grid Solutions (2016)

Como já informado anteriormente, na figura 19 temos a aplicação dos TC's de corrente ópticos, onde a informação de corrente advinda dos bays são levadas até os equipamentos que necessitam desta informação via cabo óptico.

Figura 19 – Transformador de Corrente óptico



Fonte: GE Grid Solutions (2016)

3.2 SUBESTAÇÃO DE UBERABA

Este projeto exemplifica o que ocorrerá com mais frequência em subestações existentes que tem a necessidade de troca de equipamentos ou concessionárias de energia dispostas a conhecer esta tecnologia IEC 61850.

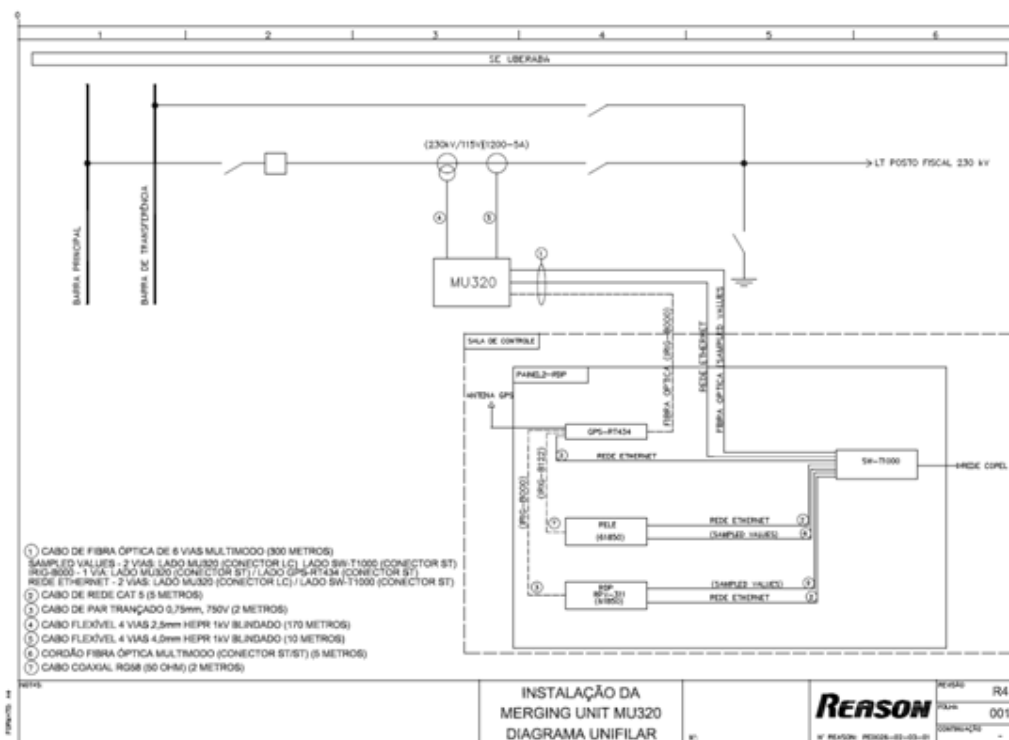
A subestação de Uberaba fica localizada no estado do Paraná, pertence a concessionária COPEL.

Este projeto foi implementado em parceria entre as empresas COPEL, Reason e Alstom Grid, onde foram fornecidos equipamentos por parte da Alstom e Reason para instalação em uma subestação da COPEL.

Diferente do projeto da França, este sistema IEC 61850 foi instalado em segundo plano do sistema já existente na subestação. Sendo assim, o sistema já atuante na subestação se encarrega da atualização de disjuntores e demais sistemas de supervisão, enquanto o sistema IEC

61850 encarrega-se de requisitar dados e demonstrar que também pode ser confiável. Conforme diagrama unifilar, figura 20,

Figura 20 – Unifilar o bay IEC 61850



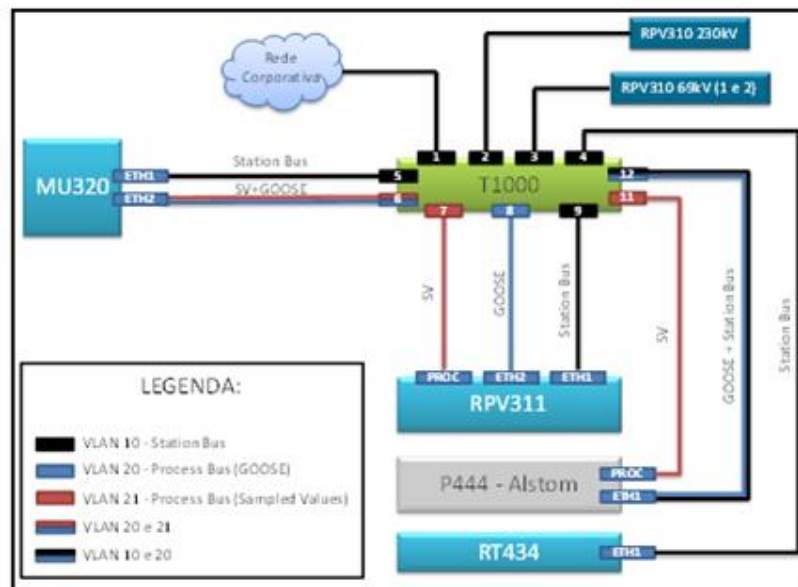
Fonte: Krefta, Gilmar (2014)

Como podemos verificar na figura 21, neste bay IEC 61850 foi utilizado uma Merging Unit para aquisição de dados de corrente e tensão pois esta subestação não possui TCs ópticos.

Com esses dados de corrente e tensão já disponíveis na rede Sampled Values, foi possível implementar os equipamentos de medição e de proteção sem entradas analógicas físicas, pois os dados necessários para cálculos já estão disponíveis via rede ethernet.

Para redução dos cabos advindos do pátio da subestação, a merging unit foi instalada ao lado dos TCs e TPs necessários para medição deste bay. Sendo assim somente uma fibra óptica ethernet foi necessária para levar os dados de pátio até a sala de controle, conforme figura 22.

Figura 21 – Arquitetura de comunicação



Fonte: Krefta, Gilmar (2014)

Figura 22 – Painéis de medição



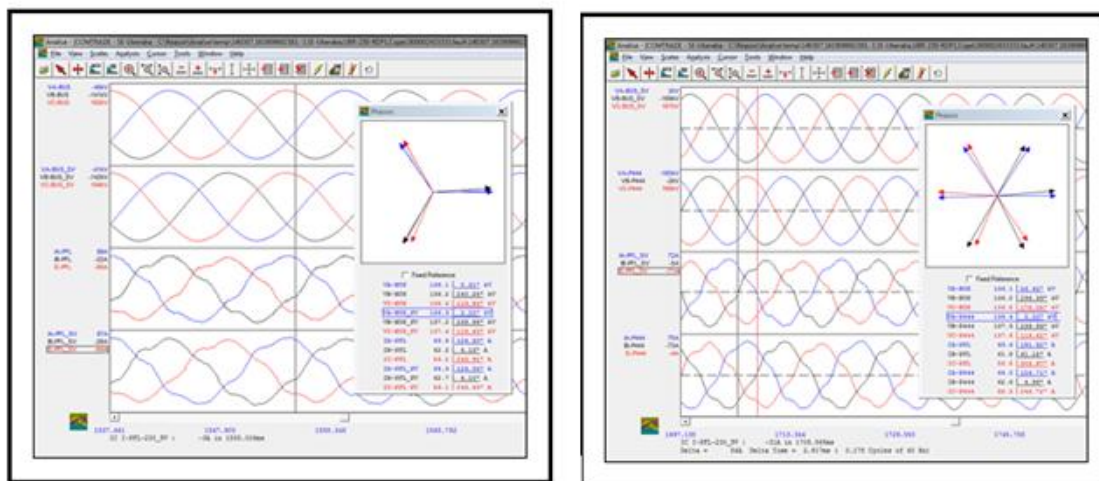
Fonte: Krefta, Gilmar (2014)

Esta instalação foi realizada com um fim específico, a demonstração que um sistema IEC 61850 possui a mesma confiabilidade de um sistema convencional, recebendo cabos diretamente dos TCs e TP's até os equipamentos na sala de controle.

Medições realizadas com o sistema de registrador de perturbações existente na subestação e o sistema de registrador de perturbações instalado no bay IEC 61850 comprovam

que o sistema possui a mesma confiabilidade do sistema convencional apresentando apenas pequenos desvios aceitáveis conforme demonstrado na figura 23.

Figura 23 – Comparação de oscilografias



Fonte: Krefta, Gilmar (2014)

Tendo em vista um sistema confiável já existente e em operação dentro de uma subestação, muitas concessionárias não estão dispostas a verificar esta nova tecnologia, porém testes como o realizado na subestação de Uberaba são importantes para que esta tecnologia seja vista como uma tecnologia confiável.

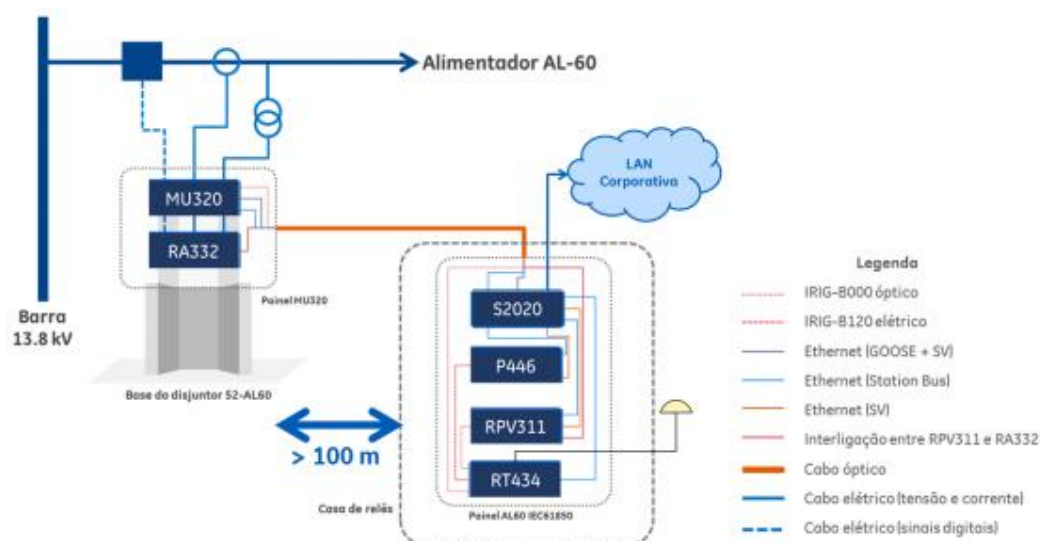
3.3 SUBESTAÇÃO DE EMBU-GUAÇU

Da mesma forma que apresentado na subestação de Uberaba, a subestação de Embu-Guaçu da concessionária de energia CTEEP, realizou os testes com uma solução IEC 61850 em um bay de alimentador.

O sistema IEC 61850 foi instalado como proteção alternada ao existente na subestação, para comparações de atuação de proteção e geração de oscilografias.

Pode-se ver através da figura 24, que mostra a arquitetura, e da figura 25 que traz o painel de instalação em sua visão real, que os sinais são colhidos em campo e levados até a sala de controle através de um cabo óptico, não havendo a necessidade de passagem de diversos cabos até a sala de controle.

Figura 24 – Arquitetura de instalação



Fonte: Pimentel, Carlos (2016)

Figura 25 – Painel de instalação



Fonte: Pimentel, Carlos (2016)

Da mesma forma que na subestação de Uberaba, na subestação de Embu- Guaçu os resultados foram positivos. Os equipamentos demonstraram uma eficiência igual ou melhor que os equipamentos já instalados em campo.

Um outro ponto bem abordado foi a questão da segurança dos profissionais na manutenção dos equipamentos na sala de controle, como os cabos de tensão e corrente não estão mais sendo levados até essa sala a possibilidade de um curto circuito entre fases, ou qualquer outro problema advindo destes sinais analógicos são reduzidos, pois os mesmos estão sendo entregues através de uma rede IEC 61840 via cabo óptico.

Outro ponto bem abordado neste caso, esta relacionado a taxa de falha de equipamentos eletroeletrônicos.

Todos os equipamentos eletrônicos estão sujeitos a falhas, porem este é um ponto que deve ser abordado com os fabricantes, pois os equipamentos precisam ter o menor índice possível de falhas e perdas para que os custos de manutenção não ultrapassem o normal de uma subestação convencional.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como resultados deste trabalho, pode-se observar que a tecnologia IEC 61850 está em crescimento todos os dias, tanto em tecnologias necessárias para sua implementação quanto ao número de pessoas aptas ao uso desta nova tecnologia.

Pode-se verificar que um sistema IEC 61850 possui a mesma confiabilidade que um sistema convencional, porem como toda tecnologia possui alguns pontos que ainda precisam ser melhorados, como a fragilidade dos equipamentos.

Um ponto bem importante e muito mencionado em trabalhos acadêmicos e artigos de grandes empresas, e a falta de pessoas adequadas para o trabalho junto a norma.

Como tem-se uma norma que abrange um grande número de protocolos, sistemas de comunicações ethernet, VLANS e demais assuntos antes relacionados somente a sistemas de computadores, existe a necessidade de pessoas mais qualificadas para a elaboração dos projetos e também a execução dos projetos, esta última parte é quase mais importante do que a parte de projeto, pois é aonde verifica-se os problemas e informa-se soluções.

Temos também como resultado obtido neste estudo o custo de instalação e de manutenção de uma subestação IEC 61850.

Pode-se verificar que o custo de uma instalação IEC 61850 é menor que de uma subestação convencional, com o número de cabos metálicos reduzidos tem-se uma redução no custo de material e também infraestrutura necessária para passagem de todos esses cabos.

Como esta tecnologia está tornando-se cada dia mais comum em grandes projetos o valor dos equipamentos necessários para instalação também reduziu, pois como já abordado grandes empresas já possuem toda a gama de produtos necessários para uma subestação digital, com isso temos uma concorrência que favorece ao consumidor final, no caso as concessionárias que pagam um valor menor nos equipamentos.

4 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

O mundo está cada vez mais tecnológico, logo a inclusão de sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia neste meio é mais do que necessária.

A elaboração da norma IEC 61850 veio para facilitar essa transição do antigo para com o novo, não alterando alguns sistemas já existentes e confiáveis aos olhos de concessionárias e usuários, mas atualizando o sistema para um futuro próximo.

Pode-se verificar em trabalhos acadêmicos, site de empresas e artigos do ramo, que estamos convergindo para um sistema computacional, onde um único computador receberá informações advindas do pátio e neste mesmo computador podemos ter todo o sistema de proteção, medição e controle de uma subestação.

A norma IEC 61850 já aplica em grande parte dela o mesmo padrão utilizado em sistemas computacionais, onde temos uma rede ethernet aonde se trafega diversas informações e o equipamento que a necessita vai adquiri-la.

Com os estudos de casos demonstrados neste trabalho pode-se verificar que o assunto IEC 61850 vem sido testado e aprovado em grande parte de seus experimentos.

Conseguiu-se verificar como na subestação da França, onde foi trocado todo o sistema convencional para um sistema digital que é possível e confiável o uso da norma para aplicação real.

Um grande ponto e principal motivo deste trabalho, são os equipamentos hoje existentes para aplicação da norma, como conseguimos verificar os grandes fabricantes de equipamentos para o setor tem cada dia mais se especializado nesta norma para que seus equipamentos sejam utilizados em grandes projetos.

Conseguiu-se verificar que também projetos pilotos, como os apresentados nas subestações de Uberaba e Embu-Guaçu são necessários para que o setor veja que os equipamentos realizam o mesmo trabalho do que equipamentos convencionais.

Conclui-se que temos uma gama de fabricantes muito grande e bem especializada na norma IEC 61850, os equipamentos estão mais robustos e confiáveis, as pessoas que estão trabalhando com a norma estão mais bem preparadas em sistemas de comunicações, fator importante nesta norma.

Conclui-se também que a norma, assim como as empresas do setor estão a cada dia buscando novas tecnologias e tecnologias mais confiáveis para o setor elétrico.

A norma está a cada dia se renovando, verificando problemas hoje existentes em subestações convencionais e descobrindo soluções para este novo mundo digital.

4.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma pesquisa na internet pode mostrar um número bem reduzido de trabalhos falando sobre sistemas IEC 61850, sobre equipamentos que utilizam a norma e também estudos de casos.

Porém grande maioria dos trabalhos analisados aborda somente a norma, não mostra equipamentos e soluções, por isso esse trabalho foi em grande parte focado na norma IEC 61850 e os equipamentos necessários a aplicação da mesma.

Para trabalhos futuros deixa-se como ideia uma abordagem dos primeiros equipamentos IEC 61850 até os novos equipamentos existentes em mercado, podendo-se fazer uma previsão futura desses equipamentos.

REFERÊNCIAS

SILVA, Daniel Fiorini da. **SISTEMA DE PROTEÇÃO ATRAVÉS DO USO DE RELÉS MICROPROCESSADOS PARA SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS DE ALTA TENSÃO PADRÃO COPEL**. 2014. 156 f. - Curso de Engenharia Industrial Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ALMEIDA, Ezequiel Mendes de. **NORMA IEC 61850 – NOVO PADRÃO EM AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES**. 2011. 72 f. - Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

NOGUEIRA, Bruno Vasquez. **PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO IEC 61850**. 2007. 48 f. - Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Salvador – Unifacs, Salvador, 2007.

SEL. **Simplify IEC 61850 Applications**. Disponível em: <<https://selinc.com/api/download/140>>. Acesso em: 03 set. 2017.

Siemens. **IEC 61850 communication solutions for SIMATIC**. Disponível em: <https://www.industry.siemens.com/.../IEC_61850_for_SIMATIC>. Acesso em: 03 set. 2017.

GE Grid Solutions. **Linha Reason RT - GE Grid Solutions**. Disponível em: <www.gegridsolutions.com/>. Acesso em: 03 set. 2017.

GE Grid Solutions. **IEC 61850**. Florianópolis, 2016. Apresentação interna GE Grid Solutions sobre IEC 61850

GE Grid Solutions. **Projeto Poste Intelligent**. Florianópolis, 2016. Apresentação interna GE Grid Solutions projeto Poste Intelligent.

Krefta, Gilmar Francisco. **ARQUITETURA, CONFIGURAÇÕES E RESULTADOS PRÁTICOS DA APLICAÇÃO DO PROTOCOLO IEC 61850-9-2 LE, BARRAMENTO DE PROCESSO, NA SUBESTAÇÃO UBERABA 230KV DA COPEL G&T**. 2014. 8 f. - XII STPC SEMINÁRIO TÉCNICO DE PROTEÇÃO E CONTROLE.

Pimentel, Carlos Eduardo Ferreira. **IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE MEDIÇÃO E PROTEÇÃO BASEADO EM BARRAMENTO DE PROCESSO COM MERGING UNIT OPERANDO COMO PROTEÇÃO ALTERNADA EM ALIMENTADOR NA SUBESTAÇÃO EMBU-GUAÇU DA CTEEP** 2016. 11 f. - XIII STPC SEMINÁRIO TÉCNICO DE PROTEÇÃO E CONTROLE.

PowerOpticks Tecnologia. **Transformador Eletrônico de Corrente Óptico**. Disponível em: <www.poweropticks.com/novo/>. Acesso em: 03 set. 2017.

PEREIRA, Allan Cascaes. **Sistema de proteção e automação de subestação de distribuição**. Disponível em: <<http://www.labplan.ufsc.br/congressos/XIII%20Eriac/B5/B5-22.pdf>>. Acesso em: 04 de set de 2017

ANEXOS

ANEXO A – Subestação Projeto Poste Inteligent



Fonte: GE Grid Solutions (2016)



Fonte: GE Grid Solutions (2016)



Fonte: GE Grid Solutions (2016)