

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Alberto Ferreira de Carvalho

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO DE SUBESTAÇÕES

Betim
2022

ALBERTO FERREIRA DE CARVALHO

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO DE SUBESTAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Virgil Del Duca Almeida

Betim

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

C331d Carvalho, Alberto Ferreira de
Desenvolvimento de sistema supervisorio de subestações /
Alberto Ferreira de Carvalho. – 2022.
54 f.: il.
Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia
de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Minas Gerais Campus Betim, 2022.

Orientação: Prof. Virgil Del Duca Almeida.
1. Supervisorio. 2. Subestações Elétricas. 3. Elipse Power. I.
Título. II. Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Betim,
Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação.

CDU 621.3

Alberto Ferreira de Carvalho

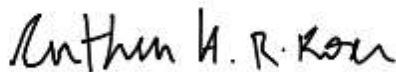
DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO DE SUBESTAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Aprovado em: 12 / 12 / 2022 pela banca examinadora:



Prof.^(a) Virgil Del Duca Almeida (Orientador) – IFMG Campus Betim



Prof.^(a) Arthur Hermanno Rezende Rosa (Coorientador) – IFMG Campus

Betim



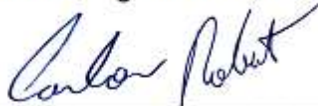
Documento assinado digitalmente

REGINALDO VAGNER FERREIRA

Data: 14/12/2022 12:55:07-0300

Verifique em <https://verificador.ti.br>

Prof.^(a) Reginaldo Wagner Ferreira – IFMG Campus Betim



Eng.^(a) Carlos Roberto Diniz Marques – (Examinador Externo)

Dedico este trabalho a todo o curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, corpo docente e discente, a quem fico lisonjeado por dele ter feito parte.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa, minha família, pais, irmãos, cunhados, aos meus professores e orientadores. Pessoas que fizeram parte da minha vida pessoal e acadêmica e que puderam me ajudar a realizar o meu sonho de me tornar um engenheiro.

RESUMO

Neste trabalho de conclusão, o objetivo é evidenciar o processo de desenvolvimento do *software* aplicativo do sistema de supervisão de subestações elétricas, baseado nas normatizações vigentes, principalmente na Norma IEC-61850, e nas boas práticas adotadas atualmente em Sistemas de Automação de Subestações (SAS). O sistema foi desenvolvido utilizando a plataforma Elipse Power, que é uma ferramenta comercializada pela empresa Elipse Software. O desenvolvimento do *software* pôde contar com a elaboração de bibliotecas customizadas no intuito de oferecer uma formatação personalizada ao aplicativo se afastando do visual padrão de sistema operacional (Windows), cujo a ferramenta possui e oferece como interface de fábrica e que não é usual nas aplicações de projetos industriais. Além disso, com a inserção de objetos e bibliotecas foi possível agregar funcionalidades, tais como, a possibilidade de realização de simulação e testes em um ambiente de plataforma, garantindo a visualização do comportamento do sistema supervisorio sem a necessidade de integração e/ou interconexão com outros equipamentos.

Palavras-chave: Supervisorio, Subestações Elétricas, Norma IEC-61850, Elipse Power.

ABSTRACT

In this conclusion work, the objective is to highlight the development process of the application software for the electrical substation supervision system, based on current regulations, mainly on the IEC-61850 Standard, and on the good practices currently adopted in Substation Automation Systems (SAS). The system was developed using the Elipse Power platform, which is a tool marketed by Elipse Software. The development of the software was able to count on the elaboration of customized libraries in order to offer a personalized formatting to the application, moving away from the standard look of the operating system (Windows), whose tool has and offers as a factory interface and which is not usual in applications of industrial projects. In addition, with the insertion of objects and libraries, it was possible to add functionalities, such as the possibility of performing simulation and tests in a platform environment, ensuring the visualization of the behavior of the supervisory system without the need for integration and/or interconnection with other equipment.

Keywords: Supervision System, Electrical Substations, Standard IEC-61850, Elipse Power.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distâncias no ar que delimitam radialmente as zonas de risco, controlada e livre.	17
Figura 2 – Estrutura de comunicação IEC-61850.....	19
Figura 3 – Diagrama Unifilar simplificado da aplicação (Parte 1).....	22
Figura 4 – Diagrama Unifilar simplificado da aplicação (Parte 2).....	23
Figura 5 – Arquitetura de Automação da aplicação proposta	25
Figura 6 – Configuração do unifilar geral da aplicação no processador topológico...28	
Figura 7 – Interface da Estrutura de Dados da Subestação proposta na aplicação. .29	
Figura 8 – Tela de configuração do xContol “cmdOperBreaker”.....	31
Figura 9 – Tela de configuração do xContol “cmdOperation”.....	32
Figura 10 – Tela de configuração do xContol “cmdBreaker”.....	33
Figura 11 – Tela de configuração do xContol “xclIEDComunic”.....	33
Figura 12 – Tela de configuração do xContol “Menu_Login”.....	34
Figura 13 – Tela Subestação Principal.....	36
Figura 14 – Tela QD-01 (QDMT).....	37
Figura 15 – Tela Arquitetura.....	38
Figura 16 – Tela Alarmes.	39
Figura 17 – Tela Tendências.....	40
Figura 18 – Tela de Eventos.	41
Figura 19 – Estrutura de dados dos objetos “Storage” da aplicação.....	43
Figura 20 – Variáveis analógicas inseridas no “Storage” do QDMT coluna 4A.....	43
Figura 21 – Alteração do perfil operacional do disjuntor.	45
Figura 22 – Interface de ajuste de alarme digital das medidas discretas.	45
Figura 23 – Teste de simulação das animações dos disjuntores e barramentos.	46
Figura 24 – Sinalizações de intertravamentos dos disjuntores.....	47
Figura 25 – Sinalizações de proteção atuada dos disjuntores.	47
Figura 26 – Sinalização de intertravamento do disjuntor impedindo o comando de manobra.....	48
Figura 27 – Simulação dos alarmes analógicos pela tela de ajustes das variáveis. .49	
Figura 28 – Simulação da sinalização de falha de rede dos IEDs.....	50
Figura 29 – Verificação das atuações de simulação na tela de eventos do supervisorio.	51

Figura 30 – Verificação de consultas históricas na tela de tendências do supervisorio.	52
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Raios de delimitação de zonas de risco, controlada e livre.

17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

IFMG - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

NBR - Normas Técnicas Brasileiras

TCC - Trabalho de Conclusão de Curso

IED - *Intelligent Electronic Device* (Dispositivo Eletrônico Inteligente)

TP - Transformador de Potencial

TC - Transformador de Corrente

SAS - Sistema de Automação de Subestação

ZL – Zona Livre

ZC – Zona Controlada

ZR – Zona de Risco

PE – Ponto de Instalação Energizado

SI – Superfície Isolante

QDMT – Quadro de Distribuição de Média Tensão

GOOSE - *Generic Object Oriented Substation Event* (Evento Genérico de Subestação Orientado a Objeto)

MMS - *Manufacturing Message Specification* (Especificação de Mensagem de Fabricação)

CID - *Configured IED Description* (Descrição das configurações do IED)

SV - *Sampled Variables* (Variáveis amostradas)

ISA - *International Society of Automation* (Sociedade Internacional de Automação)

IHM – Interface Homem Máquina

TAG – Etiqueta, Rótulo, Identificação de variável ou equipamento

VBA – *Visual Basic for Applications* (Visual Basic para aplicações)

SGBD – *Software* Gerenciador de Banco de Dados

BD – Banco de Dados

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	NORMALIZAÇÕES VIGENTES.....	16
2.1	Norma Regulamentadora NR-10.....	16
2.2	Norma IEC-61850	18
3	CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO DA SUBESTAÇÃO	20
4	CONFIGURAÇÃO DA ARQUITETURA DE AUTOMAÇÃO DA SUBESTAÇÃO	24
5	PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO	26
6	DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE APLICATIVO	27
6.1	Modelagem elétrica	27
6.2	Estrutura de dados da subestação	28
6.3	Desenvolvimento das bibliotecas customizadas	29
6.3.1	faceplates.lib	30
6.3.2	elétrica.lib	32
6.3.3	arquitetura.lib.....	33
6.3.4	menu.lib.....	33
6.4	Desenvolvimento das telas principais.....	34
6.4.1	Tela Inicial	34
6.4.2	Tela Subestação Principal	35
6.4.3	Tela QD-01 (QDMT)	36
6.4.4	Tela de Arquitetura	37
6.4.5	Tela de Alarmes	38
6.4.6	Tela de Tendências	39
6.4.7	Tela de Eventos.....	40
6.5	Configuração de drivers e variáveis de comunicação	41
6.6	Configuração das interfaces com bancos de dados.....	42
7	TESTES E SIMULAÇÕES	43
7.1	Testes com simulações de estados dos disjuntores e animação dos barramentos.....	44
7.2	Testes de comandos/manobras dos equipamentos em condições normais e sinalização de intertravamentos e proteções atuadas.....	46

7.3	Testes de simulação dos sinais analógicos e animação dos seus estados e sinalização de alarmes	48
7.4	Testes com simulações de sinalizações de estados de comunicação dos equipamentos	49
7.5	Testes de pesquisa de dados e registros de sinalizações dos eventos no historizador.....	50
7.6	Testes de pesquisa de dados das variáveis analógicas no gráfico de tendências.....	51
8	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1 INTRODUÇÃO

Com a digitalização dos processos industriais surgiu a necessidade de se modernizar também os subsistemas que lhes fornecem energia, seja elétrica ou mecânica. No caso do fornecimento de energia elétrica, a evolução digital veio com o surgimento, principalmente, dos relés eletrônicos que são equipamentos capazes de fornecer proteção e controle aos circuitos elétricos de forma autônoma e integrada. Estes equipamentos são comumente conhecidos como IEDs e são instalados nos circuitos elétricos e interligados aos mecanismos de monitoramento, tais como transformadores de corrente e tensão (TCs e TPs), para realizar as medições das grandezas elétricas.

Os relés de proteção ou IEDs são dispositivos cujo objetivo é monitorar as condições do sistema elétrico onde ele está inserido e, ao identificar condições anormais, dar ordem de acionamento para um ou mais disjuntores, retirando de operação os equipamentos ou dispositivos envolvidos com o desequilíbrio (Paulino & Penariol, 2016). Trata-se de dispositivos microprocessados com capacidade de fornecer resposta rápida de acionamento/manobras de equipamentos de potência (disjuntores, seccionadores, contadores, etc.) em caso de falha em circuitos elétricos. Além de fornecer proteção aos circuitos, os IEDs também são responsáveis pelo controle destes equipamentos, tais como manobras, intertravamento e sinalização.

Por se tratar de dispositivos eletrônicos sensíveis a distúrbios eletromagnéticos e com grau de proteção baixo, estes relés normalmente ficam em painéis de controle e proteção localizados na parte interna da subestação, ou nos compartimentos de controle dos painéis de média tensão, ou seja, separados fisicamente dos circuitos de potência que controlam.

Em função desta evolução digital dos IEDs, o sistema de automação de subestações (SAS) também se modernizou interligando os relés via protocolos de comunicação industriais reduzindo a infraestrutura de acondicionamento de cabos elétricos e o tempo de resposta na atuação de proteções elétricas.

Como os sistemas elétricos de potência possuem criticidades operacionais, principalmente em casos de manobras, em função de riscos eventuais de acidentes, sem contar o indicativo em normalizações brasileiras vigentes como a NR-10, surgiu a necessidade de se realizar a operação de forma remota. Desta forma, os sistemas supervisórios de subestações mostram-se eficazes em atender ao critério de operacionalidade remota.

Focado na padronização e elaboração de um sistema supervisor de subestações elétricas, este trabalho de conclusão evidencia o processo de desenvolvimento de um *software* aplicativo de supervisão em um modelo simplificado de subestação permitindo operações remotas e análises qualitativas das grandezas significativas do processo. Todo o sistema de supervisão foi desenvolvido utilizando a plataforma Elipse Power.

2 NORMALIZAÇÕES VIGENTES

Para o SAS existem atualmente duas principais normas que embasam o desenvolvimento de projetos e de implantação de sistemas de supervisão em subestações elétricas. Trata-se da NR-10, que se refere à segurança em instalações e serviços em eletricidade, e da IEC-61850, que indica os princípios de interoperabilidade e intercambialidade entre IEDs.

2.1 Norma Regulamentadora NR-10

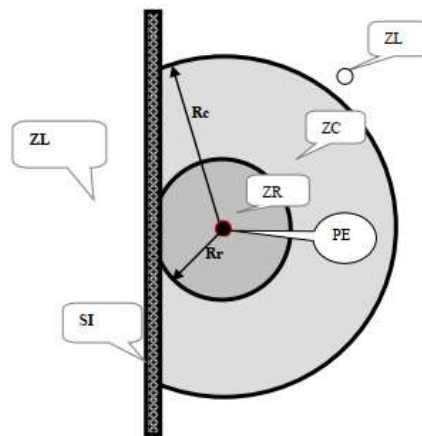
A NR-10 foi lançada por meio de uma portaria do Ministério do Trabalho, portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978. Segundo o próprio texto da norma:

Esta Norma Regulamentadora - NR estabelece os requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade. (MTE - Ministério do Trabalho e Emprego, 29)

Ou seja, esta norma estabelece critérios e medidas de controle para mitigar os riscos nas operacionalidades de sistemas elétricos que passam pela fase de projeto, implantação, manutenção e operação. Estes critérios se estendem desde a exigência de certificações e treinamentos até procedimentos padronizados de atuação dos profissionais envolvidos nas atividades com energia elétrica.

Uma das medidas de controle é a delimitação de zonas para atuação e/ou presença dos profissionais envolvidos em atividades com eletricidade. Estas zonas definem-se como: Zona Livre (ZL), Zona Controlada (ZC) e Zona de Risco (ZR). O que distingue estas áreas são as dimensões físicas em um raio de atuação a partir de um ponto de instalação energizada, conforme ilustra a Figura 1 .

Figura 1 – Distâncias no ar que delimitam radialmente as zonas de risco, controlada e livre.



Fonte: (MTE - Ministério do Trabalho e Emprego, 29).

Estas zonas são delimitadas de acordo com o nível de tensão presente no Ponto de Instalação Energizada (PE). O NR-10 determina um raio de delimitação mínimo, em metros, para definição destas zonas e, conseqüentemente, definir as atuações e movimentações dos trabalhadores nestas áreas. Estes valores de delimitação podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Raios de delimitação de zonas de risco, controlada e livre.

Faixa de tensão Nominal da instalação elétrica em kV	Rr - Raio de delimitação entre zona de risco e controlada em metros	Rc - Raio de delimitação entre zona controlada e livre em metros
<1	0,20	0,70
≥1 e <3	0,22	1,22
≥3 e <6	0,25	1,25
≥6 e <10	0,35	1,35
≥10 e <15	0,38	1,38
≥15 e <20	0,40	1,40
≥20 e <30	0,56	1,56
≥30 e <36	0,58	1,58
≥36 e <45	0,63	1,63
≥45 e <60	0,83	1,83

≥60 e <70	0,90	1,90
≥70 e <110	1,00	2,00
≥110 e <132	1,10	3,10
≥132 e <150	1,20	3,20
≥150 e <220	1,60	3,60
≥220 e <275	1,80	3,80
≥275 e <380	2,50	4,50
≥380 e <480	3,20	5,20
≥480 e <700	5,20	7,20

Fonte: (MTE - Ministério do Trabalho e Emprego, 29).

De acordo com esta normalização e determinação dos valores apresentados em relação às zonas de delimitação, e como forma de mitigar acidentes, foram desenvolvidas ideias de realização das etapas operacionais do sistema elétrico, tais como manobras de disjuntores, de forma remota, aumentando assim a segurança e integridade dos profissionais envolvidos na operação.

2.2 Norma IEC-61850

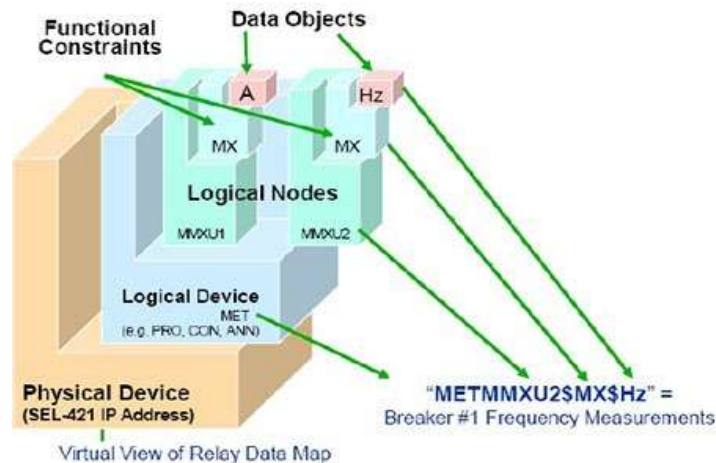
A norma IEC-61850 trata-se de uma padronização internacional de comunicação e integração em automação de subestações (SAS) e tem o objetivo de permitir a interoperabilidade entre IEDs de diferentes fabricantes dentro dos sistemas de energia. Esta normalização surgiu em função da falta de critérios e regras claras para definição dos protocolos de rede, em um cenário que cada fabricante adotava um protocolo de comunicação específico, tornando o seu equipamento “incomunicável”, dificultando a troca de informações entre dispositivos.

Como recurso de mitigação deste problema, eram empregados equipamentos chamados de conversores de protocolo, ou então, nos piores casos, essa troca de informação ocorria fisicamente via cabo de cobre.

A IEC-61850 é um modelo de dados padronizado totalmente focado nos conceitos de orientação a objetos. Para isso, emprega funções e atributos de dispositivos físicos (IEDs). As funções e suas respectivas instâncias formam o que se chama de “Nó Lógico” (*Logical Node*), e um conjunto de nós lógicos forma um “dispositivo lógico” (*Logical Device*), que por sua vez reside internamente em um IED.

Em exemplo, é possível encontrar uma variável de comunicação acessando a estrutura mnemônica, que esta variável pertence, dentro do dispositivo físico, através do endereço de rede deste dispositivo. Estas estruturas são dispostas em camadas que se assemelham às camadas dispostas no padrão Ethernet. Esta estrutura está exemplificada na Figura 2.

Figura 2 – Estrutura de comunicação IEC-61850.



Fonte: (Miranda, 2005)

Desta forma, os dados são disponibilizados em blocos e as variáveis podem ser localizadas seguindo uma estrutura de camadas em que o endereçamento do dado é formado por um padrão de identificação de acordo com a sua posição ordenada. Para que os dispositivos troquem informação entre si, faz-se necessário o emprego de protocolos de comunicação, que são conjuntos de regras pré-estabelecidas que determinam o tipo de mensagens e a ordem de envio destas. Os protocolos mais utilizados são: MMS e GOOSE.

MMS são mensagens do tipo *unicast*, enviadas a um consumidor apenas e que em geral pode ser um supervisor, um cartão IEC-61850 ou, como veremos mais a frente, a um conversor de protocolo (*Relab*). As mensagens MMS (*Manufacturing Message Specification*) são utilizadas para troca de informações como sinais analógicos ou digitais, porém, com o único intuito de indicar o status de um determinado equipamento. Como esse protocolo emprega o modelo TCP, ele acaba não se tornando rápido o suficiente para identificar a atuação de uma proteção, por exemplo, pois sua concepção emprega um mecanismo de tratamento de erros. (Souza, 2021)

Desta forma geral as mensagens do tipo MMS são utilizadas na troca de informações entre os IEDs e os Centros de Controle Operacionais por serem mais lentas e não necessitarem de tanta integridade em função do tipo de informação que carregam.

Ao contrário das mensagens MMS, as mensagens GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*) são mensagens do tipo *multicast* que carregam informações entre os IEDs. São responsáveis apenas pelo tráfego de mensagens que informam sobre a atuação de qualquer proteção ou sinal digital. Tais mensagens conseguem ser mais rápidas do que a própria atuação física de uma proteção de um relé para outro. Tudo isso por empregarem em sua concepção o padrão UDP, ou seja, não faz a verificação para saber se houve erro na transmissão da mensagem. Dessa maneira, mesmo que um pacote de dado seja perdido, outro pacote idêntico ao que foi perdido já foi enviado novamente até que uma confirmação de recebimento seja recebida, garantindo assim o recebimento da mensagem. (Souza, 2021)

Ou seja, as mensagens do tipo GOOSE são utilizadas na troca de informações entre os IEDs e são mais rápidas por não possuírem etapas de verificação e são destinadas às informações que têm maior criticidade como atuação de proteções elétricas.

Conforme estabelecido pela norma IEC-61850, o protocolo utilizado na comunicação entre os dispositivos inteligentes e o sistema de supervisão deve ser o MMS (*Manufacturing Message Specification*). Esta padronização é amplamente difundida entre os softwares de elaboração de supervisórios de subestações elétricas com o auxílio de ferramentas de configuração como os *drivers*. Para ajustes destes *drivers* de comunicação é necessário gerar um arquivo específico no equipamento que estabelecerá a troca de mensagens com o servidor do sistema supervisório, este arquivo é denominado “CID”.

Os arquivos “CID” são compilações das configurações de comunicação realizadas no IEDs. Estas configurações trata-se de ajustes de rede e mapeamento das variáveis disponíveis no equipamento para comunicação. A partir da inserção deste arquivo de configuração, o *driver* pode realizar as interconexões com os relés e estes poderão estabelecer comunicação com o servidor.

Com o surgimento desta normalização de automação de sistemas elétricos, as interfaces e lógicas operacionais de controle e proteção tiveram um avanço relativo à interoperabilidade entre dispositivos e aumento de recursos de comunicação com protocolos mais íntegros e eficientes demandados pela natureza crítica da aplicação.

3 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO DA SUBESTAÇÃO

A aplicação de supervisão é destinada à uma subestação privativa de entrada de alimentação em 138 kV para provisão elétrica de uma planta industrial de extração e beneficiamento de minério, cuja demanda é de 30 (trinta) MVA com um fator de potência de 0,9.

Na configuração do diagrama unifilar existe 01 (um) *bay* de entrada, com 01 (um) disjuntor e 04 (quatro) chaves seccionadoras (entrada, saída, *by-pass* e aterramento). O circuito elétrico do *bay* de entrada é proveniente da linha de transmissão da concessionária de energia elétrica. No circuito unifilar, após a entrada, estão alocados os 02 (dois) *bays* de transformadores abaixadores de tensão (138-13,8kV) contendo 01 (um) disjuntor e 01 (uma) chave seccionadora em cada um destes. A potência de cada transformador é de 25 (vinte e cinco) MVA e são colocados em circuitos paralelos para realizarem a conversão de nível de tensão e, conseqüentemente, alimentação das barras de entradas do painel QDMT.

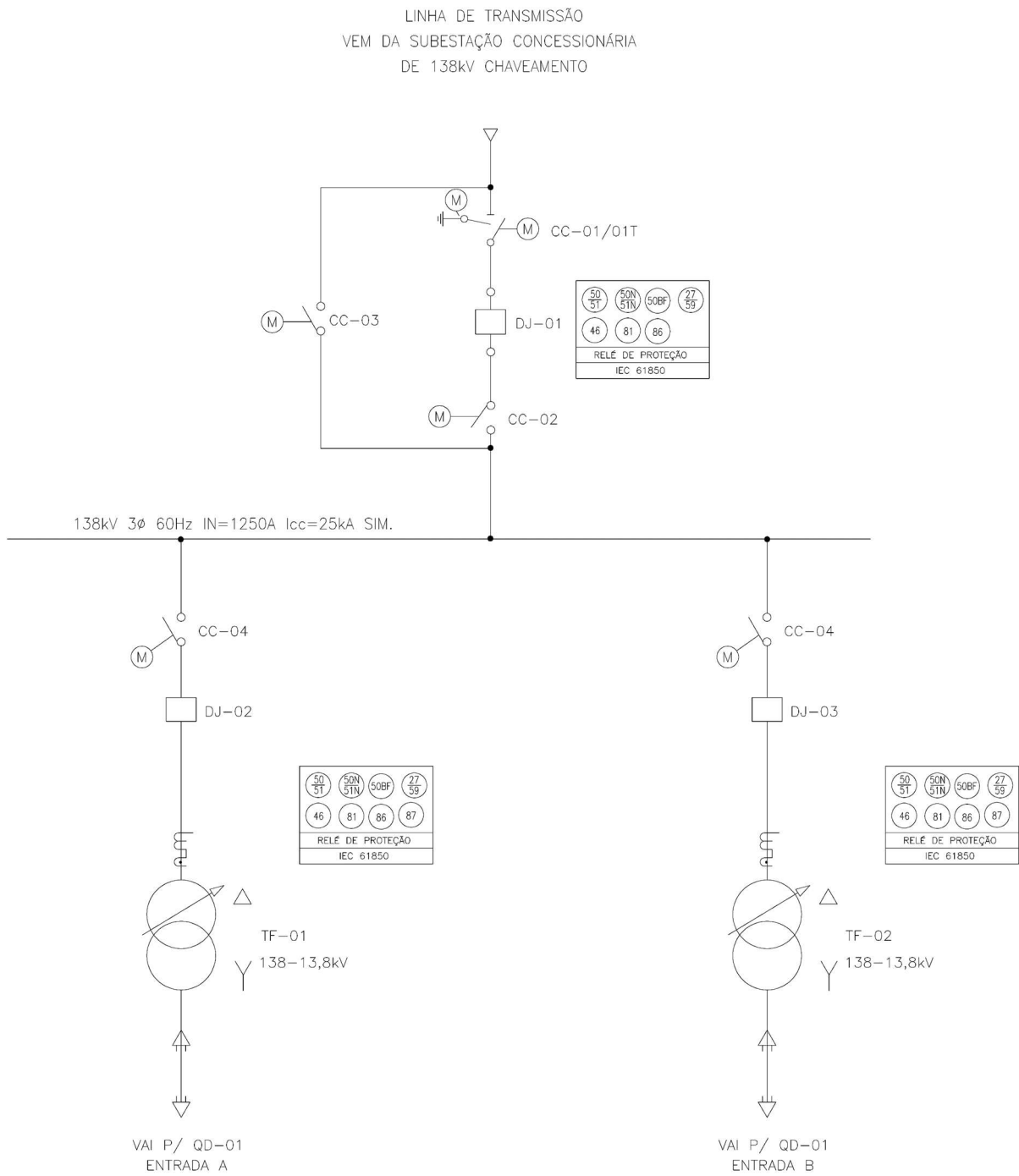
No painel QDMT (13,8kV) existem 02 (duas) entradas de alimentação, cada uma proveniente de um *bay* de transformador. Cada entrada interligada em uma barra de distribuição (Barras A e B) que realizam a divisão dos circuitos alimentadores de saída para energização das salas elétricas secundárias provenientes da subestação de entrada. As salas elétricas secundárias não fazem parte do escopo de aplicação do sistema de supervisão de subestações.

Os compartimentos onde se encontram os circuitos elétricos do painel de média tensão são denominados de “cubículos”. É internamente aos cubículos de potência que são instalados os disjuntores e os barramentos de interconexão com os cabos de média tensão. Os relés de proteção dos circuitos de força (IEDs) são instalados nos cubículos de controle e são responsáveis pela proteção e controle do circuito referente ao em que estão instalados. Além disso, ainda existe um cubículo de interligação (TIE) que tem a função de interligar as duas barras do painel QDMT.

O TIE possui um relé de proteção com funções e lógicas de controle específicas para a verificação de sincronismo de tensão e frequência elétricas das barras para assegurar a equipotencialização nas operações de interligação destas. Além disso, o IED de interligação tem a função de interligar as barras na ausência de em um dos circuitos alimentadores (Barra A ou B) para que não haja falta de energia nos cubículos de saída que alimentam as áreas industriais da planta em que a subestação está localizada. Para esta aplicação os relés de proteção utilizados foram os modelos da linha Easergy P3 de fabricação da Schneider Electric.

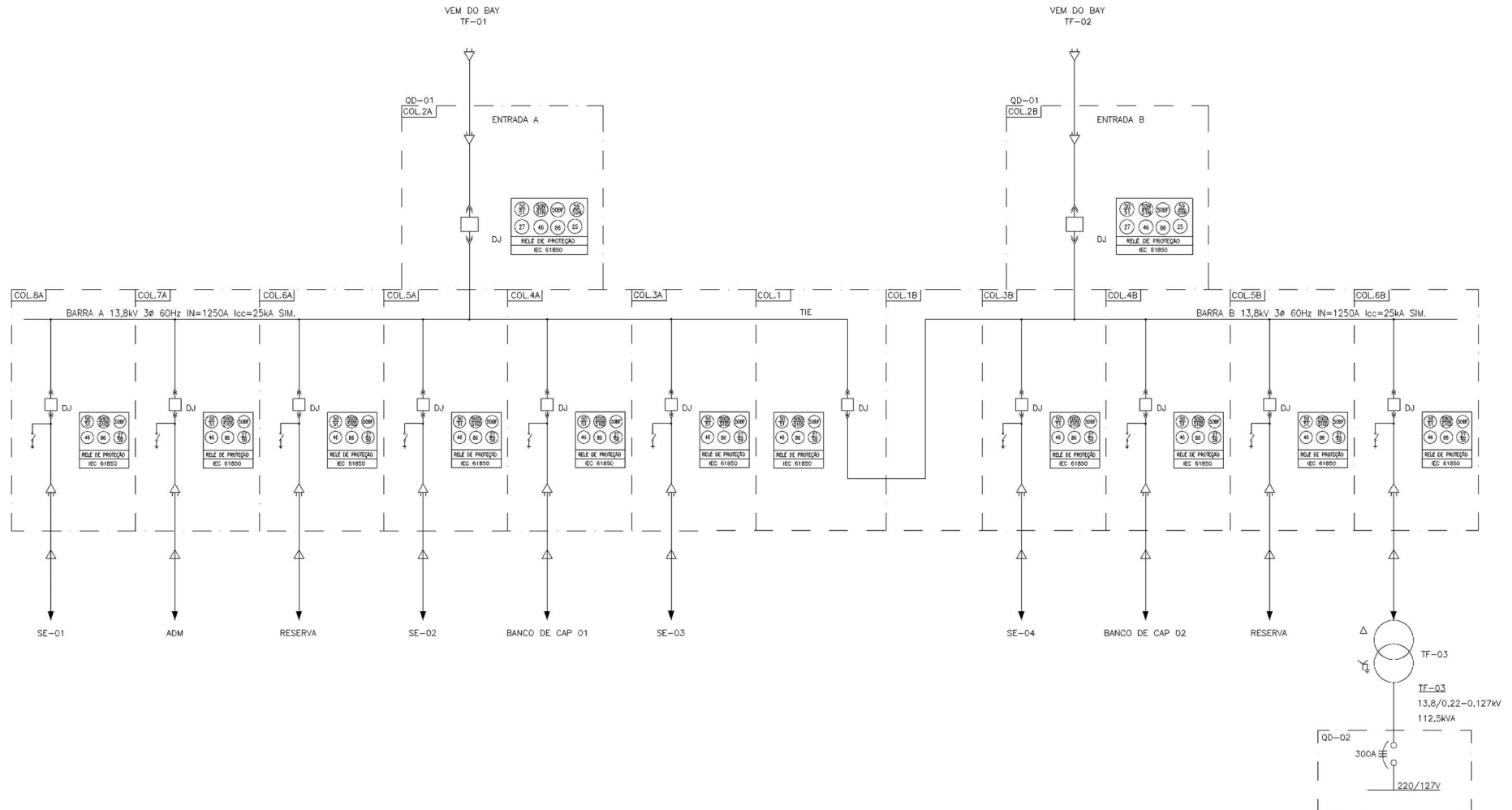
O diagrama unifilar proposto para o sistema de supervisão pode ser visualizado nas Figura 3 e Figura 4.

Figura 3 – Diagrama Unifilar simplificado da aplicação (Parte 1).



Fonte: Próprio Autor

Figura 4 – Diagrama Unifilar simplificado da aplicação (Parte 2).



Fonte: Próprio autor

4 CONFIGURAÇÃO DA ARQUITETURA DE AUTOMAÇÃO DA SUBESTAÇÃO

A configuração do sistema de automação prevê um painel *rack* de comunicação com um *switch* concentrador, homologado na norma IEC-61850, da linha MAR 1040 fabricado pela Hirschmann, que faz as interconexões das redes de proteção, controle e supervisão.

O *switch* é o responsável por conectar vários computadores em uma mesma rede local de computadores (LAN). O grande diferencial, aqui, é que o *switch* mantém uma tabela com os endereços MAC de cada computador conectado a ele e sua respectiva porta. Dessa forma, o *switch* é capaz de diferenciar para qual computador os dados são destinados, consultando essa tabela para saber para qual porta deve direcionar o fluxo de dados. (Oliveira, 2016)

Ao *switch* concentrador estão interligados a estação de operação (ES-01), o sincronizador GPS (GPS-01) o multimedidor do *bay* de entrada e os IEDs da aplicação. Nesta aplicação, o servidor se encontra instalado na mesma máquina que a estação de operação (ES-01) e trata-se de um modelo da linha Optiplex 3000 fabricado pela Dell Technologies. Para realizar as funções de sincronismos de horário entre os dispositivos, o modelo de GPS utilizado foi da linha 9330 de fabricação da empresa Schweitzer Engineering Laboratories (SEL).

As configurações de interligação de rede utilizadas nesta aplicação foram:

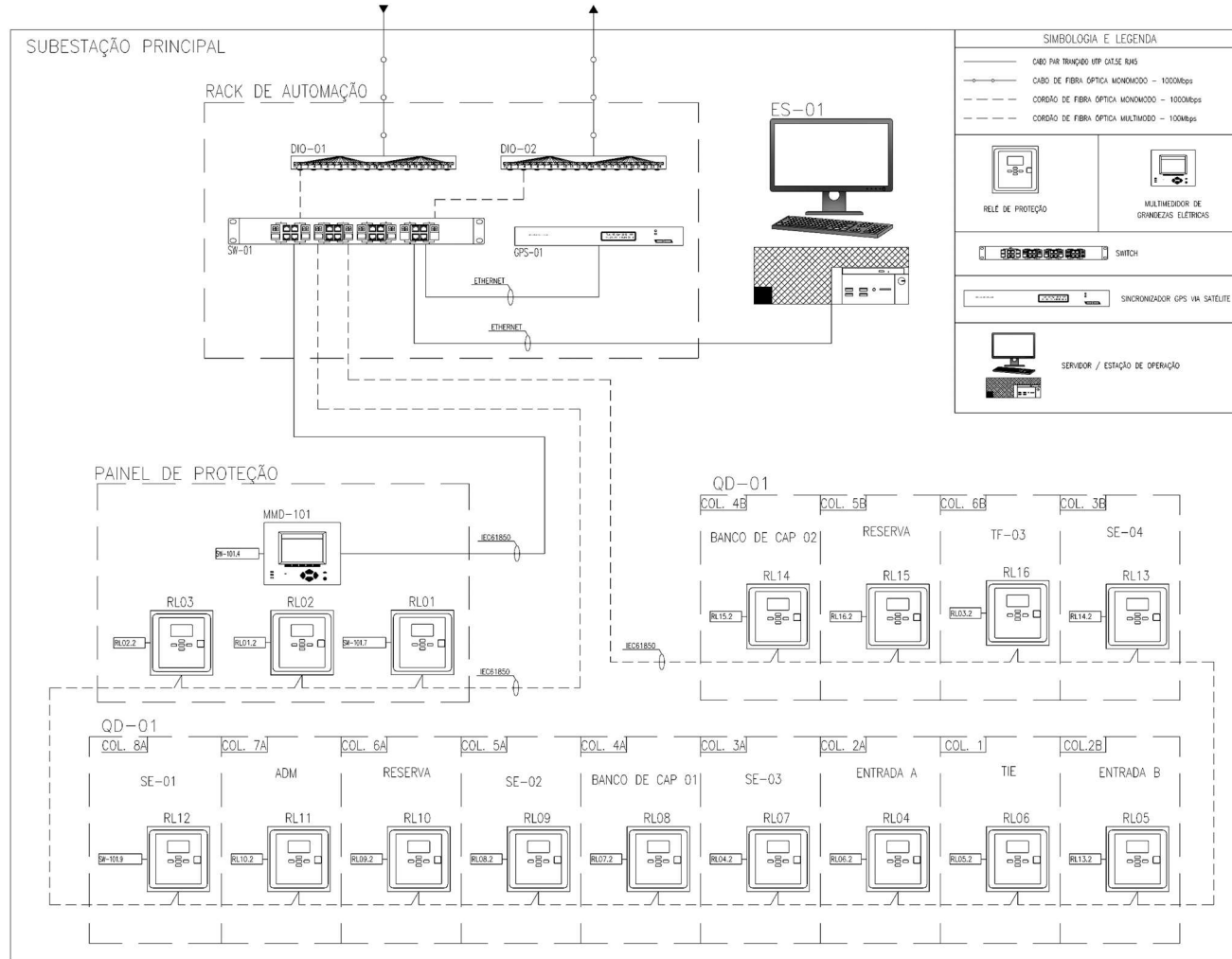
- Estrela: interligando a estação de operação, o multimedidor e o GPS ao *switch* por meio de cabos elétricos, padrão Ethernet.
- Anel: interligado os relés de proteção (IEDs) ao *switch* por meio de cordões ópticos multimodo.

Nos ajustes de comunicação, os protocolos GOOSE e MMS trafegam os dados entre os IEDs (GOOSE) e entre os IEDs e o supervisor (MMS). O multimedidor também comunica em MMS com o sistema de supervisão. E o GPS comunica com todos os equipamentos no protocolo Ethernet Industrial.

A arquitetura ainda prevê uma interligação com o sistema de Telecom externo, para a planta industrial em que a subestação está localizada, em configuração anel por meio de cabos de fibra óptica monomodo.

A arquitetura de comunicação proposta para o sistema de supervisão pode ser visualizada na Figura 5.

Figura 5 – Arquitetura de Automação da aplicação proposta .



Fonte: Próprio autor

5 PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do aplicativo de supervisor foi utilizada uma plataforma de desenvolvimento conhecida como Elipse Power e comercializada pela empresa Elipse Software.

O Elipse Power pode ser executado nas plataformas Windows 7 SP1, Windows 8, Windows 8.1, Windows 10, Windows 10 Enterprise LTSC ou LTSC, Windows Server 2008 R2 SP1, Windows Server 2012, Windows Server 2012 R2, Windows Server 2016 ou Windows Server 2019, utilizando alguns recursos disponíveis nestes sistemas operacionais. A interface gráfica com o usuário pode também ser executada através da Internet ou intranet via Internet Explorer. As funções básicas do software estão divididas em módulos independentes, capazes de processar atividades específicas. (Elipse Software, 2021)

Basicamente, o Elipse Power é um núcleo responsável por unir e coordenar o trabalho de vários outros módulos servidores de informações. A partir daí são geradas as interfaces gráficas com o usuário, disponíveis através de uma plataforma cliente/servidor. O *software* possui 04 (quatro) programas principais:

- E3 Server: é o servidor de aplicações do sistema onde os processos são executados;
- Elipse Power Studio: é a ferramenta única de configuração, agindo como a plataforma universal do desenvolvimento;
- Elipse Power Viewer: é a ferramenta de operação da aplicação existente no servidor;
- E3 Admin: é o módulo de interface com o servidor que controla as estruturas de Domínio da aplicação.

Com o Elipse Power é possível desenvolver toda a aplicação de um sistema de supervisão de subestações e realizar, a partir do *software* aplicativo desenvolvido, as interfaces operacionais do processo. Com esta ferramenta, e seus *drivers* de comunicação e sistemas adicionais, é factível a realização de todo o processo de elaboração do supervisor, desde a inserção do unifilar detalhado da subestação até o detalhamento e configuração de telas de interface passando pelo processo de ajustes de protocolos e variáveis de comunicação, inserção de objetos de interface customizados e lógicas de *scripts* em Visual Basic para realização de procedimentos de complexidade elevada.

O E-Power possui ferramentas que permitem transformar qualquer objeto ou conjunto de objetos da aplicação em uma Biblioteca do usuário. As Bibliotecas podem ser formadas por objetos frequentemente utilizados e subsequentemente reaproveitados em outra aplicação. O *software* fornece uma biblioteca nativa ao desenvolvimento que pode ser utilizada nas aplicações, porém a interface desta não

é usual aos sistemas industrializados e não possui todos os recursos necessários à operação do sistema elétrico.

É indicado, pela norma ISA-101, que sistema de IHM de alta performance tenha um *design* industrial, esteja atento às questões de segurança, consiga detectar anormalidades antecipadamente à ocorrência de alarme e que tenha registro histórico de ocorrências para análises futuras, dentre outras recomendações de eficiência. Desta forma, fez-se necessário a criação de bibliotecas personalizadas para a aplicação do sistema de supervisão de subestações elétricas proposto neste trabalho.

6 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE APLICATIVO

O desenvolvimento do *software* aplicativo foi dividido em etapas, proposta pelo próprio manual do usuário Elipse, que auxilia na elaboração e configuração da ferramenta trazendo um fluxo prático ao desenvolvedor. Estas etapas asseguram uma melhor utilização da ferramenta E-Power *Studio* auxiliando no andamento contínuo do aplicativo não deixando com que passos importantes do processo de elaboração sejam esquecidos. Basicamente, as etapas de desenvolvimento são:

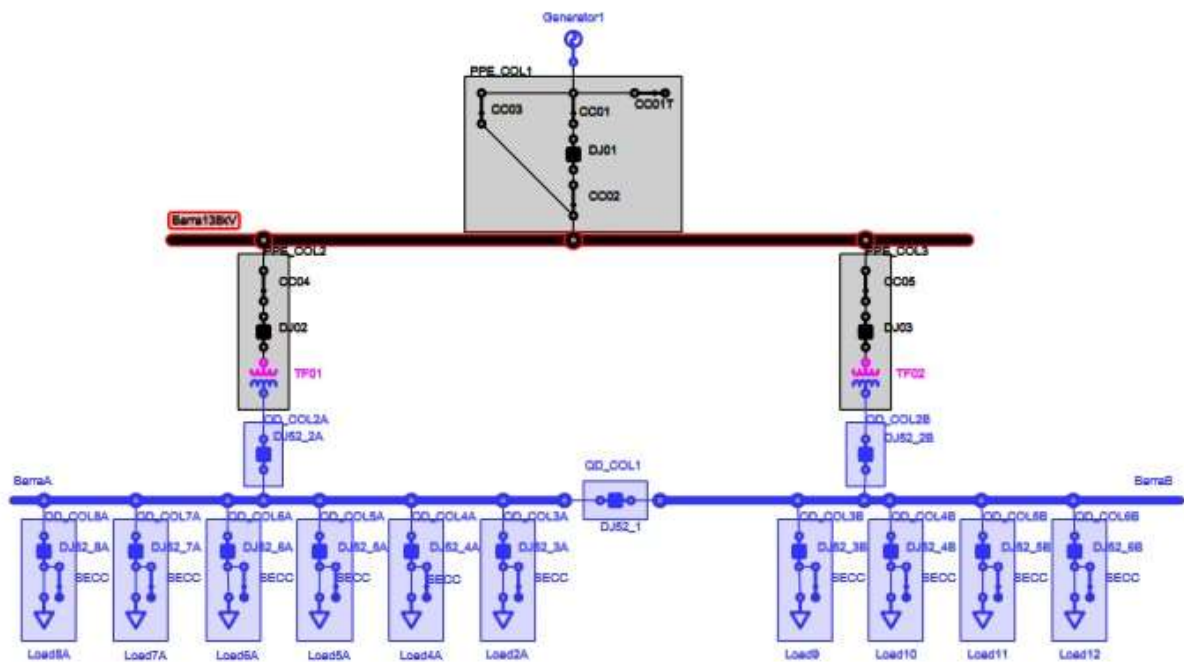
- Modelagem elétrica;
- Estruturação de dados da subestação;
- Desenvolvimento das bibliotecas customizadas;
- Desenvolvimento das telas principais;
- Configuração de *drivers* e variáveis de comunicação;
- Configuração das interfaces com bancos de dados.

6.1 Modelagem elétrica

O Elipse Power possui uma ferramenta de modelamento do sistema elétrico da aplicação. Desta forma, foram inseridas as configurações do unifilar proposto (Figura 4) no processador topológico do software.

No modelador elétrico do E-Power estão contidas todas as ferramentas necessárias para se desenvolver uma configuração de um esquema unifilar de uma aplicação, nele é possível realizar a inserção desde objetos simples, como disjuntores e seccionadores, até geradores eólicos e torres de transmissão. A configuração do sistema de modelagem elétrica da aplicação proposta pode ser visualizada na Figura 6.

Figura 6 – Configuração do unifilar geral da aplicação no processador topológico.



Fonte: Próprio Autor

Através do modelador elétrico configurado que foi possível realizar a sincronização da estrutura de dados de forma automática dentro da interface do Elipse Power.

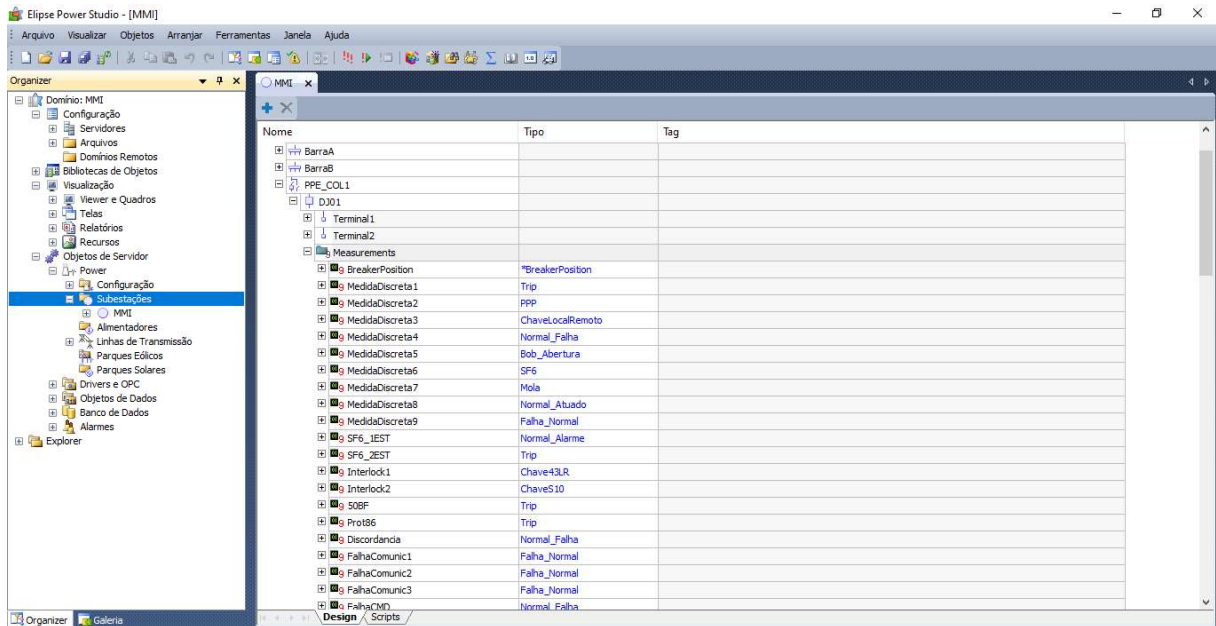
6.2 Estrutura de dados da subestação

Com a sincronização da configuração do modelador elétrico os objetos de dados da aplicação são migrados automaticamente para a estrutura de subestações da ferramenta. É nessa interface que são realizadas as inserções das medidas elétricas e informações relevantes à operação do sistema.

Na estrutura de dados foram configuradas as variáveis que são apresentadas ao operador do sistema através das telas do supervisório. Estas informações são, por exemplo: posicionamento do disjuntor (aberto/fechado, etc.), proteções elétricas atuadas (50/50N/51/51N, etc.), posição de operação (local/remoto), intertravamentos de operação, comandos para acionamento (abrir/fechar, etc.), medições analógicas (corrente, tensão, frequência, fator de potência, etc.), variáveis de alarmes do sistema (níveis altos medições analógicas, falhas de abertura e fechamento, falhas de posição, etc.).

É na interface da estrutura de dados que são inseridos os TAGs de comunicação de que fazem as indicações de mudança de *status* das informações configuradas. A configuração da estrutura de dados da subestação da aplicação proposta pode ser visualizada na Figura 7.

Figura 7 – Interface da Estrutura de Dados da Subestação proposta na aplicação.



Fonte: Próprio Autor

Através da estrutura de dados, e das informações nela contidas, é que foi possível estruturar as bibliotecas customizadas para apresentação, de forma clara e dinâmica, das variáveis nas telas de interface.

6.3 Desenvolvimento das bibliotecas customizadas

Conforme informado anteriormente, a necessidade de desenvolvimento de bibliotecas customizadas surgiu a partir de boas práticas e padronizações de interfaces e funcionalidades do sistema, tais como, animações dos estados dos equipamentos nas telas modais, sinalizações dinâmicas de proteções e intertravamentos, ajustes de alarmes em *runtime*, dentre outros.

O desenvolvimento das bibliotecas foi segregado de acordo com as funcionalidades dos objetos de tela e indicações contidos em cada interface. Foram criadas as seguintes bibliotecas: “*faceplates.lib*”, “*elétrica.lib*”, “*arquitetura.lib*” e “*menu.lib*”. Um dos principais motivos para criação das bibliotecas é a possibilidade de criação de *links* dinâmicos com as variáveis na estrutura de dados fazendo com

que não seja necessário criar telas, objetos de tela e/ou funcionalidades individuais por equipamentos da subestação. Com o auxílio das “lib” basta criar um típico de objeto e/ou funcionalidade por tipo de equipamento e fazer, por meio de associações dinâmicas e/ou *scripts* VBA, as conexões com as variáveis apresentada em tela. No Elipse Power um objeto típico contido em bibliotecas é denominado “xControl”.

Com as associações dinâmicas de variáveis, as informações contidas nos objetos de tela assumem as informações inseridas no ambiente de objetos de dados de cada equipamento de acordo com o *link* inerido sem a necessidade de se criar um objeto de tela individual por dispositivo. Isto deixa a aplicação mais limpa, dinâmica e suscetível a expansões futuras sem necessidade de grandes intervenções de programação/configuração.

6.3.1 faceplates.lib

Esta biblioteca foi criada com a finalidade de proporcionar funcionalidades dinâmicas às telas modais, que são telas secundárias de interface dos equipamentos inseridos nos quadros principais. Cada tela modal se tornou um xControl na biblioteca “*faceplates.lib*”.

A “*faceplates.lib*” é uma biblioteca que incorpora várias funções e objetos de outras bibliotecas. Um exemplo é o xControl “cmdOperBraker” criado para ser utilizado como tela modal de operação de disjuntores. Este objeto de biblioteca trata-se de uma interface modal que apresenta todas as informações e operacionalidades de um típico de disjuntor. Nele estão contidos os comandos, sinalizações de variáveis de estados, de proteções, de intertravamentos, analógicas, alarmes e identificação. Todas estas informações possuem *links* dinâmicos que assumem, automaticamente, os dados do disjuntor selecionado no ambiente operacional por meio de um *click*. A imagem do xControl “cmdOperBraker”, no ambiente de configuração de biblioteca, pode ser visualizada na Figura 8.

Figura 8 – Tela de configuração do xControl “cmdOperBreaker”.



Fonte: Próprio Autor

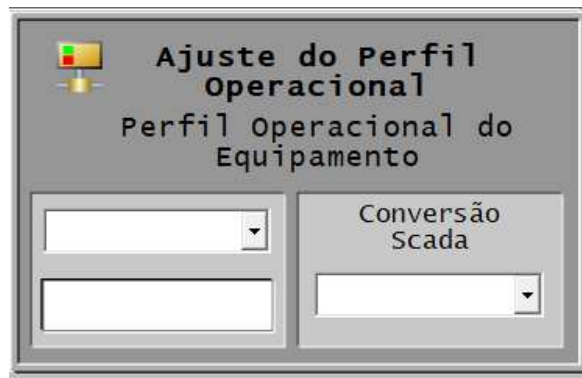
Nesta biblioteca também foram criados os objetos que possuem a funcionalidade de simulação do sistema em plataforma. O E-Power define alguns perfis operacionais aos quais o usuário pode alterar a fonte da variável que está sendo visualizada. Por exemplo, uma variável de sinalização de estado do disjuntor (aberto/fechado) pode ser manipulada pelo TAG de comunicação, proveniente da interface do supervisor com o IED, via protocolo. Esta interface é proveniente de uma propriedade no Eclipse chamada “ActiveSource” e normalmente ela é configurada como “stScada”, ou seja, a fonte da variável de comunicação inserida na aplicação.

Para a simulação do sistema em plataforma foram criados xControl que alteram esta propriedade “ActiveSource”, individualmente de acordo com a variável selecionada, fazendo com que se altere a fonte de dados de uma sinalização para que o operador possa inferir valores nesta fonte e consiga visualizar o comportamento do supervisor e suas animações. Esta funcionalidade pôde ser alcançada por meio de

inserções de *scripts* em VBA na aplicação nos objetos referentes da biblioteca customizada. Um exemplo de xControl com esta funcionalidade é o “cmdOperation”.

O “cmdOperation” é um objeto criado para mudar o perfil operacional da variável, e conseqüentemente a fonte de dados desta, podendo inserir um valor qualquer, a ser definido pelo usuário. Esta funcionalidade é fundamental para realização de testes de plataforma do sistema, que é uma etapa do desenvolvimento do *software* aplicativo, com as simulações dos comportamentos operacionais do supervisor sem a necessidade de interligação e/ou comunicação com os demais equipamentos inseridos na arquitetura de automação, tais como: IEDs, Multimedidores, GPS, *switches*, etc. A imagem do xControl “cmdOperation”, no ambiente de configuração de biblioteca, pode ser visualizada na Figura 8.

Figura 9 – Tela de configuração do xContol “cmdOperation”.



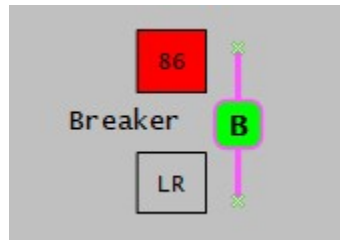
Fonte: Próprio Autor

6.3.2 elétrica.lib

Esta biblioteca foi criada com a finalidade de proporcionar funcionalidades dinâmicas aos objetos contidos no diagrama unifilar das telas principais. Nesta biblioteca foram customizados alguns xControls já existentes nas bibliotecas *default* do Elipse Power. Esta customização foi necessária para que se alterasse algumas informações de sinalização ao usuário, tais como: informação de bloqueio, local/remoto, etc.

Além das novas informações inseridas nos objetos desta biblioteca customizada, foram inseridos alguns *links* dinâmicos para animação de tela e abertura de telas modais presentes na “*faceplates.lib*”. Um dos objetos de exemplo da biblioteca “*elétrica.lib*” é o xControl “cmdBreaker” que é um exemplar customizado a partir do xControl “Breaker” na biblioteca *default*. A imagem do xControl “cmdBraker”, no ambiente de configuração de biblioteca, pode ser visualizada na Figura 10.

Figura 10 – Tela de configuração do xContol “cmdBreaker”.



Fonte: Próprio Autor

6.3.3 arquitetura.lib

Esta biblioteca foi criada com a finalidade de proporcionar funcionalidades dinâmicas aos objetos na tela geral de arquitetura do sistema. Nesta biblioteca foram criados alguns xControls para realizar as interfaces de sinalização de *status* dos componentes integrantes da topologia de comunicação de automação da subestação.

Um dos objetos de exemplo desta biblioteca é o xControl “xclEDComunic” que é responsável pela animação das condições operacionais de rede dos IEDs. Dentre as funcionalidades estão a demonstração da situação da comunicação e o link de abertura da tela modal indicativa das sincronizações de rede. A imagem do xControl “xclEDComunic”, no ambiente de configuração de biblioteca, pode ser visualizada na Figura 11.

Figura 11 – Tela de configuração do xContol “xclEDComunic”.



Fonte: Próprio Autor

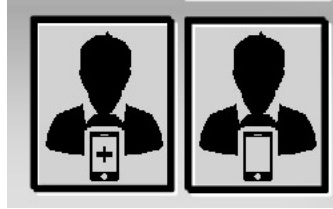
6.3.4 menu.lib

Esta biblioteca foi criada com a finalidade de proporcionar funcionalidades dinâmicas da tela de *menu* da aplicação. Nesta biblioteca foram criados alguns xControls para realizar as animações das interfaces de navegação do supervisor. Tais como: botões de roteamento de telas, *logins* de usuário, etc.

Um dos objetos de exemplo desta biblioteca é o xControl “Menu_Login” que é responsável pelas funções de *login/logout* de usuário e cadastro de nos operadores

e/ou perfis operacionais. A imagem do xControl “Menu_Login”, no ambiente de configuração de biblioteca, pode ser visualizada na Figura 12.

Figura 12 – Tela de configuração do xControl “Menu_Login”.



Fonte: Próprio Autor

É a partir da criação e estruturação de todas as bibliotecas customizadas que foi possível estruturar, gerar, configurar e alterar as telas principais e modais.

6.4 Desenvolvimento das telas principais

As telas principais são interfaces gráficas navegáveis pelo operador que mostram o unifilar, a arquitetura, os gráficos de tendências, dentre outros. Nestas telas, o usuário consegue ter a percepção de sinalizações gerais dos sistemas que compõem a subestação. Estas telas estão alocadas em uma divisão chamada “Quadro”, que faz a segregação vertical da interface em 03 (três) partes para que o operador tenha disponível a navegabilidade do sistema.

O E-Power possui uma funcionalidade de se importar o modelo elétrico, inserido no processador topológico, diretamente para uma tela de forma automática. Porém, o *software* faz esta operação utilizando os objetos provenientes da sua biblioteca *default*. Como, na aplicação proposta, as bibliotecas foram elaboradas e customizadas, houve a necessidade de se alterar os objetos de tela referentes às novas bibliotecas customizadas, vistas anteriormente neste documento. As telas principais desenvolvidas neste projeto foram: Tela Inicial, Tela Subestação Principal, Tela QD-01 (QDMT), Tela de Arquitetura, Tela de Alarmes, Tela de Tendências e Tela de Eventos.

6.4.1 Tela Inicial

Esta é uma tela inicial geral que tem a função de solicitar a inserção de informações de acesso ao usuário da aplicação. Sem a inclusão dos dados de *login* pelo operador, não é possível acessar as demais telas da aplicação. Este fato acontece porque é comum que se tenha uma hierarquia de perfis operacionais nas

aplicações de supervisão para que o sistema não possa ser operado por pessoa não qualificada e devidamente identificada.

Em função da garantia de uma hierarquia, foram criados perfis operacionais de atuação no sistema de supervisão. Esta hierarquia permite a restrição do nível operativo de acordo com o grupo atribuído ao usuário. Tais grupos foram segregados em: Administração, Manutenção, Operação e Navegação.

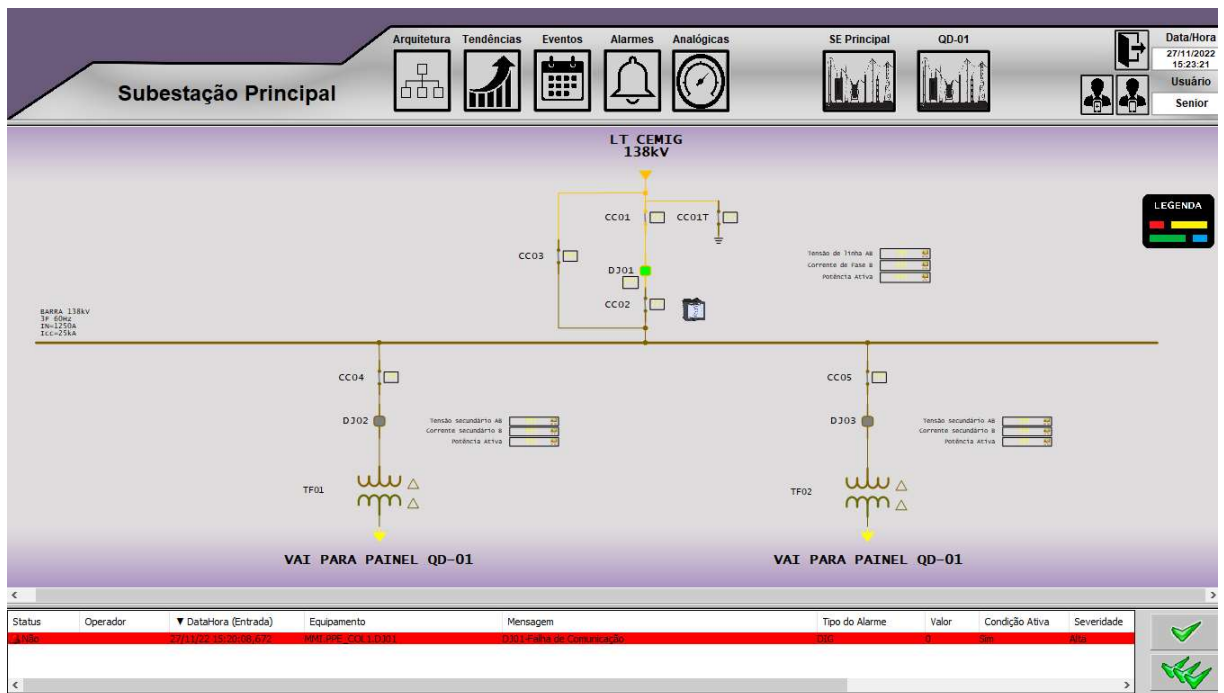
- Navegação: O usuário cadastrado neste grupo pode somente navegar entre as telas principais unifilares. Não é possível realizar nenhuma operação de manobra nos equipamentos nem acesso às telas de interface destes;
- Operação: O usuário cadastrado neste grupo pode realizar toda a navegação entre as telas e fazer as manobras nos equipamentos sendo possível o acesso às telas de interface destes;
- Manutenção: O usuário cadastrado neste grupo pode realizar todas as atividades possíveis no perfil de “Operação” além de poder configurar parâmetros de variáveis, tais como níveis de alarmes, e ainda simular valores de TAGs no modo “Operator”;
- Administração: O usuário cadastrado neste grupo pode realizar todas as atividades possíveis no perfil de “Manutenção” além de poder cadastrar novos usuários e/ou alterar os grupos de usuários.

A inserção de perfis de operação faz-se necessário também para que o sistema possa registrar e armazenar, por meio de interface com banco de dados, as atuações do operador no ambiente do supervísório. Tais como: manobras de abertura e fechamento, ajustes de níveis de alarmes, etc.

6.4.2 Tela Subestação Principal

Esta tela é a primeira tela a ser acessada após o usuário realizar a inserção de informações de login. Nesta tela foram inseridos os equipamentos referentes ao *bay* de entrada da subestação e aos 02 (dois) *bays* dos transformadores 138-13,8kV. Toda a operacionalidade desta tela é realizada a partir do *click* nos equipamentos nela contidos, além das animações de tensão nos barramentos, dos amostradores analógicos, sinalização de estado dos disjuntores e chaves seccionadoras. O *layout* da tela da subestação principal, em modo *runtime*, pode ser visualizada na Figura 13Figura 7.

Figura 13 – Tela Subestação Principal.

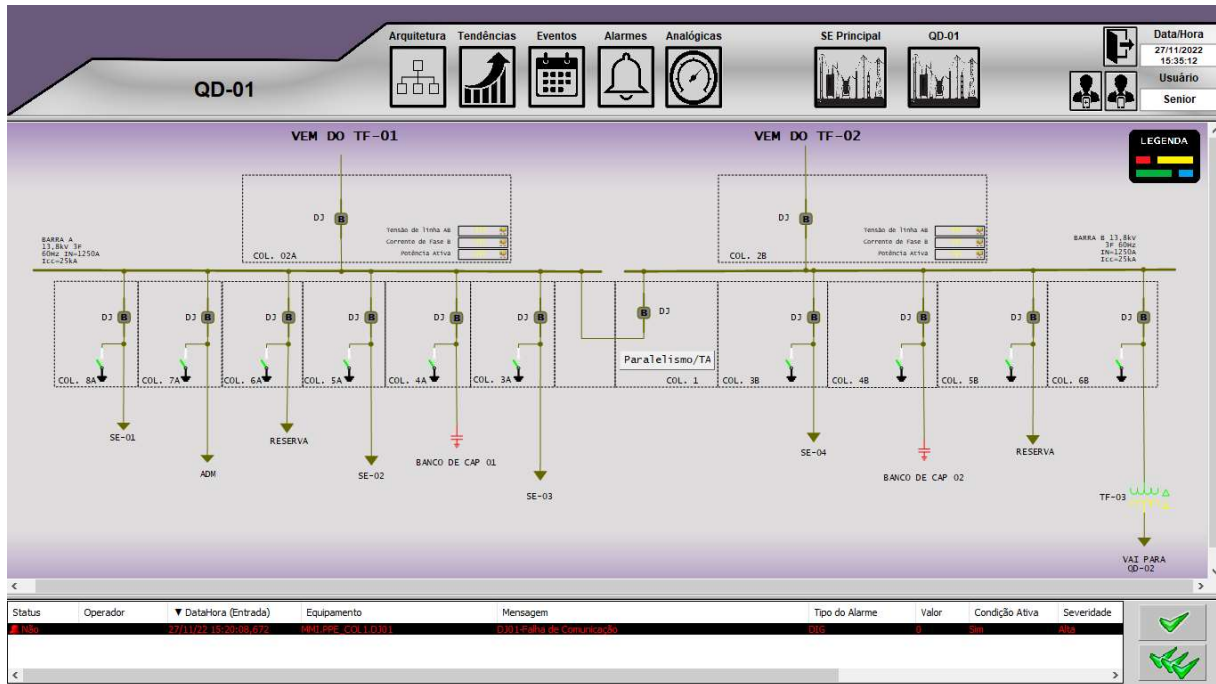


Fonte: Próprio Autor

6.4.3 Tela QD-01 (QDMT)

Esta tela refere-se aos cubículos do quadro de distribuição de média tensão QD-01. Nela foram inseridos os equipamentos do QDMT, tais como: disjuntores, circuitos de saída, bancos de capacitores, etc. Toda a operacionalidade desta tela é realizada a partir do *click* nos equipamentos nela contidos, além das animações de tensão nos barramentos, dos amostradores analógicos, sinalização de estado dos disjuntores e chaves seccionadoras. O *layout* da tela do QD-01, em modo *runtime*, pode ser visualizada na Figura 14Figura 7.

Figura 14 – Tela QD-01 (QDMT).

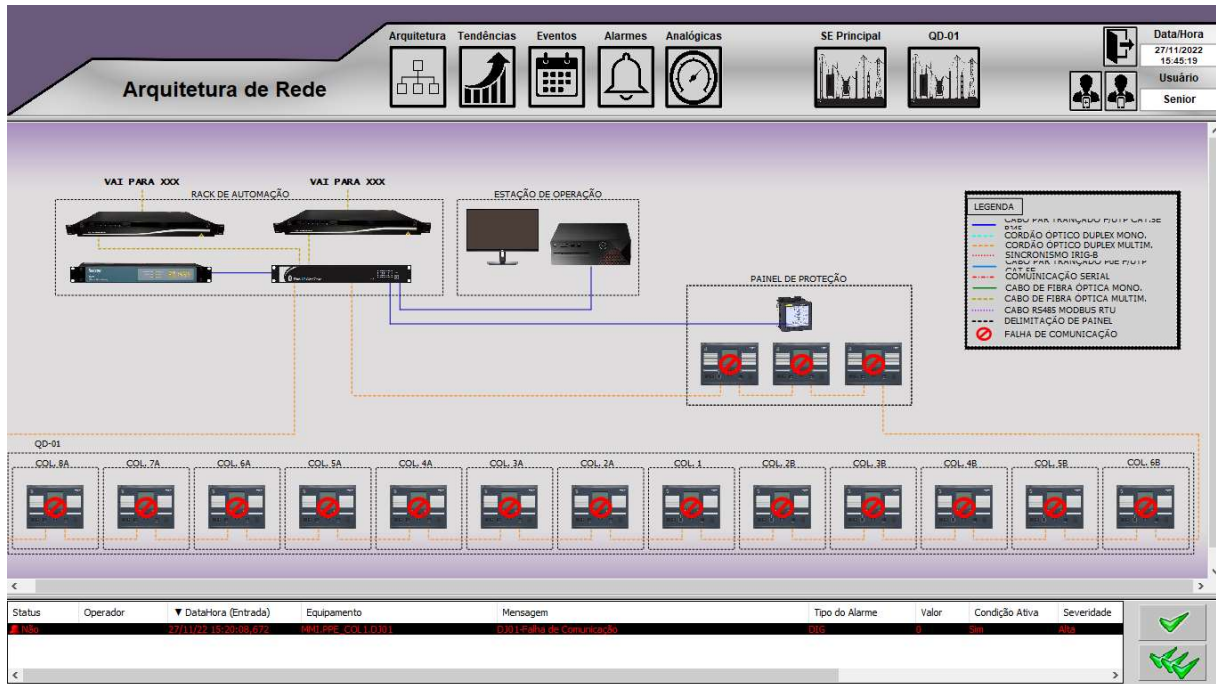


Fonte: Próprio Autor

6.4.4 Tela de Arquitetura

Esta tela mostra a topologia do sistema de automação da subestação. Nela foram inseridos os principais equipamentos presentes na rede de comunicação, tais como: relés de proteção (IEDs), multimedidores, *switches*, estação de operação, etc. Toda a operacionalidade desta tela é realizada a partir do *click* nos equipamentos nela contidos, além de animações gerais evidenciando de forma inicial o estado de comunicação dos equipamentos em caso de falha. O *layout* da tela de arquitetura de rede, em modo *runtime*, pode ser visualizada na Figura 15 Figura 7.

Figura 15 – Tela Arquitetura.

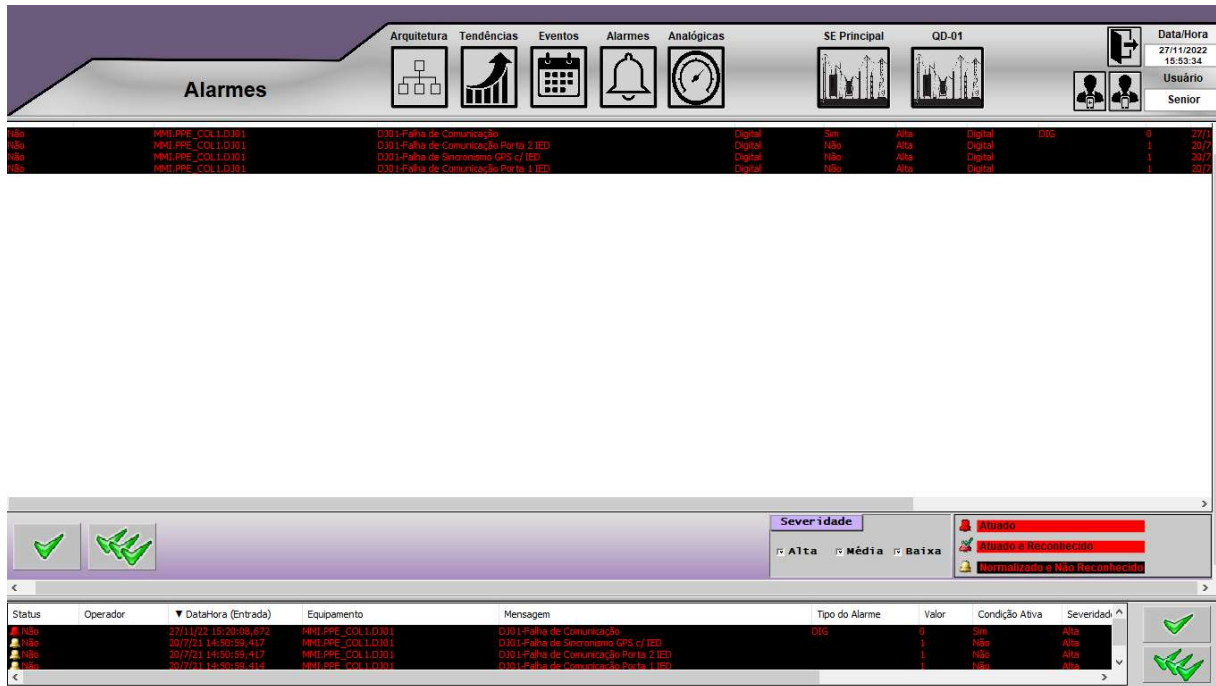


Fonte: Próprio Autor

6.4.5 Tela de Alarmes

Esta tela evidencia todos os alarmes correntes do sistema. Nesta interface os eventos de alarmes ficam dispostos ordenadamente em função da data e hora da ocorrência além de ser possível identificação dos estados de alarmes em relação à atuação (atuado, reconhecido, não reconhecido, etc.). Ainda nesta interface também é possível realizar um filtro das ocorrências de alarmes com relação à sua severidade. O *layout* da tela de arquitetura de rede, em modo *runtime*, pode ser visualizada na Figura 16Figura 7.

Figura 16 – Tela Alarmes.

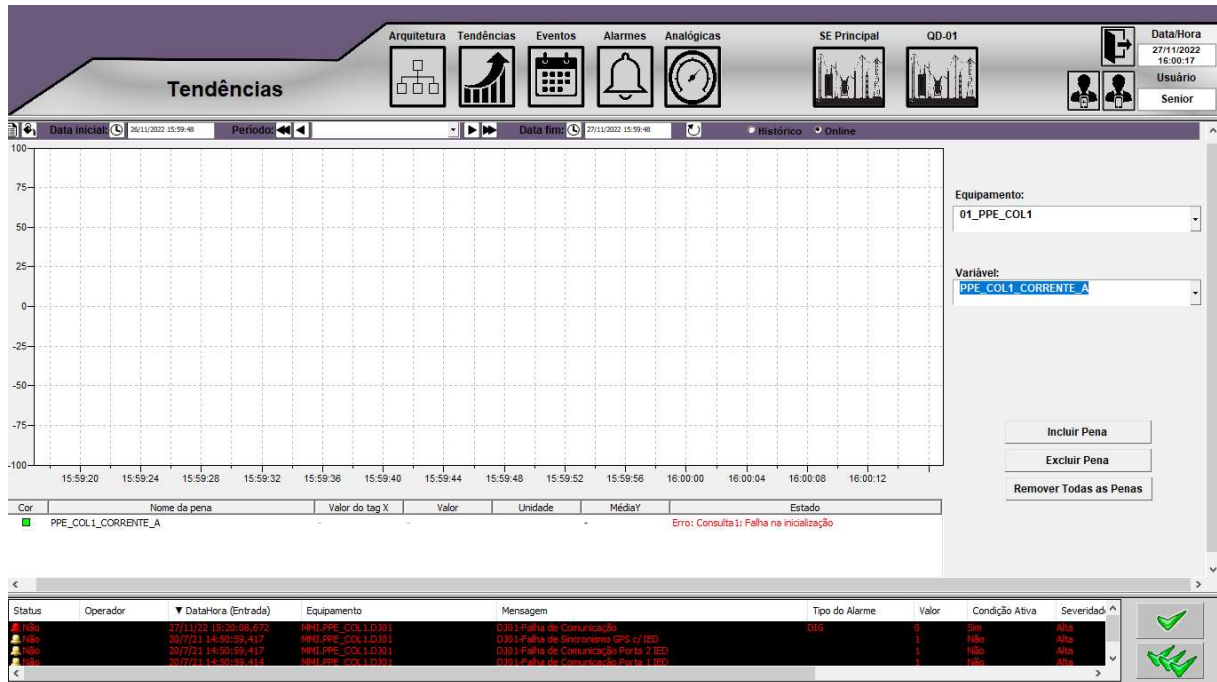


Fonte: Próprio Autor

6.4.6 Tela de Tendências

Esta tela possui uma interface gráfica para indicar todas as variáveis analógicas presentes nos circuitos, tais como: tensão, corrente, potência, fator de potência, entre outras. Nesta interface é possível realizar uma pesquisa das variáveis por equipamento e/ou cubículo, por meio de filtros, e inserir no gráfico como uma “pena” para comparativo. Além disso, é possível realizar pesquisas em tempo real e históricas destas dos valores. Esta funcionalidade de pesquisa histórica somente é possível com a realização das configurações de conexão do Eclipse com um *software* gerenciador de banco de dados (SGBD). O *layout* da tela de tendências, em modo *runtime*, pode ser visualizada na Figura 17Figura 7.

Figura 17 – Tela Tendências.

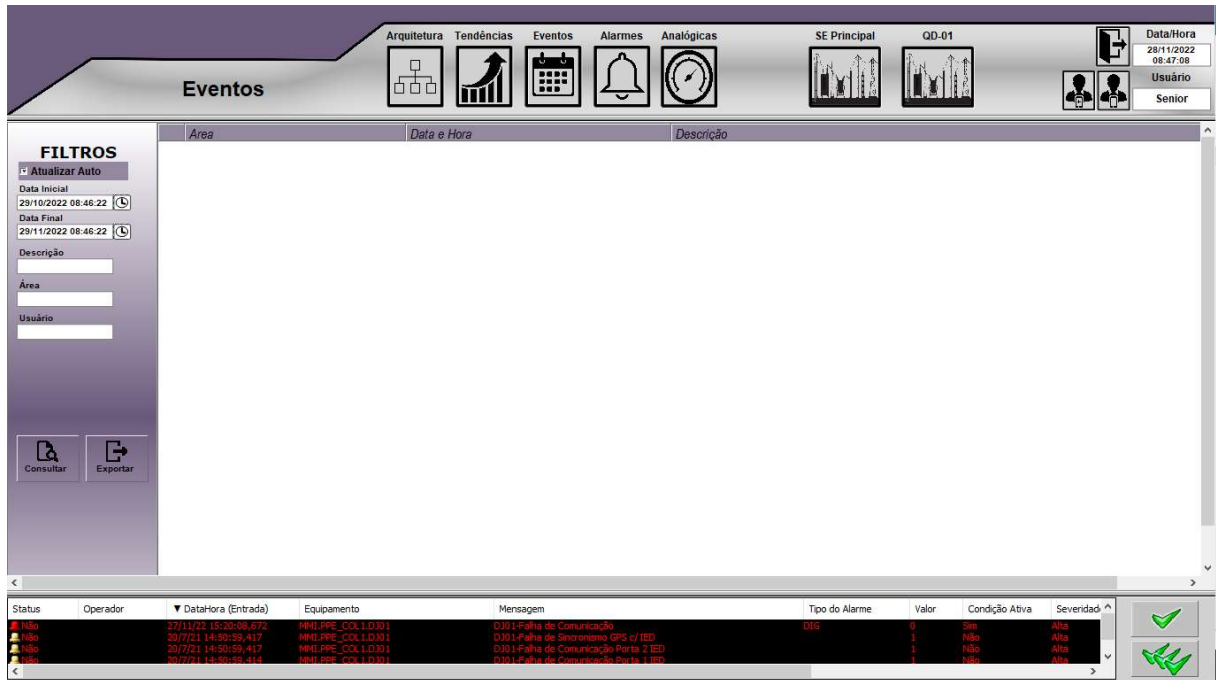


Fonte: Próprio Autor

6.4.7 Tela de Eventos

Esta tela possui uma interface que indica os principais eventos operacionais ocorridos na subestação, tais como: operações de manobra dos equipamentos, atuação de proteções, intertravamentos, entre outros. Estas informações são demonstradas ao usuário com dados de data/hora da ocorrência e operador logado. Esta tela é imprescindível para análises de gerenciamento de ocorrências uma vez que é possível realizar pesquisas em tempo real e históricas destas dos valores. Esta funcionalidade de pesquisa histórica somente é possível com a realização das configurações de conexão do Eclipse com um *software* gerenciador de banco de dados (SGBD). O *layout* da tela de tendências, em modo *runtime*, pode ser visualizada na Figura 18Figura 7.

Figura 18 – Tela de Eventos.



Fonte: Próprio Autor

6.5 Configuração de drivers e variáveis de comunicação

O E-Power possui um *driver* de comunicação para o padrão da norma IEC-61850 que é disponibilizado em seu sítio eletrônico. Na interface do *driver* foram inseridos os arquivos “CID” dos IEDs e configurados os parâmetros principais de comunicação com os relés, tais como:

- Tipo da camada de transporte, que pode ser diferente de acordo com o fabricante do equipamento;
- Valor de *timeout* da comunicação, que é um parâmetro que atua a falha de comunicação de rede com o equipamento a partir do valor excedido;
- Endereço de IP configurado no equipamento;
- TAG utilizado no *servername*, que é um parâmetro de identificação do IED na rede que infere no mnemônico individual de cada variável de comunicação.

A partir da configuração da comunicação IEC-61850 foi possível, pela própria interface do *driver* no Eclipse, mapear as variáveis individuais dos IEDs e organizá-las em pastas de acordo com a sua função e seu posicionamento no circuito elétrico da subestação.

Após o mapeamento foi possível a realização do *link* individual de cada TAG de comunicação, no ambiente de interface do *driver*, com as variáveis já configuradas anteriormente nos objetos de dados, na estrutura de dados da subestação. Estas variáveis de comunicação, proveniente de cada IED, que serão responsáveis por realizar as animações das medidas elétricas e informações relevantes à operação do sistema, tais como: posição dos disjuntores (aberto/fechado), atuação de proteções, intertravamentos, dentre outras.

6.6 Configuração das interfaces com bancos de dados

O Elipse Power pode realizar conexão com 03 (três) tipos diferentes de *software* SGBD, são eles: SQL Server, Oracle e Access.

Para esta aplicação foi optado por utilizar o aplicativo SQL Server Express, que é uma ferramenta gratuita e desenvolvida pela Microsoft. O E-Power possui uma interface bem simplificada de configuração da conexão com os sistemas de bancos de dados e que ainda tem a funcionalidade de teste com esta conexão para verificação do desempenho do sistema.

Nos ajustes de comunicação com o banco de dados foram inseridas as informações de identificação do servidor do BD e as informações de *login* e senha de usuário administrador do banco. E no *software* gerenciador foram criadas as tabelas de variáveis do sistema e de alarmes para que sejam imputados os valores a partir da comunicação com o Elipse.

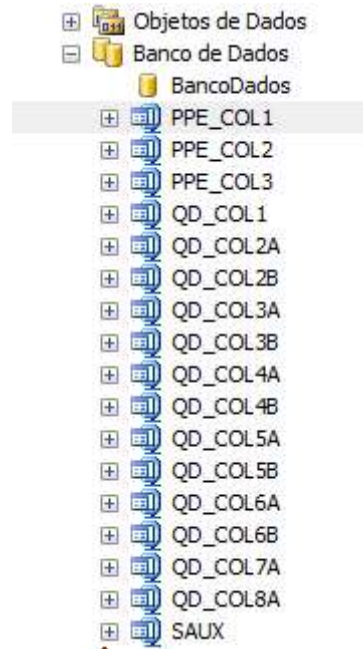
No E-Power foram configurados os objetos “Storage” que são módulos utilizados na gravação de dados históricos.

Através deste módulo é possível transformar dados de produção, processos e outras coletas em informações gerenciais. Este módulo permite que diversas informações sejam coletadas através de servidores OPC, Drivers da Elipse Software, bancos de dados em geral, ou até mesmo arquivos de texto e armazenamentos em bancos de dados comerciais, tais como SQL Server e Oracle, por objetos históricos definidos pelo usuário em uma forma compacta e eficiente. (Elipse Software, 2021)

A inserção de módulos “Storage” foi realizada de forma a separar o conjunto de variáveis analógicas por *bay* e/ou cubículo do QDMT, ou seja, para todas as variáveis analógicas provenientes de um IED e, conseqüentemente, do circuito elétrico em que ele está interligado, foram inseridas em um módulo “Storage” diferente, criando uma estrutura de módulos nomeados de acordo com o sistema correspondente, Figura 19 e Figura 20. As variáveis cadastradas nos módulos

alimentam as tabelas criadas no SGBD para fazerem as gravações dos dados e realização das consultas em modo *runtime* na aplicação.

Figura 19 – Estrutura de dados dos objetos “Storage” da aplicação.



Fonte: Próprio Autor

Figura 20 – Variáveis analógicas inseridas no “Storage” do QDMT coluna 4A.

Nome	Fonte	Tipo	MinRecTime
QD_COL4A			
Fields			
00_Field0	0	0 - eStorageDouble	0 ms
01_CorrenteA	MMI.QD_COL4A.DJ52_4A.Measurements.CorrenteA.Value	0 - eStorageDouble	0 ms
02_CorrenteB	MMI.QD_COL4A.DJ52_4A.Measurements.CorrenteB.Value	0 - eStorageDouble	0 ms
03_CorrenteC	MMI.QD_COL4A.DJ52_4A.Measurements.CorrenteC.Value	0 - eStorageDouble	0 ms
04_TensaoAB	MMI.QD_COL4A.DJ52_4A.Measurements.TensaoAB.Value	0 - eStorageDouble	0 ms
05_TensaoBC	MMI.QD_COL4A.DJ52_4A.Measurements.TensaoBC.Value	0 - eStorageDouble	0 ms
06_TensaoCA	MMI.QD_COL4A.DJ52_4A.Measurements.TensaoCA.Value	0 - eStorageDouble	0 ms
07_PotenciaAtiva	MMI.QD_COL4A.DJ52_4A.Measurements.PotenciaAtiva.Value	0 - eStorageDouble	0 ms
08_PotenciaReativa	MMI.QD_COL4A.DJ52_4A.Measurements.PotenciaReativa.Value	0 - eStorageDouble	0 ms
09_PotenciaAparente	MMI.QD_COL4A.DJ52_4A.Measurements.PotenciaAparente.Value	0 - eStorageDouble	0 ms
10_Frequencia	MMI.QD_COL4A.DJ52_4A.Measurements.Frequencia.Value	0 - eStorageDouble	0 ms
11_FatorPotencia	MMI.QD_COL4A.DJ52_4A.Measurements.FatorPotencia.Value	0 - eStorageDouble	0 ms

Fonte: Próprio Autor

7 TESTES E SIMULAÇÕES

Após o desenvolvimento do *software* aplicativo foi possível a realização dos testes em plataforma, em função da criação de bibliotecas customizadas específicas, mencionadas anteriormente, simulando o comportamento das variáveis em tempo real

no modo de visualização do sistema. De acordo com os resultados obtidos a partir deste teste, foi possível realizar as correções de falhas de comportamento de interfaces e sinalização das variáveis.

A simulação do sistema em plataforma seguiu o roteiro pré-determinado indicando o passo-a-passo de como o processo deveria ser feito e quais os resultados esperados. O roteiro de testes teve os seguintes tópicos:

- Testes com simulações de estados dos disjuntores e animação dos barramentos;
- Testes de comandos/manobras dos equipamentos em condições normais e sinalização de intertravamentos e proteções atuadas;
- Testes de simulação dos sinais analógicos e animação dos seus estados e sinalização de alarmes;
- Testes com simulações de sinalizações de estados de comunicação dos equipamentos;
- Testes de pesquisa de dados e registros de sinalizações dos eventos no historizador;
- Testes de pesquisa de dados das variáveis analógicas no gráfico de tendências.

Todos os testes descritos acima foram realizados no modo de visualização do Elipse chamado “Viewer” e o resultado descritivo de cada um deles se encontra abaixo neste documento.

7.1 Testes com simulações de estados dos disjuntores e animação dos barramentos

Para realização deste teste foi necessário fazer alteração da propriedade “ActiveSource” para “stOperator” em modo *runtime* (Figura 21), pela tela de interface do perfil operacional do equipamento, funcionalidade somente adquirida através do desenvolvimento dos objetos xControl nas bibliotecas customizadas.

Figura 21 – Alteração do perfil operacional do disjuntor.



Fonte: Próprio Autor

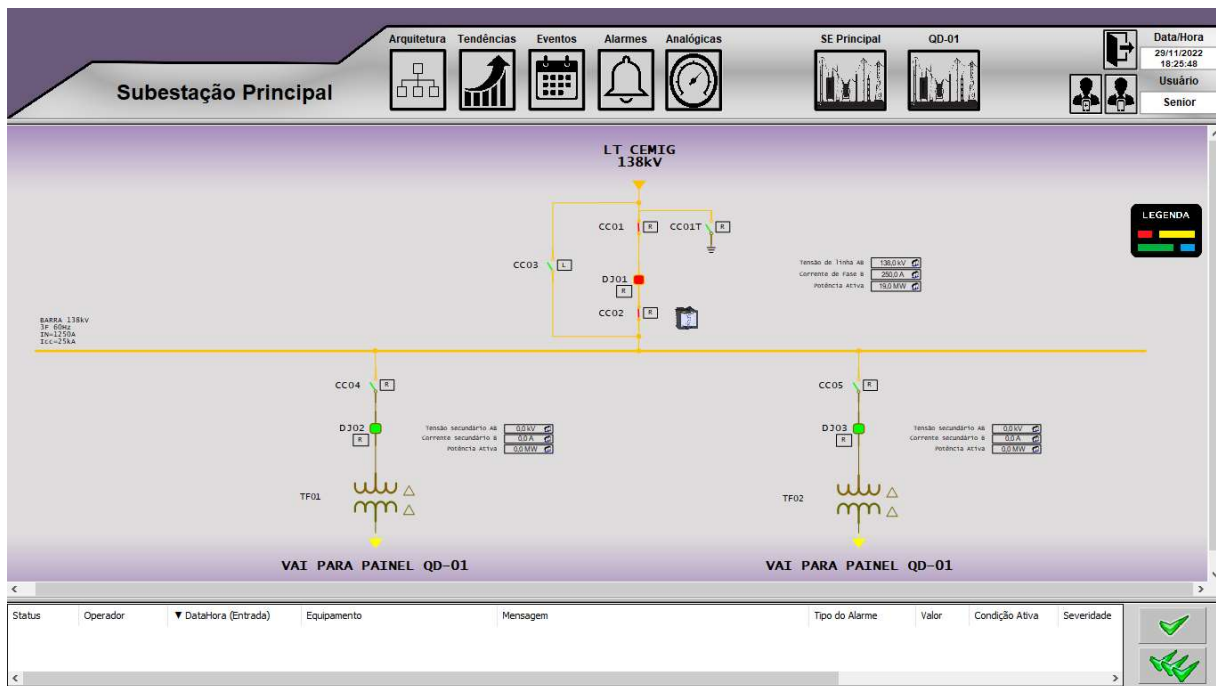
Com esta propriedade alterada nos equipamentos, juntamente com as demais medidas discretas contempladas nestes circuitos, tais como: local/remoto, pronto para operar, trip, estado da mola de abertura do disjuntor, etc., alteradas pela interface de ajuste de alarme digital (Figura 22) foi possível visualizar o comportamento das animações dos barramentos e do próprio equipamento (Figura 23).

Figura 22 – Interface de ajuste de alarme digital das medidas discretas.



Fonte: Próprio Autor

Figura 23 – Teste de simulação das animações dos disjuntores e barramentos.

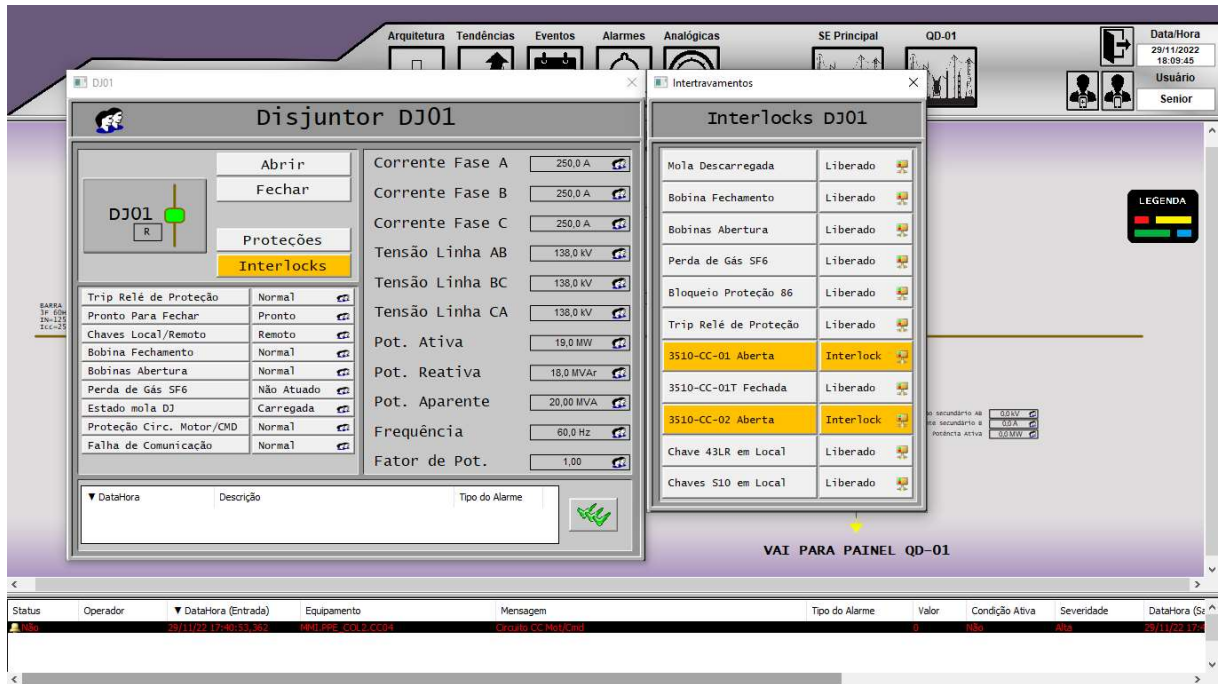


Fonte: Próprio Autor

7.2 Testes de comandos/manobras dos equipamentos em condições normais e sinalização de intertravamentos e proteções atuadas

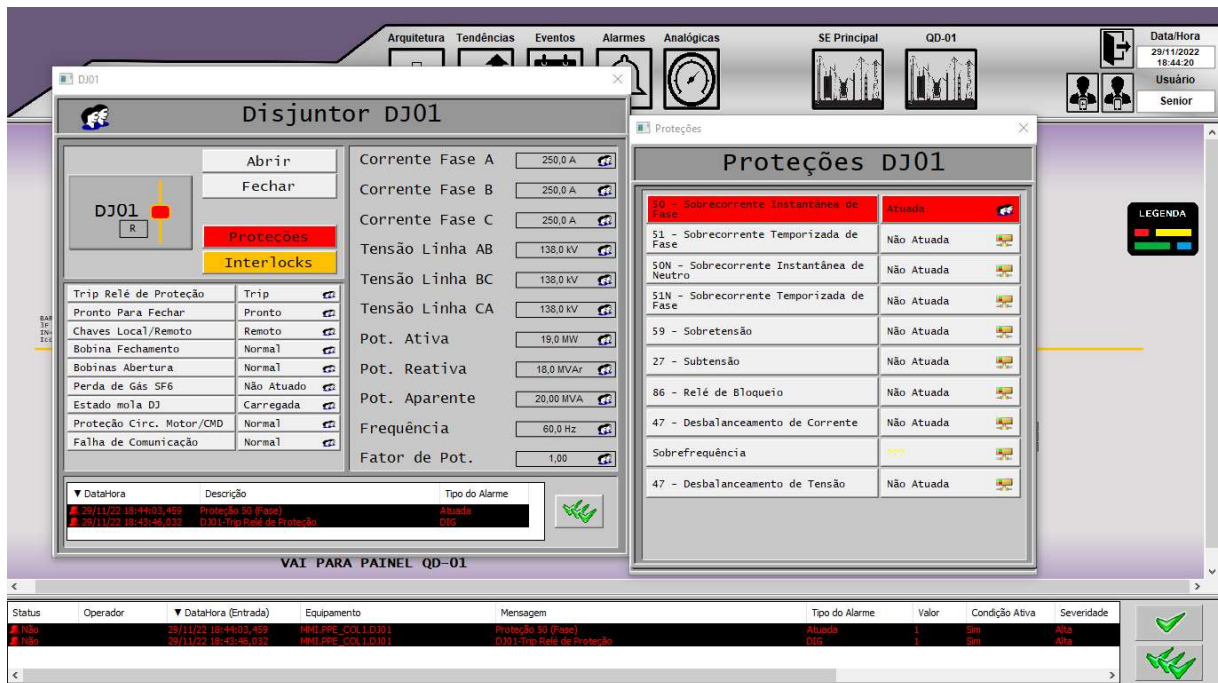
Seguindo o roteiro dos testes em plataforma, foi possível realizar os comandos de acionamentos dos disjuntores e verificar o comportamento das animações do supervisor além de verificar as funcionalidades das possíveis atuações indevidas como, por exemplo a tentativa operacional de manobra de um disjuntor em modo intertravado (Figura 24). Quando o equipamento está com “interlocks” ativos, a animação do botão de chamada da tela modal de intertravamentos deve ser estar em *flash* indicando a condição indevida, esta mesma funcionalidade se aplica à sinalização de proteção atuada (Figura 25). Estas sinalizações de proteção são indicativas em várias interfaces do supervisor, como *banner* de alarmes e telas modais e, enquanto ativas, devem intertravar o comando de manobra do equipamento (Figura 26).

Figura 24 – Sinalizações de intertravamentos dos disjuntores.



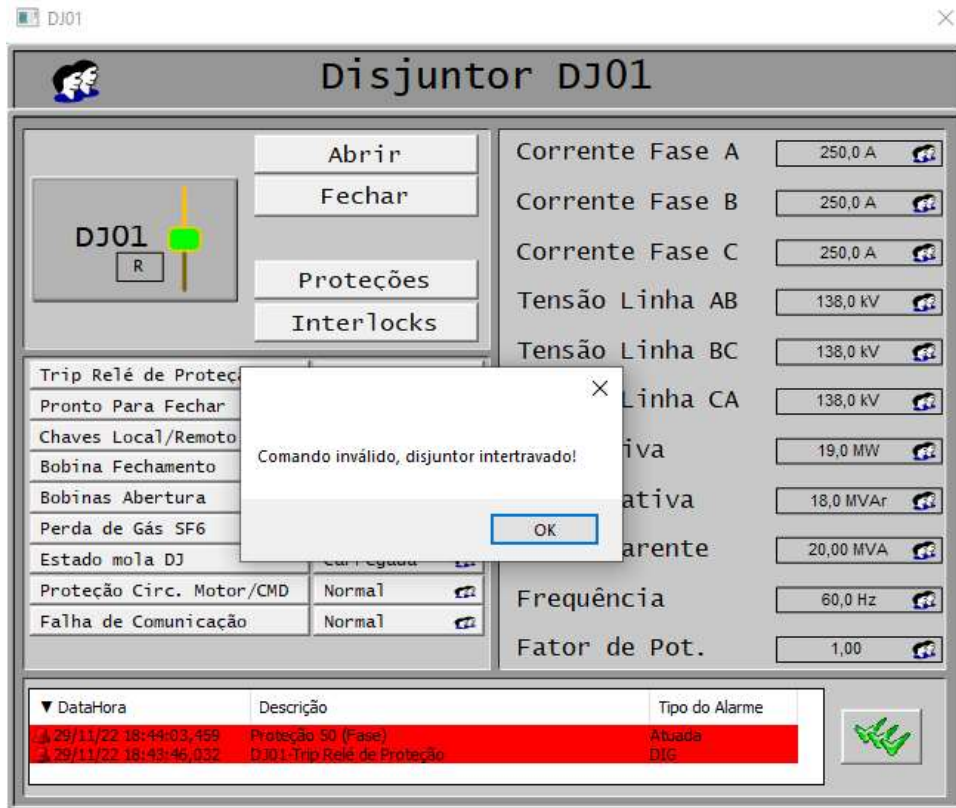
Fonte: Próprio Autor

Figura 25 – Sinalizações de proteção atuada dos disjuntores.



Fonte: Próprio Autor

Figura 26 – Sinalização de intertravamento do disjuntor impedindo o comando de manobra.

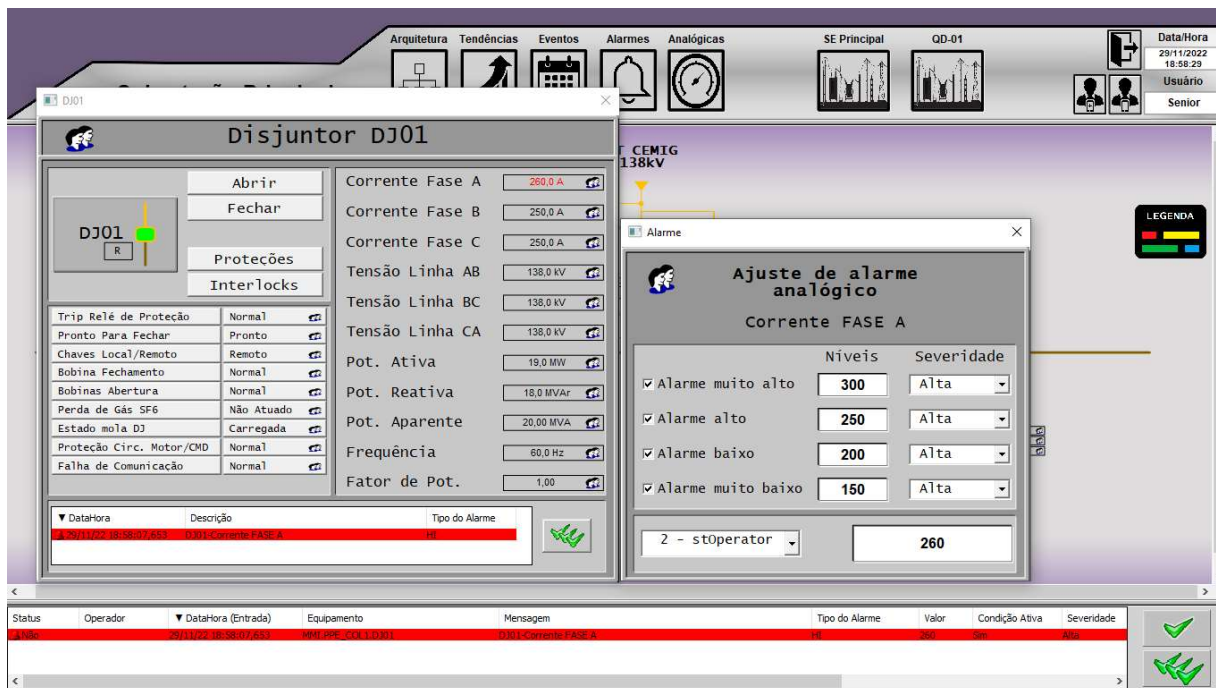


Fonte: Próprio Autor

7.3 Testes de simulação dos sinais analógicos e animação dos seus estados e sinalização de alarmes

Outra simulação possível do comportamento do sistema foram os ajustes dos níveis de alarme das variáveis analógicas, onde se verificou as animações nos *displays* das grandezas, fazendo a medida alterar a sua cor de acordo com nível de alarme atuado e a indicação do alarme referido no *banner* individual do equipamento e no *banner* geral da tela, no quadro inferior (Figura 27). Estes testes foram realizados ativando individualmente os níveis de alarmes, alterando o valor de atuação em cada nível e variando o valor da analógica, tudo isso na tela modal de ajuste de alarme analógico criada e inserida nas bibliotecas customizadas.

Figura 27 – Simulação dos alarmes analógicos pela tela de ajustes das variáveis.

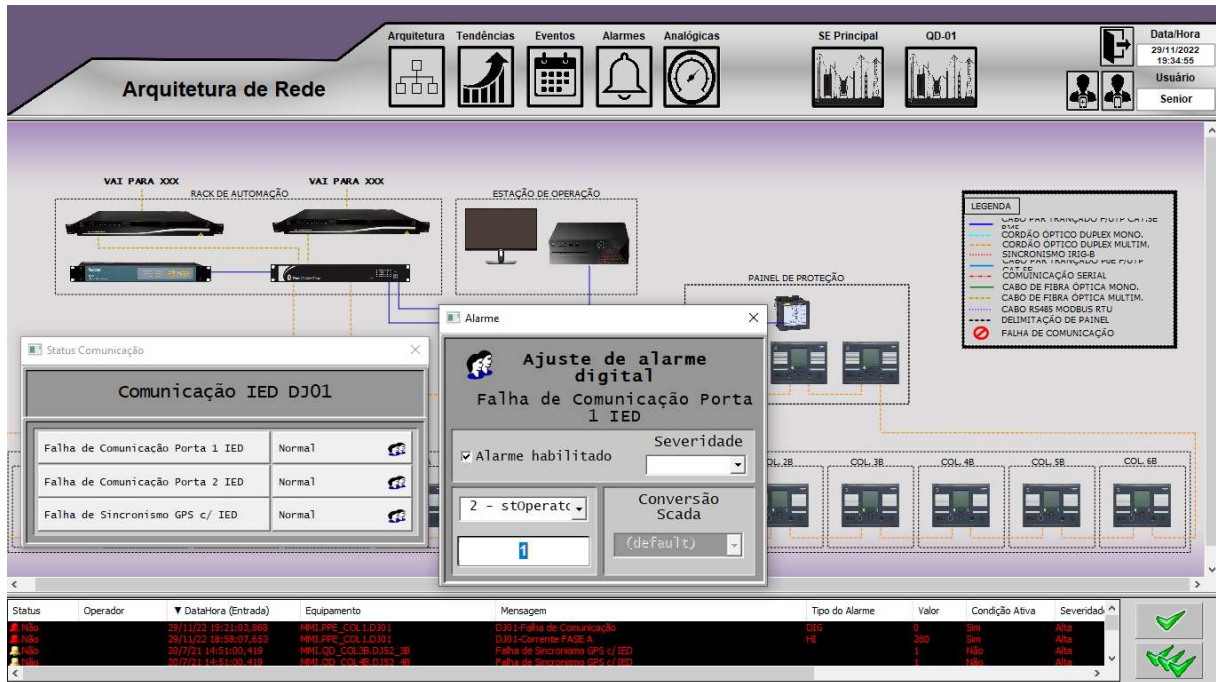


Fonte: Próprio Autor

7.4 Testes com simulações de sinalizações de estados de comunicação dos equipamentos

Na tela de arquitetura, a sinalização de *status* de comunicação dos equipamentos é evidenciada com uma simbologia de falha de rede, visualizado anteriormente na Figura 15. Com o auxílio da interface de ajuste de alarme digital foi possível simular o comportamento desta sinalização de rede e atuação dos alarmes no *banner*, conforme esperado na funcionalidade do supervisor (Figura 28). Além disso, também foi possível simular individualmente cada uma das possíveis falhas de rede e acompanhar o surgimento das suas sinalizações na interface de alarmes do supervisor.

Figura 28 – Simulação da sinalização de falha de rede dos IEDs.

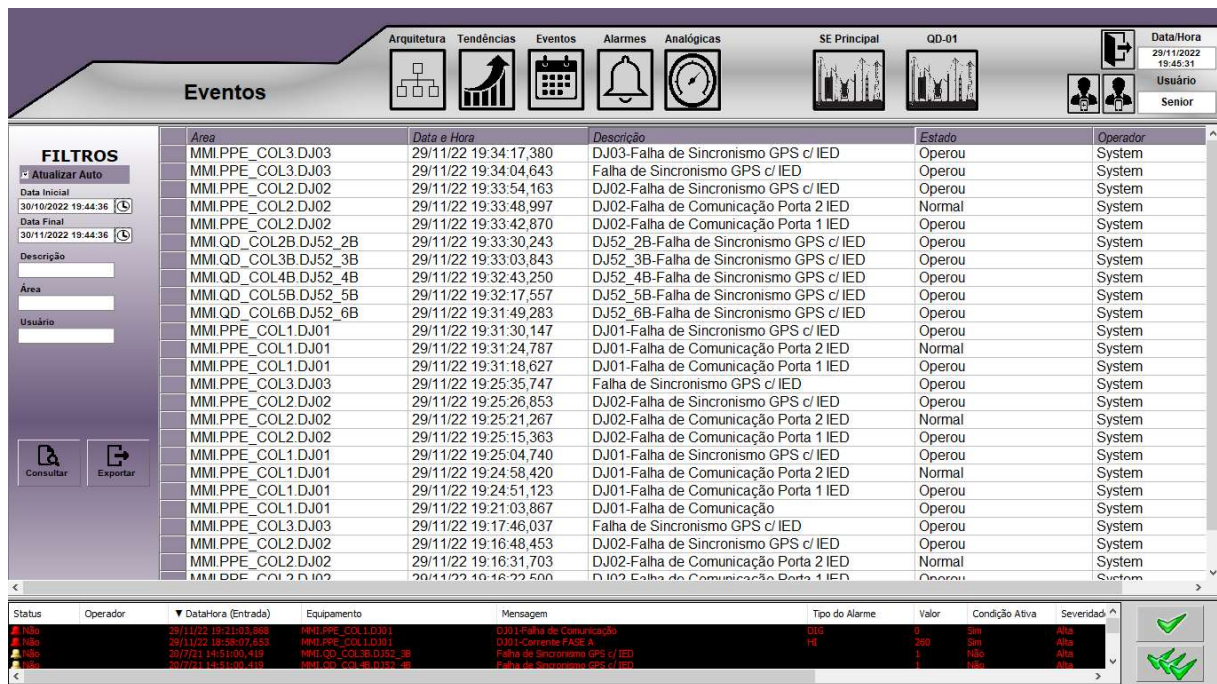


Fonte: Próprio Autor

7.5 Testes de pesquisa de dados e registros de sinalizações dos eventos no historizador

Na interface da tela de eventos foi possível verificar todos os registros dos testes anteriores, visualizando a mudança de estados das variáveis do simuladas no processo de testes de plataforma anteriormente, tais como: falhas de sincronismo com GPS, atuações de trip, reconhecimento de alarmes, comandos de manobras, etc., conforme pode ser visto na Figura 29. Um outro teste secundário a esta visualização é o teste de conexão com o sistema de banco de dados que, caso não tivesse sido estabelecida com sucesso, a visualização da tela, juntamente com a realização de consultas e filtros, que são as principais funcionalidades desta interface, não poderiam ter sido efetivadas.

Figura 29 – Verificação das atuações de simulação na tela de eventos do supervisorio.

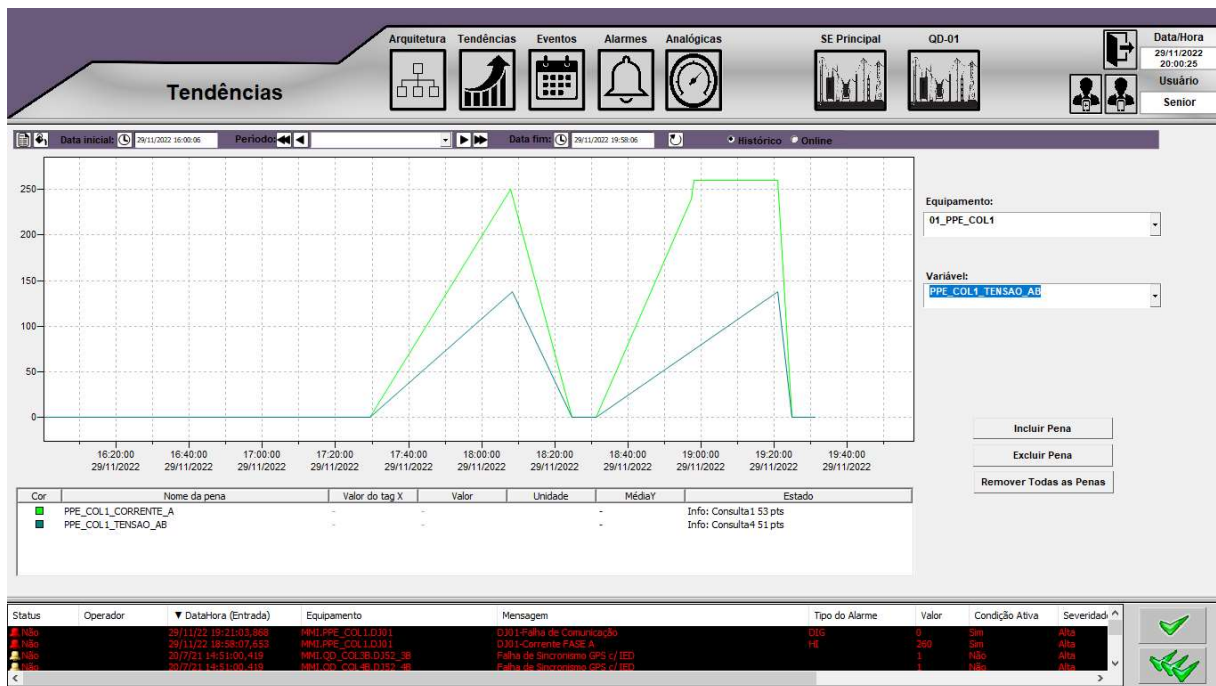


Fonte: Próprio Autor

7.6 Testes de pesquisa de dados das variáveis analógicas no gráfico de tendências

Na interface da tela de tendências foi possível realizar os filtros de consulta históricas das variáveis analógicas e novamente testar a assertividade da conexão com o banco de dados, além de conferir a funcionalidade do comparativo de inclusão de mais de uma variável no mesmo gráfico o que é muito utilizado para analisar, por exemplo, os níveis corrente, frequência e tensão em um caso de atuação de proteção elétrica em um circuito de potência. O teste de pesquisas e inclusão de penas no gráfico de tendências está evidenciado na Figura 30.

Figura 30 – Verificação de consultas históricas na tela de tendências do supervisório.



Fonte: Próprio Autor

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dado o exposto, foi verificado todo o processo de desenvolvimento do sistema de supervisório de subestações desde a sua concepção, com a definição dos principais os parâmetros do sistema elétrico e de automação, passando pelo desenvolvimento do *software* aplicativo de supervisão, com a elaboração de bibliotecas customizadas e configuração dos processos e interfaces, até a verificação das funcionalidades com a realização de testes em plataforma de simulação.

Com a realização dos testes foi possível fazer correções de funcionalidades das interfaces, tais como ajustes de sinalizações de alarmes, ajustes de textos explicativos, correção de valores e sinalizações de variáveis, testes de conexão com o sistema de banco de dados, entre outros, sem a necessidade de integração e/ou interconexão com outros equipamentos.

Ao final dos testes de plataforma e desenvolvimento e teste foi constatado a eficácia e funcionalidade do sistema de supervisão de subestações e a possibilidade de replicação para outros projetos e aplicações com as mesmas configurações e/ou características elétricas, em função da flexibilidade do aplicativo desenvolvido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ISA - International Society of Automation. (janeiro de 2020). *Introdução à Norma ISA-101: Interfaces Homem-Máquina*. Fonte: ISA/SP: <http://isasp.org.br/wp-content/uploads/2020/01/ISA-101-III-Simp%C3%B3sio-ISA-S%C3%A3o-Paulo-Sabesp-Nov2016.pdf>
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (Dezembro de 2003). NBR 14039. *Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV*.
- Comaccio, A. F., Silva, A. F., & da Costa, D. T. (24 de junho de 2017). *Norma IEC 61850: testes de velocidade das mensagens Goose*. Fonte: Eletricidade Moderna: https://www.arandanet.com.br/revista/em/materia/2017/06/23/norma_iec_61850.html#:~:text=Vis%C3%A3o%20geral%20da%20norma%20IEC,de%20desempenho%20satisfat%C3%B3rio%20do%20sistema.
- de Almeida, E. M. (maio de 2011). NORMA IEC 61850 – NOVO PADRÃO EM AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES. Fortaleza.
- de Vicente, D. T. (2011). APLICAÇÃO DOS PADRÕES DA NORMA IEC 61850 A SUBESTAÇÕES COMPARTILHADAS DE TRANSMISSÃO/DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. São Paulo, Brasil.
- Elipse Software. (14 de janeiro de 2021). Manual do Usuário do Elipse Power (v5.6.74). Elipse.
- Grazziotin, E. (25 de março de 2019). *Arquivos utilizados pelo driver IEC 61850*. Fonte: Elipse Knowledgebase: <https://kb.elipse.com.br/arquivos-utilizados-pelo-driver-iec-61850/>
- Kreutz, F. d. (2014). AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES ATRAVÉS DA NORMA IEC 61850. Porto Alegre, Brasil.
- Miranda, L. R. (2005). Norma Global de Comunicação em Subestações - IEC61850. XVIII SNPTEE (p. 7). Curitiba: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica.
- MTE - Ministério do Trabalho e Emprego. (2016 de abril de 29). NR-10 - Portaria MTb n.º 3.214. *Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade*. MTE n.º 598, de 07 de dezembro de 2004.

- Oliveira, J. (17 de maio de 2016). *Afinal, qual a diferença entre roteador, hub e switch?*
Fonte: Canaltech: <https://canaltech.com.br/produtos/afinal-qual-a-diferenca-entre-roteador-hub-e-switch-66249/>
- Paulino, M. E., & Penariol, G. S. (2016). A Evolução de Sistemas de Proteção e Modelos para Testes de Relés de Proteção. *SGWE Sistemas*, 1-6.
- Pronext Engenharia. (16 de junho de 2021). *Relés de Proteção – Um pouco de história*. Fonte: PRONEXT: <https://pronextengenharia.com.br/historia-reles-de-protecao-1/>
- Souza, R. (02 de junho de 2021). *Redes IEC-61850 – Estudo de Protocolo e Exemplo de Aplicação (Parte I)*. Fonte: Automação Industrial: <https://www.automacaoindustrial.info/redes-iec-61850-estudo-de-protocolo-e-exemplo-de-aplicacao/>
- Venturelli, M. (09 de março de 2017). *Automação Elétrica com IEC 61850*. Fonte: Automação Industrial: <https://www.automacaoindustrial.info/automacao-eletrica-com-iec-61850/>