

AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES UTILIZANDO O PROTOCOLO IEC61850 PARA ELEVAÇÃO DO NÍVEL DE SEGURANÇA

Israel de Moraes Madalena¹, Jeronimo Goecking de Freitas¹, Marcelo Fabiano Queiroz¹,

Adan Lucio Pereira² Daniel Carletti² Matheus Brunoro Dilem²

1- Acadêmicos do curso de Engenharia Elétrica

2- Professor Multivix – Serra

RESUMO

Acompanhando a modernização dos dispositivos eletrônicos, compactação física e avanço tecnológico na transmissão de dados e sinal de forma digital; a engenharia desenvolveu equipamentos e dispositivos eletrônicos inteligentes IED'S, os quais podem realizar diversas operações simultâneas no sistema elétrico de potência. Assim, o sistema elétrico se beneficiou de equipamentos como relés de proteção mais compactos e com mais recursos; em paralelo, a automação das funções da subestação tornou-se essencial nos dias de hoje. Estes IED's que integram os sistemas de automação da subestação comunicam-se através de regras de sintaxe e semântica e sincronização de comunicação chamadas de protocolos, neste caso à IEC 61850, norma que possibilita a interoperabilidade de equipamentos, padronizando a comunicação entre dispositivos de fabricantes distintos, o que em casos anteriores, era impossível devido aos protocolos proprietários, com parâmetros e modos de trabalho particulares. A interface entre IED's e o sistema SCADA é feita através deste protocolo de comunicação (IEC 61850), que também possibilita monitoramento e controle com outros vários dispositivos em tempo real, sem a necessidade de exposição dos trabalhadores da área, aumentando o nível de segurança das instalações. Surgiu então o termo *smart grid* (rede elétrica inteligente), que em resumo é o termo que representa a aplicação desta evolução tecnológica entre IED's e sistema da informação, direcionado ao controle e automação do sistema elétrico de potência (SEP), comunicando sensores instalados nas linhas da rede de energia elétrica e um sistema de comunicação seguro, com ampla cobertura de diversos dispositivos e automação dos ativos.

Palavras-Chave: IEC 61850, Subestação, IED'S, SCADA, Smart Grid.

INTRODUÇÃO

As subestações elétricas desempenham um papel crucial no controle, adequação e distribuição da demanda de energia elétrica para os clientes. Esses sistemas são equipados com dispositivos de alta potência que garantem que os níveis de tensão e corrente permaneçam dentro dos parâmetros exigidos pelos consumidores. Além disso, as subestações incorporam sistemas de controle e proteção que asseguram a segurança dos equipamentos, instalações e pessoas envolvidas. No entanto, subestações mais antigas, que operam com tecnologias obsoletas, apresentam limitações significativas em termos de controle, monitoramento e proteção (Brown, 2008; Grigsby, 2012).

A Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) é uma organização global de padronização que abrange tecnologias elétricas, eletrônicas e afins. Desde a sua

fundação em 1906, em Genebra, Suíça, a IEC tem colaborado com a Organização Internacional para Padronização (ISO) na elaboração de normas que refletem o consenso dos especialistas da área, atendendo às necessidades das principais partes interessadas em nível mundial (IEC, 2020). As normas internacionais da IEC definem diretrizes para a instalação e segurança de sistemas elétricos, sendo adotadas globalmente para garantir a interoperabilidade e a segurança dos sistemas elétricos.

Com os avanços tecnológicos, tornou-se possível o controle da energia desde a sua geração, passando pela transmissão até o consumo final. Entre os diversos padrões e protocolos desenvolvidos pela IEC, destaca-se o protocolo IEC 61850, especificamente projetado para a automação de subestações elétricas. Este protocolo desempenha um papel fundamental na padronização das informações trocadas entre dispositivos, além de possibilitar a interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes, o que é crucial para a modernização e eficiência das subestações (Mackiewicz, 2006; Brand, 2011).

1.1. JUSTIFICATIVA

Com o aumento contínuo da demanda por energia, as subestações elétricas mais antigas apresentam riscos elevados durante as manobras operacionais, devido ao uso de tecnologias ultrapassadas e fortemente mecanizadas (Grigsby, 2012). As primeiras arquiteturas de automação de subestações ofereciam apenas funcionalidades básicas, limitadas pelas restrições técnicas das tecnologias de rede então disponíveis, o que comprometia a eficiência e a segurança do sistema de energia (Mackiewicz, 2006).

O avanço das tecnologias de rede, como Ethernet, TCP/IP, e redes de alta velocidade, possibilitou a automação completa do sistema de energia em subestações, permitindo uma integração mais eficaz e segura. Essas inovações tecnológicas têm proporcionado servidores de alto desempenho e comunicação eficiente a longas distâncias, transformando a forma como as subestações operam (IEC, 2020).

Segundo Guimarães (2018), a crescente demanda por equipamentos que combinam alta eficiência com menor custo tem impulsionado os fornecedores a desenvolverem produtos cada vez mais sofisticados. Essa diversidade tecnológica, no entanto, reforça a necessidade de padrões que garantam a interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes, bem como a integração com sistemas SCADA

(Supervisory Control and Data Acquisition), essenciais para o monitoramento e controle das subestações (Brand, 2011).

A modernização das subestações, incluindo a elevação dos níveis de proteção e automação, depende do uso dessas novas tecnologias, como redes de alta convergência e dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs). O grande desafio enfrentado pelas empresas do setor é atualizar as subestações antigas, cujo custo de substituição de equipamentos desatualizados é elevado (Brown, 2008). Entretanto, a modernização é essencial para garantir a segurança, eficiência e continuidade do fornecimento de energia.

1.2. DELIMITAÇÃO DO TEMA

A IEC como uma organização internacional de padronização possui diversos protocolos e normas dentro da sua área de atuação. Este estudo irá abordar os conceitos de subestações e área de aplicação da norma específica que é denominada IEC 61850, bem como o padrão utilizado e como um dispositivo pode ser configurado.

1.3. PROBLEMA DA PESQUISA

Há um desafio de se automatizar uma subestação com equipamentos antigos utilizando a norma IEC 61850 e os IEDs atuais. Porém, é conhecido que esta ação é de extrema importância visto o aumento da demanda de energia, a segurança das pessoas e instalações, bem como a redução de custos na implantação, além da otimização do processo e redução de indisponibilidades. Este trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade da automatização de subestações antigas e a utilização do protocolo IEC 61850 para tal.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo Geral

Com o avanço da tecnologia e a diversificação de dispositivos inteligentes, o presente trabalho tem o objetivo de analisar automatização do setor elétrico utilizando o protocolo IEC 61850.

1.4.2. Objetivos Específicos

O trabalho visa determinar o que pode ser automatizado em uma subestação de energia elétrica. Além disso, visa evidenciar a necessidade do protocolo IEC 61850 para a interoperabilidade dos dispositivos eletrônicos do setor elétrico. Outro objetivo é analisar o protocolo e esclarecer a importância do mesmo para o desenvolvimento da área de Engenharia Elétrica.

2. METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido abordando o setor elétrico e a aplicação da norma IEC 61850, bem dentro da área de Engenharia Elétrica. Com isso, a pesquisa será aplicada, descritiva e o problema será abordado de forma qualitativa.

Pretende-se desenvolver o estudo com base na pesquisa bibliográfica, documental e levantamento de campo. Além disso, pretende-se aplicar o trabalho na automação de uma subestação elétrica. Os dados serão obtidos através da pesquisa bibliográfica de trabalhos já feitos na área, bem como o acervo da própria IEC no site original da instituição.

Outras formas de obtenção de conhecimento é a troca de informações com profissionais da área e a utilização de softwares que aplicam o protocolo, como os disponibilizados pelos fabricantes dos dispositivos elétricos.

3. SUBESTAÇÕES

3.1. Subestação de Energia Elétrica

Uma subestação é uma instalação elétrica de alta potência, contendo equipamentos para transmissão e distribuição de energia elétrica, além de equipamentos de proteção e controle. Funciona como ponto de controle e transferência em um sistema de transmissão de energia elétrica, direcionando e controlando o fluxo energético, transformando os níveis de tensão e funcionando como pontos de entrega para consumidores industriais e residenciais (MARQUES, 2016).

PEREIRA (2007) disse que as subestações que constituem os sistemas de transmissão de energia elétrica são projetadas, sob o aspecto construtivo, com dois setores principais: pátio de manobras, onde se situam os equipamentos de alta tensão, e sala de controle, onde se localizam os Sistemas de Supervisão, Proteção e Controle da subestação. SOUZA (2008) complementa informando que são compostas por conjunto de elementos, com funções específicas no sistema elétrica, denominados vãos (*bays*) que permitem a composição da subestação em módulos. As subestações de distribuição, usualmente são compostas pelos seguintes vãos: entrada de linha (EDL); saída de linha (SDL); barramento de alta (B-AT) e média (B-MT) tensão; vão de transformação (TF); banco de capacitor ou vão de regulação (BC) e saída de alimentador (AL) (SOUZA, 2008).

As saídas de uma subestação de distribuição se destinam a uma sala de painéis cuja potência e nível de tensão são menores que a entrada da subestação e distribuem energia para a rede distribuição, disponibilizando para os clientes ou sendo ponto de alimentação para outra subestação.

Segundo SOUZA (2008) são funções de uma subestação: monitoração de status dos equipamentos, medição, proteção de linha, transformadores, barra, reator, supervisão das proteções, religamento automático, localização de falhas, telecomandos, proteção de falha de disjuntor, intertravamentos, monitoração de sobrecarga nos transformadores, controle de tensão, fluxo de reativos, sincronização, monitoração de alarmes, registro de eventos, oscilografia, interface com os centros de operação de distribuição.

Além dos disjuntores e transformadores, estão presentes nas subestações as chaves seccionadoras cuja função é interromper ou permitir o fluxo de energia, retificadores para alimentação em corrente contínua dos relés e controladores, transformadores de corrente (TC) e tensão (TP) utilizados nos circuitos de proteção e medição, banco de capacitores, reguladores de tensão, filtros de harmônicos, relés de proteção, controladores e sistemas de supervisão.

3.2. Tecnologia para subestação

As subestações de construções antigas, anteriores a 2003, eram projetadas com relés mecânicos os quais cada unidade fazia um tipo de proteção (sobrecarga, sobretensão, falta a terra, curto-circuito), sendo necessários vários equipamentos por linha de alimentação. As subestações também eram operadas manualmente, sendo necessário a exposição das pessoas a elevados potenciais de tensão. Segundo IGARASHI (2008), as subestações do passado utilizavam dispositivos puramente analógicos e simples ligações elétricas que enviavam as informações de comandos para outros instrumentos.

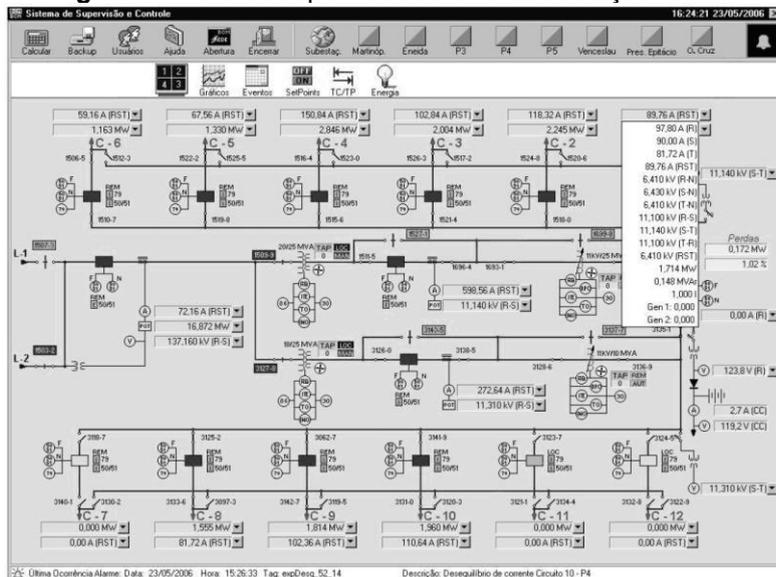
Atualmente, o controle e monitoramento das subestações são feitos utilizando os sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), o qual utilizam softwares para monitorar variáveis e dispositivos de controle, além de permitir o envio de comandos. Estes sistemas permitem a comunicação com os dispositivos inteligentes (IEDs), os quais podem realizar diversos tipos de proteção simultaneamente. A interface dos IEDs e o sistema SCADA é feita através dos protocolos de comunicação (IEC 61850, por exemplo), além de possibilitar a interface com vários dispositivos que implementem o mesmo protocolo ou algum outro que o SCADA reconheça.

Além da interface e controle que podem ser implementados entre o sistema SCADA, estes permitem o monitoramento em tempo real e o controle das instalações, sem a necessidade de exposição dos trabalhadores da área, aumentando o nível de segurança das instalações. A Figura 1 exibe uma tela do supervisor de uma subestação real, onde pode-se acompanhar os níveis de tensão, atuação de proteção, a saúde dos equipamentos, gráficos comparativos, efetuar ajustes no set point das variáveis de processo, dar comandos em disjuntores, chaves e taps de transformadores.

A Figura 2 mostra um dispositivo eletrônico inteligente, que a vantagem de possibilitar a digitalização de subestações, além de: maior precisão nas medidas, maior rapidez de operação, maior número de funções (de proteção) integradas, maior flexibilidade de faixas de ajuste de proteção, menor

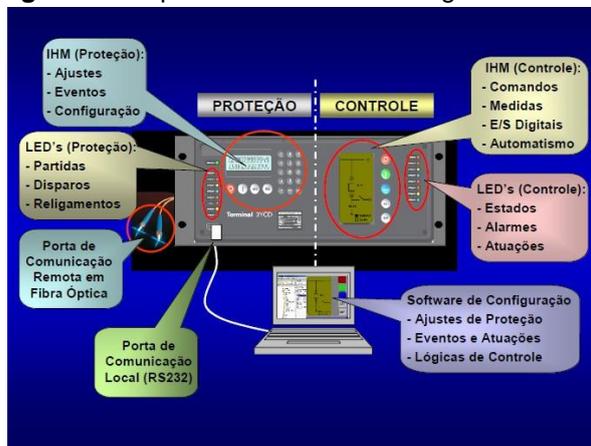
necessidade de manutenção, maior confiabilidade, mais informações disponibilizadas e maior capacidade de comunicação (PEREIRA, 2007).

Figura 1 – Tela de supervisão de uma Subestação real



Fonte: SOUZA, 2008

Figura 2 - Dispositivo Eletrônico Inteligente - IED



Fonte: PEREIRA, 2007

4. IEC 61850 E SMART GRIDS

4.1. Conceitos iniciais

O IEC 61850 é um padrão internacional que define protocolos de comunicação para os IEDs (dispositivos eletrônicos inteligentes), utilizados em subestações elétricas. Este padrão define os modelos de dados para o

mapeamento em diversos protocolos, como o MMS (*Manufacturing Message Specification*), GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*) e SMV (*Sampled Measured Values*).

Este protocolo pode ser utilizado em redes TCP/IP de alta velocidade. Um dos principais objetivos desta norma é garantir a interoperabilidade entre IEDs de diferentes fabricantes, permitindo uso e a troca irrestrita de dados a fim de que sejam realizadas suas funcionalidades dedicadas individuais (RIBEIRO, 2016). Por interoperabilidade entende-se a habilidade de dois ou mais IEDs de um mesmo fabricante, ou de fabricantes diferentes, de trocar informações e usar estas informações para uma correta cooperação (RIBEIRO, 2016).

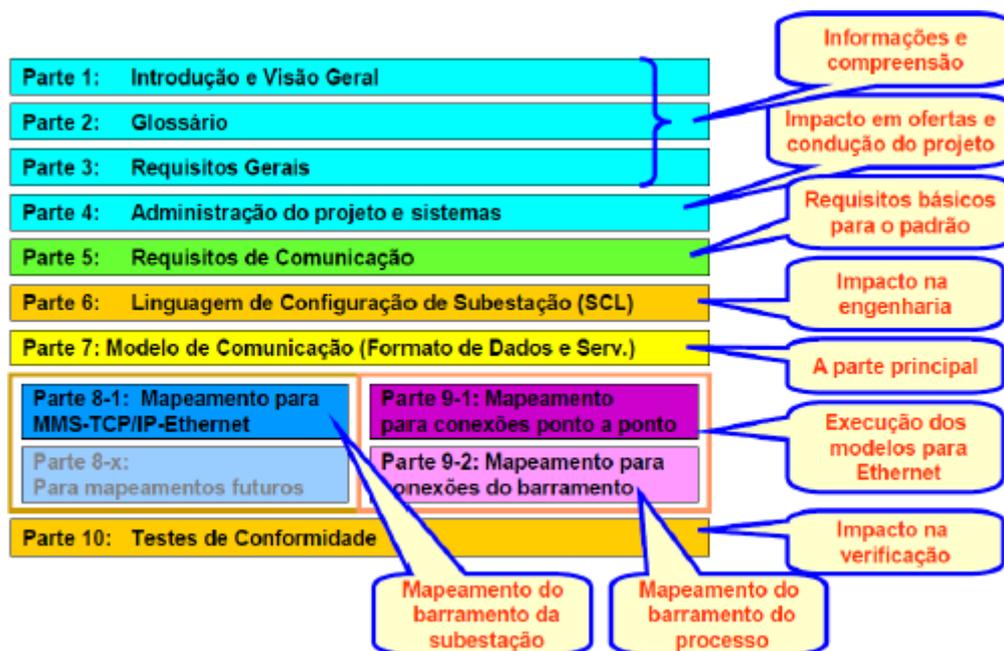
GUIMARÃES (2018) diz que a padronização do tipo de comunicação entre equipamentos de uma subestação, através de padrões abertos e não proprietários. A modernização e automação das subestações visam sistemas de rápida operação e de baixo custo para implantação, comissionamento e readaptações futuras, e que proporcione a integração dos equipamentos das subestações.

4.2. Divisões da norma

A norma se divide em 10 partes, passando pelos conceitos iniciais, aplicação nos projetos e sistemas, o padrão de comunicação e linguagem de configuração, o mapeamento dos barramentos e termina na parte 10 que trata dos testes de conformidade. A Figura 3 mostra as divisões da norma.

A norma é importante do ponto de vista da padronização e do surgimento de novos dispositivos voltados para subestações (IEDs). Garantindo o modelo de dados de objetos da norma IEC 61850, qualquer IED consegue se comunicar com outro, independente do fabricante ou ano de fabricação.

Figura 3 - Divisões da Norma IEC 61850



Fonte: RIBEIRO, 2016

4.3. Mensagens GOOSE

Mensagens GOOSE pertence a uma comunicação horizontal e faz parte do contexto de automação de subestações, sendo prevista na IEC 61850. Através destas mensagens é possível trocar informações entre os IEDs e garantir a funcionalidade de algumas lógicas de proteção e controle. As mensagens apresentam características de comunicação ponto-a-ponto em alta velocidade, não sendo feita a confirmação de chegada da mensagem, a qual é retransmitida utilizando o serviço SCSM (*Specific Communication Service Mapping*) (LACERDA, 2012).

RIBEIRO (2016) fala que na rede IEC61850 podem trafegar as mensagens GOOSE (comunicação horizontal) entre os diferentes IEDs, que podem ser de diferentes fabricantes. Nesta mesma rede, podem trafegar as mensagens verticais, ou seja, as mensagens que partem dos IEDs e seguem em direção à estação de controle, cuja principal finalidade é a supervisão e controle da subestação através da IHM disponibilizada a um operador.

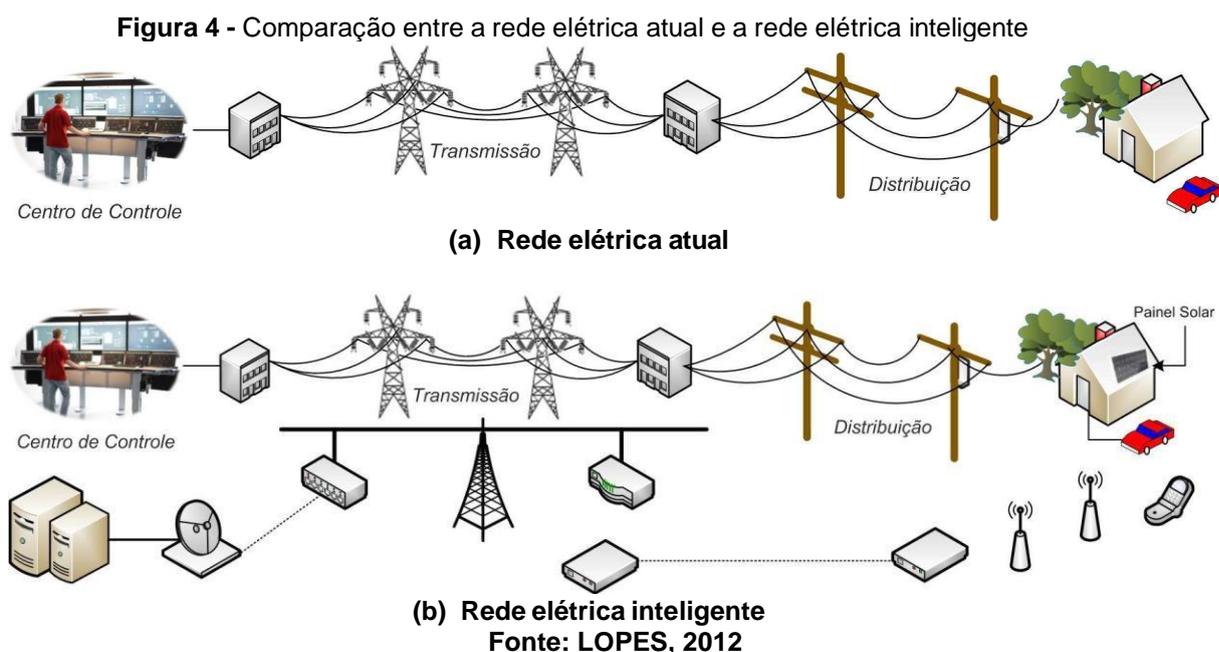
4.4. Smart Grids

A expressão *Smart Grid* deve ser considerada mais um conceito do que a própria tecnologia ou equipamento, pois traz consigo uma ideia de utilização

da tecnologia e a comunicação na rede elétrica (FALCÃO, 2009). Desta forma, a expressão utilizada possui o objetivo de unificar os sistemas tecnológicos existentes para disponibilizar a informação nos locais corretos e no momento exato para a tomada de decisão, com o objetivo de otimizar o suprimento de energia e minimizar os prejuízos.

Para LOPES (2012), a *smart grid* permite que sejam instalados medidores inteligentes, cuja finalidade é evitar fraudes e permitir a comunicação entre a concessionária e o consumidor, viabilizando a administração de oferta e consumo com autonomia. Neste contexto, a utilização dos IEDs contribui para um maior controle de todo o setor.

A Figura 4 (a) mostra a configuração de uma rede elétrica atual, onde não há dispositivos inteligentes para controlar individualmente a distribuição e transmissão de energia. Já a Figura 4 (b) mostra a configuração de uma *smart grid* ou rede elétrica inteligente, onde há equipamentos responsáveis pelo controle do que está sendo transmitido até os consumidores e o consumo, possibilitando diversos tipos de interação e acompanhamento, seja por celular, computador ou outro dispositivo. Nesta configuração, o consumidor pode ser um gerador de energia e com isso fornece ao sistema aquele excesso de energia gerado.



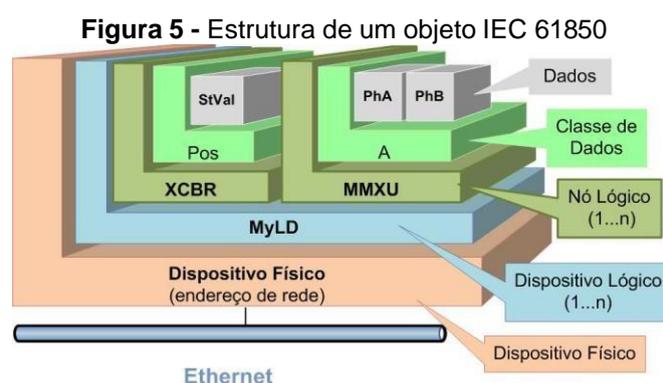
4.5. Estrutura de um objeto IEC 61850

A norma IEC 61850 cobre todos os níveis de comunicação de um sistema de subestações, não sendo apenas mais um protocolo, mas

forneendo métodos de desenvolvimento das melhores práticas de engenharia de proteção, integração, controle, monitoração e padronização (DOS SANTOS, 2007). Esta norma utiliza uma linguagem de configuração de subestação a SCL (*Substation Configuration Language*), que implementa arquivos XML (*Extensible Markup Language*).

Desta forma, a norma determina através da criação da linguagem SCL, um padrão para a comunicação e desenvolvimento das aplicações, direcionando a todos os fabricantes desde que seja respeitado esta implementação. Com isso, não há a preocupação em como o fabricante implementou a função, já que está dentro do padrão exigido, facilitando a interoperabilidade.

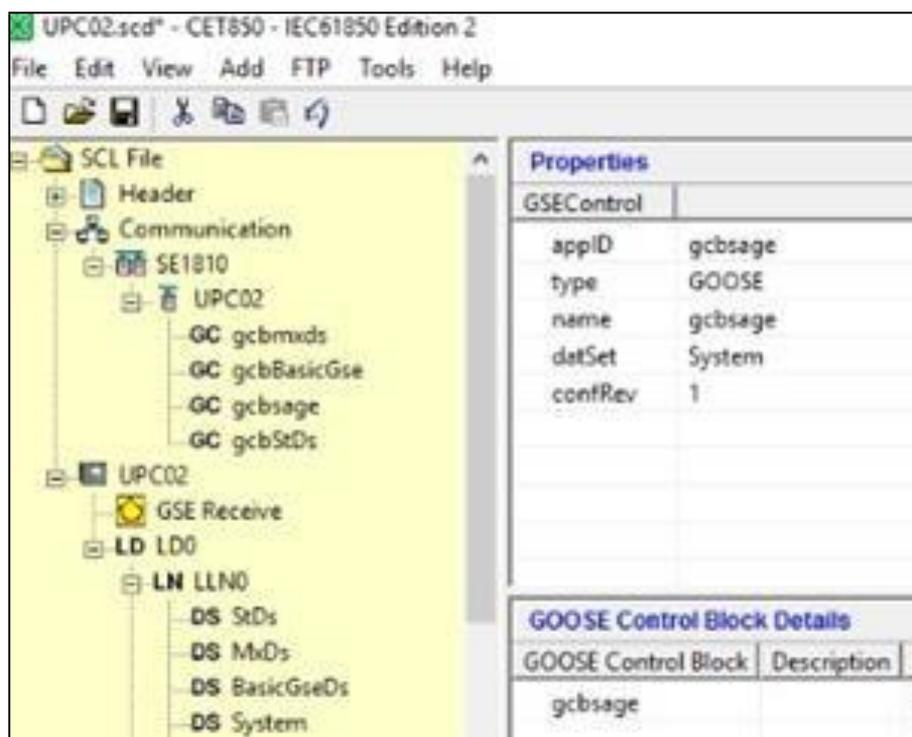
O modelo de dados da norma IEC 61850 utiliza todos os conceitos de uma programação orientada a objetos, como: classe, instâncias de uma classe, atributos, métodos, herança e polimorfismo. A Figura 5 exibe a estrutura de um objeto implementado pela norma, a qual cada dispositivo físico (IED) possui um endereço de rede (IP na rede ethernet). A este dispositivo físico é associado um ou mais nomes, passando a ser direcionado como um dispositivo lógico. E cada dispositivo lógico possui um ou vários nós lógicos. A classe de dados do objeto mostra qual é a grandeza que está sendo representada e os dados (atributos) mostram a parcela de cada grandeza que está sendo transmitida.



Fonte: LOPES, 2012

A Figura 6 mostra a configuração de um IED na subestação que foi automatizada, mostrando a implementação dos conceitos de programação orientada a objetos, assim como as interfaces entre os objetos, classes e atributos.

Figura 6 - Configuração de um IED



Fonte – produzido pelo autor

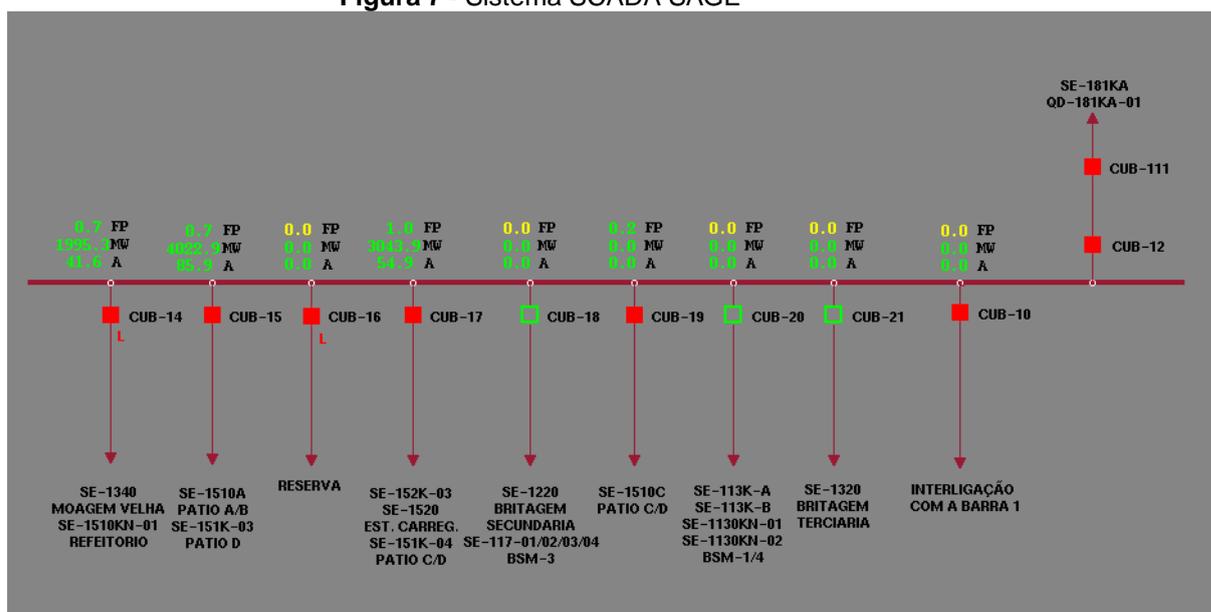
4.6. Sistema de Supervisão SAGE

O Sistema SCADA SAGE (Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia), criado pela Eletrobrás CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) é um dos sistemas disponíveis para a implementação da comunicação com os IEDs utilizando o protocolo IEC 61850. Este possui drivers de comunicação que possibilita a interface com os dispositivos, seja para leitura ou comando. A Figura 7 mostra uma tela de controle/comando do SAGE que foi elaborada para este trabalho.

Além da configuração do IED para comunicação no protocolo IEC 61850, têm-se que implementar toda a lógica de controle e intertravamento no sistema SCADA, garantindo níveis lógicos de proteção e evitando que comandos involuntários sejam dados.

A continuidade do trabalho irá abranger mais a norma IEC 61850 e a sua utilização para a implementação de redes inteligentes no contexto das subestações. Percebe-se que a padronização facilita a interoperabilidade entre os dispositivos inteligentes e diminui a complexidade de uma implementação.

Figura 7 - Sistema SCADA SAGE



Fonte: produzido pelo autor

O avanço tecnológico e a criação do IED (dispositivo inteligente) possibilitam o aumento do nível de segurança e monitoramento das subestações. Utilizando estes dispositivos e a programação SCL que implementam, é possível automatizar uma subestação com mais de 30 anos de construção, que possui disjuntores e equipamentos antigos, mas que após sofrerem uma adequação na sua parte de comando, podem ser monitorados e comandados remotamente.

A automatização de subestações proporciona uma elevação no nível de controle e segurança. No passado e em algumas situações presentes, as pessoas se expõem a manobras que envolvem um alto potencial de energia por falta de um sistema que auxilie na eliminação desta condição. Por isso que o avanço da tecnologia, a padronização e a implementação de sistemas automatizados contribuem não só para aumentar o nível de controle, mas para retirar as pessoas da zona de risco.

5. ARQUITETURA DO SISTEMA DIGITAL

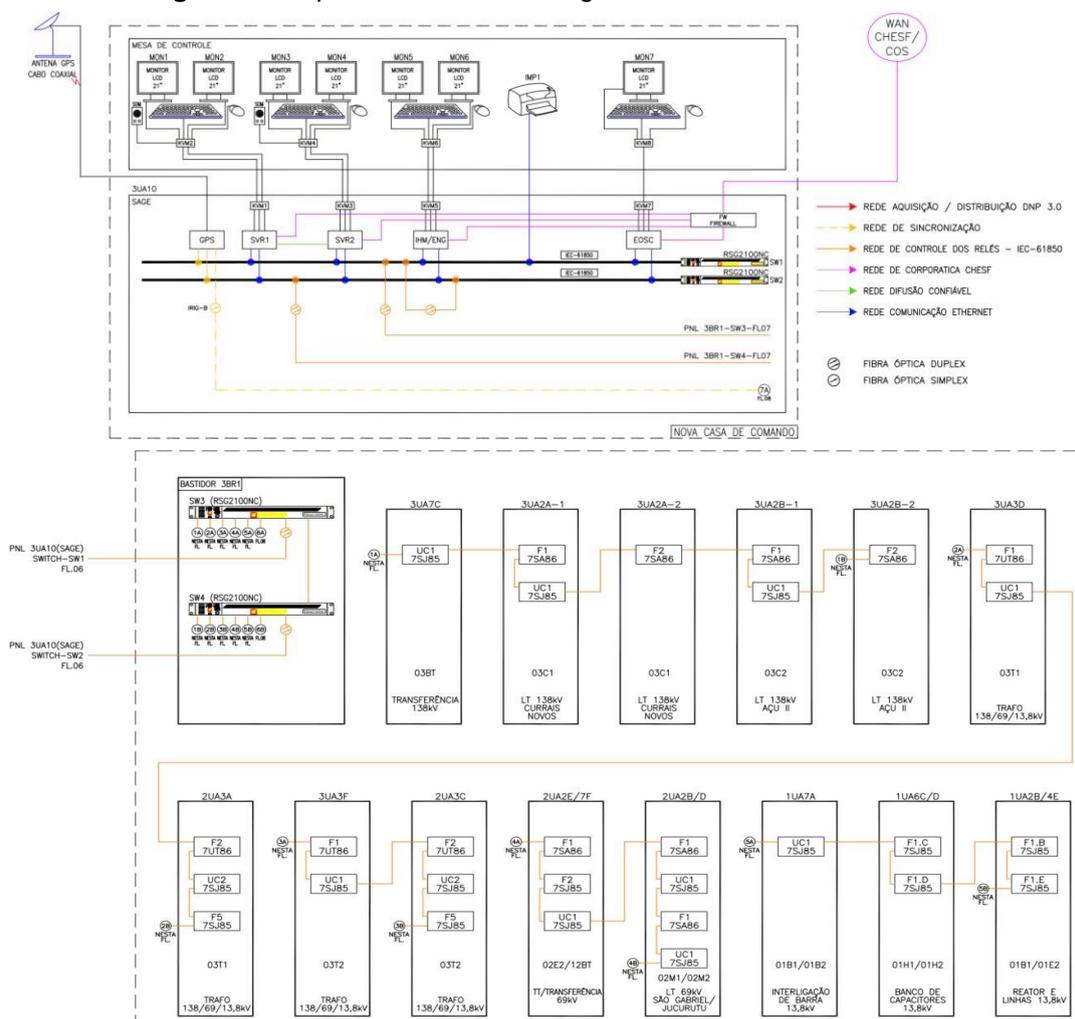
Sistemas de Automação de subestações (SAS) tem relação direta com o conceito de arquitetura digital, no qual são compostos por registradores de perturbação (RDP), relés de proteção, gateways, medidores, servidores, IHMs etc. As trocas de informações entre os relés, sistema de SCADA e outros agentes como o Operador Nacional do Sistema (ONS) exigem confiabilidade,

flexibilidade e estabilidade e são requisitos fundamentais no projeto de arquitetura do sistema digital.

Segundo PEREIRA (2005), numa arquitetura digital os dados são aquisitados de forma redundante, gerando duas informações independentes onde tem sua consistência verificada dando origem a somente um conjunto de informações.

A figura 8 mostra o esquema de arquitetura do sistema digital do SPCS (Sistema de Proteção, Controle e Supervisão) da Subestação Santana do Matos II – 138/69/13,8kV, localizada no Estado do Rio Grande do Norte, pertencente a concessionária de energia Chesf (Companhia Hidroelétrica do São Francisco). Esta subestação entrou em operação em 2019, conforme figura 9, proporcionando uma maior disponibilidade energética, confiabilidade ao sistema evitando corte de cargas e permitindo crescimento no sertão potiguar.

Figura 8 – Arquitetura do Sistema digital da SE Santana do Matos II



Fonte: produzido pelo autor

Figura 9 – SE Santana do Matos II

Fonte: produzido pelo autor

O sistema de arquitetura padrão da Chesf é composto pelos IEDs conectados por uma rede operacional que são supervisionados e controlados pelos servidores SAGE (IHMs). O sistema é composto por switches, GPS, Firewall, servidores, estação de oscilografia. Os IEDs são conectados aos switches que são responsáveis pelo roteamento da informação. Esta conexão é feita em anel para que haja redundância e evitar que o sistema fique fora de operação caso algum ponto do sistema apresente defeito, mantendo a continuidade da informação. O protocolo padrão de comunicação é o IEC 61850, onde os IEDs conectados em rede LAN (*Local Area Network*) IEEE 802.3 (Ethernet) trocam informações através de mensagens GOOSE (ARAÚJO, 2017). Já a referência de tempo utilizado pelo relógio interno dos IEDs é sincronizada pelo GPS.

Os IEDs utilizados para controle e proteção na subestação foram os relés da Siemens, linha Siprotec 5, conforme mostrado na figura 9. São dispositivos configuráveis individualmente, com módulos de comunicação baseados no protocolo IEC 61850 com compatibilidade e flexibilidade adaptativa. Possui arquitetura aberta e escalonável para integração de TI, funções inteligentes para operação em rede, análise de faltas e qualidade de energia, maiores resistência às tensões, interferências eletromagnéticas, alterações climáticas e estresse mecânico bem como rotinas de segurança de acordo com norma IEC 62351 para protocolos IP tal como para a norma IEC 61850. Uma das grandes vantagens deste IED é o sistema de modularidade de hardware, onde é possível obter um dispositivo ajustado à necessidade.

Figura 9 – Relés Siprotec 5 da Siemens

Fonte: produzido pelo autor

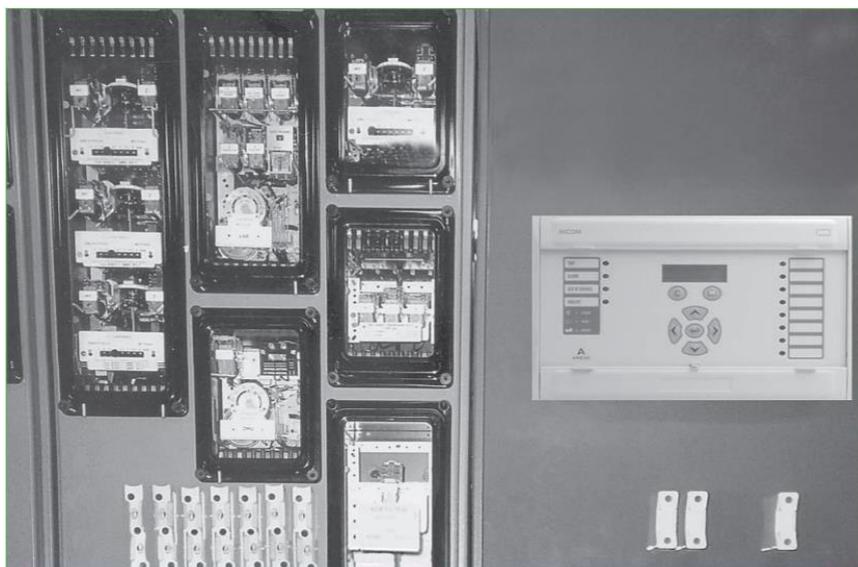
6. RELÉS ELETROMECÂNICOS X RELÉS INTELIGENTES

Os relés eletromecânicos existem há mais de 100 anos no sistema elétrico de potência (RUSH, 2011, p.98), porém nos dias de hoje não possuem aplicação, mas ainda podem ser encontrados em subestações onde a digitalização ainda não foi realizada. Uma das grandes desvantagens deste relé é seu tamanho físico, pois pode ocupar um painel inteiro para proteção de apenas um *Bay* da subestação.

Já os relés inteligentes (IEDs) desempenham mais que funções de proteção; são equipamentos multifuncionais com grande capacidade de processamento, *autodiagnose*, interoperabilidade, possuem integração com softwares, podem ser programados para operar com lógicas internas, tem sincronização de tempo utilizando GPS externo e podem se comunicar com outros relés através de protocolos de rede (COUTINHO, 2015). Além disso, possui tamanho bem reduzidos em relação aos relés eletromecânicos, ocupando menos espaço nos painéis de proteção. A figura 10 mostra painéis de proteção de um alimentador de alta tensão; do lado esquerdo um painel com proteção eletromecânica e do lado direito um painel montado com relé IED, que além possuir várias funções de proteção, também possui medições de corrente, tensão, potência ativa e reativa.

Os IEDs por ocuparem menos espaço e terem mais funções incorporadas um mesmo painel pode ter a proteção de vários *Bays*, conforme pode ser visto na figura 10. Assim sendo, a casa de comando pode ser mais compacta, pois há uma redução significativa no número de painéis.

Figura 9 – Relés eletromecânicos x Relés inteligentes



Fonte: RUSH, 2011, p.102

Figura 10 – Painéis com proteções de vários Bays



Fonte: Do próprio autor

7. CONCLUSÃO

Ao final deste trabalho pode-se concluir que a implantação do protocolo IEC 61850 trouxe muitos benefícios na automatização das subestações, como no aumento da velocidade de comunicação e na interoperabilidade entre IEDs. Desta forma fica garantido a troca de informações entre dois IEDs mesmo que eles sejam de diferentes fabricantes. Isso permite uma modernização e

automatização de subestações com baixo custo de implantação, comissionamento e readaptações futuras.

O modelo IEC 61850 também é importante na implantação de sistemas *Smart Grid* através de redes inteligentes, pois este protocolo cobre todos os níveis de comunicação. E segundo apresentado neste trabalho, a criação dos IEDs resultou no aumento no nível de segurança das subestações através da automatização, bem como na segurança pessoal das equipes de operação e manutenção, retirando-os da zona de risco.

Outro ponto importante destacado, foi na questão da arquitetura digital, em que os relés, o sistema SCADA e o Operador Nacional do Sistema trocam informações através de mensagens GOOSE com confiabilidade, flexibilidade e estabilidade através do protocolo IEC 61850.

Pode-se concluir também que a digitalização de uma subestação traz como benefícios dentre outros a redução na construção de casas de comando, pois como os relés inteligentes ocupam menos espaços nos painéis do que os relés eletromecânicos, menos painéis de proteção e controle são necessários.

Para trabalhos futuros, sugere-se o estudo na utilização de equipamentos conhecidos como *Merging Units*, que utilizam o barramento de processos IEC 61850-9-2, que tem como umas das vantagens interligar os equipamentos do pátio com os IEDs na casa de comando através de cabos de fibra óptica e não mais através de cabos de cobre. Esse sistema pode gerar uma economia significativa de custos com material, bem como na redução do tempo de comissionamento de uma subestação.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Pablo de Mascarenhas; SILVA, Fábio André; COUTINHO, Paulo Ricardo L. de N. **Segurança Cibernética na Chesf: Uma Análise de Vulnerabilidades na Arquitetura de Rede, Supervisório Sage e Principais Protocolos utilizados no Sistema de Proteção e Controle das Subestações.** XXIV SNTPEE Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2017.

AFTAB, Mohd Asim et al. IEC 61850 based substation automation system: A survey. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 120, p. 106008, 2020.

Brand, K. P. (2011). **Substation Automation Handbook**. Utility Automation Consulting.

Brown, R. E. (2008). **Electric power distribution reliability**. CRC press.

CARDOSO, Pedro Emanuel Pinto. **Avaliação do impacto em comissionamento e testes de funcionamento numa subestação com protocolo CEI 61850**. 2013.

DE FRANÇA AGUIAR, Giancarlo et al. Implementation New Logical Nodes-BIOP and ELTR Based on IEC 61850. **IEEE Latin America Transactions**, v. 18, n. 08, p. 1390-1397, 2020.

COUTINHO, Samuel Paulo. **Evolução dos Relés de Proteção**. 2015. Disponível em: < <https://industriaautomatica.wordpress.com/2015/09/24/evolucao-dos-reles-de-protecao/>>. Acessado em: 25/10/2020.

DOS SANTOS, LUIS FABIANO; PEREIRA, MAURÍCIO. **Uma abordagem prática do IEC61850 para automação, proteção e controle de subestações**. 2007.

FALCÃO, Djalma M. Smart grids e microrredes: o futuro já é presente. **Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos**, v. 8, 2009.

FERRARI, Vinicius; LOPES, Yona. Dynamic Adaptive Protection based on IEC 61850.

Grigsby, L. L. (2012). **Electric Power Substations Engineering**. CRC Press.

IEC. (2020). **International Electrotechnical Commission** [online].

Guimarães, A. P. (2018). **Automação de Subestações Elétricas: Um enfoque prático**. Ed. do Autor.

IEC. (2020). **International Electrotechnical Commission** [online]. Available at: <https://www.iec.ch/about/mission>

IEEE Latin America Transactions, v. 18, n. 07, p. 1302-1310, 2020.

GUIMARÃES, Luiza Sernizon. **Aplicação da norma IEC 61850 em redes de proteção e controle**. 2018.

IGARASHI, Gilberto. **Estudo da IEC 61850 e o seu impacto no sistema de automação de subestações**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

IGLESIAS-URKIA, Markel et al. Integrating Electrical Substations Within the IoT Using IEC 61850, CoAP, and CBOR. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 6, n. 5, p. 7437-7449, 2019.

LACERDA, S. L. M.; CARNEIRO, G. H. R. **Dispositivos eletrônicos inteligentes (ied's) e a norma iec61850: União que está dando certo**. 2012. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45048013/1639-5731-1-PB.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1518652336&Signature=b%2BfNvvhsr9%2BUS6BqAmqxjtZTcl0%3D&response-contentdisposition=inline%3B%20filename%3DDISPOSITIVOS_ELETRONICOS_INTELIGENTES_IE.pdf>. Acessado em: 20/05/2020.

LOPES, Yona et al. **Smart grid e iec 61850: Novos desafios em redes e telecomunicações para o sistema elétrico**. XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, 2012.

Mackiewicz, R. (2006). **Overview of IEC 61850 and benefits**. *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 8.

MAGRO, Micaela Caserza et al. Safety related functions with IEC 61850 GOOSE messaging. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 104, p. 515-523, 2019.

MARQUES, Luis Gustavo Perpetuo Costa et al. **Estudo e Implementação do Protocolo PRP em Sistemas Embarcados Relacionados ao Ambiente IEC 61850**. 2016.

PEREIRA, Allan Cascaes. **Integração dos Sistemas de Proteção, Controle e Automação de Subestações e Usinas – Estado da Arte e Tendências**. 2005. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PEREIRA, Roberto Martins; SPRITZER, Ilda Maria de Paiva Almeida. **Automação e digitalização em subestações de energia elétrica: um estudo de caso**. *Revista Gestão Industrial*, v. 3, n. 4, 2007.

RIBEIRO, Luiz Gustavo. **Lógica fuzzy aplicados ao registro de alarmes e eventos em subestações no padrão IEC 61850**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

RUSH, Peter. **Proteção e automação de redes: conceito e aplicação**. São Paulo: Blucher: Schneider, 2011. 521p.

SOUZA, Fabiano Alves de. **Detecção de faltas em sistemas de distribuição de energia elétrica usando dispositivos programáveis**. 2008.