

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

DANIEL ANDERLINI TEIXEIRA

**USO DE SISTEMAS SUPERVISÓRIOS E DE AUTOMAÇÃO EM
METROFERROVIAS**

**Ilha Solteira
2024**

DANIEL ANDERLINI TEIXEIRA

**USO DE SISTEMAS SUPERVISÓRIOS E DE AUTOMAÇÃO EM
METROFERROVIAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –
Unesp como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Jonatas Boas Leite
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

T266u Teixeira, Daniel Anderlini.
 Uso de sistemas supervisórios e de automação em metroferrovias / Daniel
 Anderlini Teixeira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
 47 f. : il.

 Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -
 Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha
 Solteira, 2024

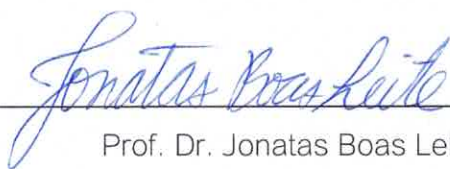
 Orientador: Jonatas Boas Leite

 Inclui bibliografia

 1. Scada. 2. Elipse power. 3. Cabine seccionadora.

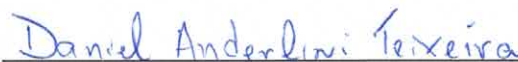
ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos quatorze dias do mês de junho do ano de dois mil e vinte e quatro, o discente **Daniel Anderlini Teixeira**, matriculado sob o nº 171051572, tendo como banca examinadora o seu orientador, o Prof. Dr. *Jonatas Boas Leite*, o Prof. Dr. *Jean Marcos de Souza Ribeiro* e o Mestrando *Alejandro Jose Calix Amaya*, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado **"Uso de Sistemas Supervisórios e de Automação em Metroferrovias"**, obtendo a nota 9,0 (NOVE) e conceito APROVADO.



Prof. Dr. Jonatas Boas Leite

- Orientador -



Daniel Anderlini Teixeira

- Discente -



Prof. Dr. Jean Marcos de Souza Ribeiro

- Membro da Banca -



Mestrando Alejandro Jose Calix Amaya

- Membro da Banca -

AGRADECIMENTOS

Aos meus amigos de faculdade e de vida, com quem compartilhei momentos de estudos, dedicação, amizade e apoio mútuo para passarmos por esse ciclo e agora encerrar com a certeza de missão cumprida.

Principalmente, agradecer aos meus pais, Wilson e Maria Stela, por toda entrega de vida e de alma que fizeram e fazem por mim, me motivando e apoiando durante toda a faculdade, assim como em todos os momentos da vida. Obrigado a minha parceira de vida, Jady, pelo imenso apoio durante o desenvolvimento desse trabalho.

Obrigado ao corpo docente, técnicos de laboratórios e todos os funcionários da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, por fazerem o ensino público e de qualidade se fazer presente durante minha graduação. Em especial, ao professor Jonatas Boas Leite, pelas aulas da matéria Redes De Distribuição de Energia Elétrica Inteligentes, as quais despertaram meu interesse na área de desenvolvimento deste trabalho, assim como também agradeço pela orientação disponibilizada para a elaboração deste.

RESUMO

Este trabalho apresenta o uso do SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) em metroferrovias. A análise abrange o uso do *software* Elipse Power® no desenvolvimento do sistema supervisório em uma cabine seccionadora, abordando os benefícios proporcionados por ele, como maior eficiência operacional, segurança e manutenções mais eficazes. O SCADA realiza a supervisão e o controle remoto de equipamentos como disjuntores e chaves seccionadoras, permitindo uma resposta rápida a falhas. O trabalho também discute sobre o funcionamento de uma cabine seccionadora em uma via metroferroviária, desempenhando um papel de isolamento elétrico em determinadas secções dela, a fim de agir em casos de falhas, manutenções e melhorias. O estudo incluiu uma análise da norma IEC 61850, que contribui para a padronização e interoperabilidade de sistemas como o SCADA, permitindo a integração entre dispositivos de diferentes fabricantes. Os desenvolvimentos realizados permitiram concluir que a adoção do SCADA em metroferrovias é importante para a operação do sistema de transporte de passageiros.

Palavras-chave: SCADA, Elipse Power, cabine seccionadora.

ABSTRACT

This work presents the use of SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) in railways. The analysis covers the use of Elipse Power software in developing the supervisory system for a disconnecting cabin, highlighting the benefits it provides, such as increased operational efficiency, safety, and more effective maintenance. SCADA supervises and remotely controls equipment like circuit breakers and switches, enabling a rapid response to failures. The work also discusses the operation of a disconnecting cabin in a railway, which plays a role in electrically isolating certain sections to handle faults, maintenance, and upgrades. The study included an analysis of the IEC 61850 standard, which contributes to the standardization and interoperability of systems like SCADA, allowing integration between devices from different manufacturers. The research concludes that the adoption of SCADA in railways is crucial for the operation of passenger transport systems.

Keywords: SCADA, Elipse Power, disconnecting cabin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Centro de controle Operacional da CPTM.	15
Figura 2 – Principais componentes de um sistema SCADA.	20
Figura 3 – UTR e suas várias conexões.	20
Figura 4 – Sistema de supervisão e controle.....	21
Figura 5 – Divisões da Norma IEC 91850.....	24
Figura 6 – Representação dos Barramentos de estação, vão e processo na subestação.	24
Figura 7 – Arquitetura de comunicação de uma cabine seccionadora.	29
Figura 8 - Fluxograma de comunicação cabine seccionadora.....	30
Figura 9 – Modelador Elétrico da Cabine Seccionadora.....	34
Figura 10 – Pasta do objeto 72I1.....	35
Figura 11 – Menu de Navegação sistema supervisório	36
Figura 12 – Diagrama unifilar cabine seccionadora com modo de controle em Central.	37
Figura 13 - Diagrama unifilar cabine seccionadora com modo de controle em Local.....	37
Figura 14 – Tela de legendas do Sistema Supervisório.	38
Figura 15 – Cubículo e chave seccionadora em modo Local.	38
Figura 16 – Medições analógicas de todos cubículos.....	39
Figura 17 – Medições analógicas do cubículo 72C2.	39
Figura 18 – Tela Unifilar de Baixa Tensão da Cabine Seccionadora	40
Figura 19 – Tela Diagnósticos Tração.	40
Figura 20 - Alarmes ativos na tela Diagnóstico Tração.,	41
Figura 21 – Tela Diagnóstico BT.	41
Figura 22 – Tela Alarmes.....	42
Figura 23 – Tela Eventos.....	42

LISTA DE SIGLAS

CNT	Confederação Nacional dos Transportes
SCADA	Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados
CCO	Centro de Comando Operacional
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
GPS	Sistema Global de Posicionamento
IHM	Interface Homem-Máquina
PCC	Painel de Comando e Controle
MTU	Unidade Terminal Mestre
UTR	Unidade Terminal Remota
CLP	Controlador Lógico Programável
IED	Dispositivo Eletrônico Inteligente
PDCA	Painel de Distribuição de Corrente Alternada
PDCC	Painel de Distribuição de Corrente Contínua
CEP	Cubículo de Equalização de Potencial
CS	Cabine Seccionadora
CPF	Chaves Porta Fusíveis
BT	Baixa Tensão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DO SETOR METROFERROVIÁRIO PAULISTA.....	14
2.1. CCO – Centro de Controle Operacional.....	14
2.2. Composição do Sistema de Energia Elétrica.....	15
2.2.1. Subestações de energia.	15
2.2.2. Cabine Seccionadora.....	16
3. Sistema Supervisório (SCADA – Supervisory Control and Data Aquisition).	17
3.1. COMPOSIÇÃO DO SISTEMA SCADA.....	19
3.2. Rede de Comunicação.....	21
3.3. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO SCADA	21
4. A NORMA IEC 61850.	23
4.1. Nós Lógicos	25
5. ELIPSE E3.....	26
5.1. ELIPSE POWER.....	28
6. SISTEMA SUPERVISÓRIO DE UMA CABINE SECCIONADORA.....	29
6.1. Painel de Comando e Controle – PCC.....	29
6.1.1. PDCA - Painel de Distribuição de Corrente Alternada	30
6.1.2. PDCC – Painel de Distribuição de Corrente Contínua.....	31
6.1.3. Cubículos de Tração (72I1, 72C1, 72I2 e 72C2).....	31
6.1.4. CEP – Cubículo de Equalização de Potencial Negativo Terra.....	32
6.1.5. Retificadores + Carregadores de Bateria.....	32
6.1.6. Sistema de Proteção Contra Incêndio.....	32
6.2. Supervisório – Elipse Power	32
6.2.1. Modelador Elétrico	33

6.2.2.	Objetos do Elipse Power.....	34
6.2.3.	Driver de comunicação.	35
6.2.4.	Telas do SCADA.....	35
7.	Discussões sobre o uso do Sistema Supervisório.	43
8.	CONCLUSÃO	45
9.	REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

De 2010 a 2022, a população brasileira cresceu 6,5%, chegando a 203,1 milhões de habitantes (IBGE, 2023). Os resultados do Censo 2022 também apontaram que São Paulo segue sendo o estado mais populoso do país, com 44,4 milhões de pessoas, representando um quinto da população do Brasil, sendo 11,2 milhões residentes na cidade de São Paulo (IBGE, 2023).

Essa concentração populacional demanda um eficiente e seguro meio de transporte coletivo de passageiros, onde se encaixa o transporte urbano sobre trilhos, sendo este mais sustentável e eficiente energeticamente em comparação ao transporte rodoviário. Apesar de hoje as malhas rodoviárias do Brasil serem mais desenvolvidas que as ferroviárias, uma pesquisa da Confederação Nacional dos Transportes (CNT) indicou que 67,5% das rodovias brasileiras tem sua extensão classificada como regular, ruim ou péssima (Agência Brasil, 2023). Condições que tornam este meio de transporte mais caro, menos seguro e lento.

Quando se fala em transporte de passageiros, os sistemas metroferroviários são as principais soluções para o transporte em massa. O número de passageiros transportados por viagem é maior, a velocidade média também, com trens existe a ausência de congestionamento de tráfego de veículos e a diminuição de emissão de gases poluentes estão entre as principais vantagens.

Os sistemas de transporte de passageiros sobre trilhos urbanos são fundamentais para a mobilidade em cidades brasileiras. Em 2023, 16 empresas operavam esse tipo de serviço em diversas regiões do Brasil, sendo destas 7 empresas públicas e 9 de natureza privada. Possuindo 1133,4 quilômetros de extensão, 631 estações de 48 linhas, o setor metroferroviário transporta 8,19 milhões de passageiros por dia útil no país, totalizando 2,48 bilhões de passageiros durante o ano (ANPTrilhos, 2022).

Esses números fazem com que a operação desses sistemas metroferroviários seja uma tarefa complexa e de grande responsabilidade, sendo necessária a implementação de estratégias que concentrem todas as informações necessárias para operação, a fim de facilitar o controle da operação e realização de manutenções.

Esta demanda vem de encontro com a solução adotada pelas principais empresas que gerenciam as linhas de trens e metrô da cidade de São Paulo, o SCADA – Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA), do Inglês *Supervisory Control and Data Acquisition*. O SCADA engloba os principais processos operacionais, visando integrar em interfaces de *softwares* as informações que auxiliam os operadores do setor no gerenciamento de operações comerciais diárias, além de tornarem o planejamento e tomadas de decisões estratégicas precisos e confiáveis.

1.1. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho de graduação é analisar o uso do *software* Elipse Power® no controle e supervisão de uma cabine seccionadora em uma linha de trem, buscando avaliar sua eficácia, confiabilidade e contribuições para a operação segura e eficiente do sistema metroferroviário. Devem ser realizados testes do sistema supervisor, analisando o desempenho, comunicação e operação como um todo, visando identificar os benefícios e desafios da aplicação do Elipse Power® nesse contexto.

2. CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DO SETOR METROFERROVIÁRIO PAULISTA

Para garantir uma operação segura e eficiente do transporte sobre trilhos é necessário complexas instalações para controle de fluxo de passageiros e trens. Estas instalações precisam de uma fonte de energia elétrica confiável, a fim de garantir a operação ininterrupta, principalmente, de dispositivos essenciais para segurança dos trabalhadores, passageiros e equipamentos. Para tratar desta distribuição de energia elétrica, este trabalho demonstra a utilização do software Elipse Power® no controle e comando de uma cabine seccionadora.

Todos os dados necessários para controle de um sistema de distribuição de energia elétrica em uma linha de trem são concentrados no Centro de Comando e Operacional (CCO).

2.1. Centro de Controle Operacional.

Com o intuito de facilitar o gerenciamento e controle de todas as operações ao mesmo tempo, surge a centralização das informações em um único local, chamado de CCO. Este é composto, usualmente, por postos de monitoramento e telas que gerenciam todos os sistemas de circulação de trens, fluxo de passageiros, segurança, sistemas de energia, bloqueios de entrada e saída, sistemas de ventilação, sistemas de detecção e combate a incêndio entre outras funções. Funciona como um cérebro da operação comercial das linhas de trens ou metrô sob a responsabilidade de uma determinada empresa.

As informações cruciais do sistema, como por exemplo medições de energia elétrica em um determinado elemento da via, são exibidas telas para os operadores. Através delas é possível, entre outras coisas, alterar o estado de um disjuntor, chave seccionadora ou saber qual proteções elétricas estão atuadas.

O sistema SCADA, que engloba estes painéis com telas de monitoramento, é o que auxilia o CCO durante a operação, fornecendo as informações para os operadores poderem tomar as decisões corretas. A Figura 1 demonstra o CCO da CPTM (Companhia Paulista de Trens Metropolitanos) em operação.

Figura 1 – CCO da CPTM.



Fonte: Mobilidade Sampa.

2.2. Composição do Sistema de Energia Elétrica

A tração elétrica no transporte metroferroviário em São Paulo é realizada com corrente contínua que alimentam os motores elétricos nos trens. A energia é proveniente da rede pública de alimentação, sendo realizada a conversão da corrente alternada em corrente contínua na tensão nominal da linha de contato pelas subestações retificadoras.

2.2.1. Subestações de energia.

As subestações são instalações cruciais no sistema de alimentação para os trens, são responsáveis por converter e distribuir energia elétrica para as linhas que alimentam os trens através dos pantógrafos. Entre seus componentes principais estão: transformadores, retificadores, disjuntores, chaves seccionadoras e painéis de controle. As subestações podem ser:

- Subestação Primária: conectadas diretamente à rede de transmissão de alta tensão;
- Subestação Secundária: são alimentadas pela subestação primária e transformam a energia para os níveis usados diretamente pelos trens.

2.2.2. Cabine seccionadora.

Uma cabine seccionadora permite o isolamento elétrico de seções específicas e da rede de alimentação elétrica dos trens. São necessárias quando o sistema apresenta alguma característica de falha elétrica ou mecânica, ocasionando, por exemplo, em um curto-circuito. As cabines permitem, também, através da isolação elétrica, uma manutenção do sistema de forma mais segura. Seus principais componentes são: seccionadora, dispositivos de proteção, disjuntores, painéis de controle e banco de baterias.

3. SISTEMA SUPERVISÓRIO

SCADA é um acrônimo que é formado pelas primeiras letras de “*Supervisory Control and Data Aquisition*”. Ele permite um operador em uma central de operação operar remotamente um processo amplamente distribuído, como uma planta de óleo ou gás, sistema de irrigação ou um complexo de geração hidrelétrica, para fazer mudanças e atuações através de controladores remotos, para abrir ou fechar válvulas ou chaves seccionadoras, monitorar alarmes e coletar informações de medições (Boyer, 2004).

O SCADA é uma tecnologia que permite coletar dados de uma ou mais instalações remotas e enviar instruções de controle para as mesmas (Boyer, 2004).

Os sistemas supervisórios permitem que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou instalação física (Coelho, 2010). Para isso, todas as variáveis numéricas ou alfanuméricas de um sistema são envolvidas através de *tags*, podendo executar funções computacionais ou representar pontos de entrada/saída de dados.

Um exemplo encontrado em uma cabine seccionadora é o estado de um disjuntor, podendo este ser: aberto, fechado ou indefinido, essas informações estão relacionadas à uma *tag* no SCADA que pode assumir qualquer um destes estados de acordo com o sinal que receber, passando assim a situação para o CCO.

O SCADA pode também verificar condições de alarmes, sendo possível programar a gravação de registros em banco de dados. Além disso, através dos painéis sinóticos é passado através de ativação de som, mudança de cores, entre outros meios, a gravidade do alarme para a operação e as atitudes podem ser tomadas de forma remota (Coelho, 2010).

Com esse monitoramento e controle de um processo realizados a partir de um sistema supervisório, o processamento das variáveis de campo é mais rápido e eficiente, uma vez que imprevistos são rapidamente detectados e ações são imediatamente tomadas a fim de normalizar a situação (Coelho, 2010).

Segundo Dutra (2012), algumas das principais funções de um sistema supervisório SCADA estão descritos a seguir.

- Comando Remoto: através da interface gráfica, o operador é capaz de manobrar equipamentos à distância;
- Monitoração: através de desenhos esquemáticos ou formas gráficas, é apresentado ao operador aspectos da instalação monitorada, como valores de medições, indicações de estado de equipamentos;
- Alarmes: irregularidades funcionais, ocorrências fora do comum, falhas elétricas e/ou mecânicas, entre outras variedades de alarmes são comunicados em tempo real;
- Registro sequencial de eventos: todos eventos presenciados na planta monitorada são registrados, através de uma sincronização de tempo realizada por um equipamento GPS (do Inglês, *Global Position System*);
- Função de Proteção: composta por relés de proteção, intertravamentos, contatos auxiliares, entre outros dispositivos que atuam de forma a proteger o sistema, operadores e o arredor da planta monitorada;
- Seletividade Lógica: esquemas de comunicações entre dispositivos e lógicas de programação que permitem que o sistema atue em situações específicas a fim de normalizar a operação. Como a utilização de sistemas de suprimento de energia elétrica redundantes, onde existem lógicas que alteram entre as fontes para garantir uma alimentação ininterrupta;
- Religamentos automáticos: composto de um algoritmo de controle que atua de forma a reestabelecer automaticamente a topologia de uma subestação em caso de aberto espontânea de um disjuntor;
- Interface Homem-Máquina (IHM): oferece recursos gráficos de animação que permitem o operador analisar o sistema de forma virtual. Na IHM, o supervisor, programa com função de apresentar as unidades monitoradas, alarmes e controles de forma ao operador é executado (Oliveira Jr, 2005). Em suma são as telas apresentadas no CCO e nos Painéis de Comando e Controle (PCC), que são discutidos mais a frente neste trabalho, e o programa supervisor é o Elipse Power®.

3.1. Composição do Sistema SCADA

Os sistemas SCADA integram sistemas de aquisição de dados com sistemas de transmissão de dados e *software* de IHM para fornecer um sistema centralizado de monitoramento e controle para inúmeras entradas e saídas de processos. Eles são projetados para coletar informações de campo, transferi-las para um computador central e exibir as informações ao operador de forma gráfica ou textual, permitindo assim que o operador monitore ou controle um sistema inteiro a partir de um local central em tempo real (Coelho, 2010).

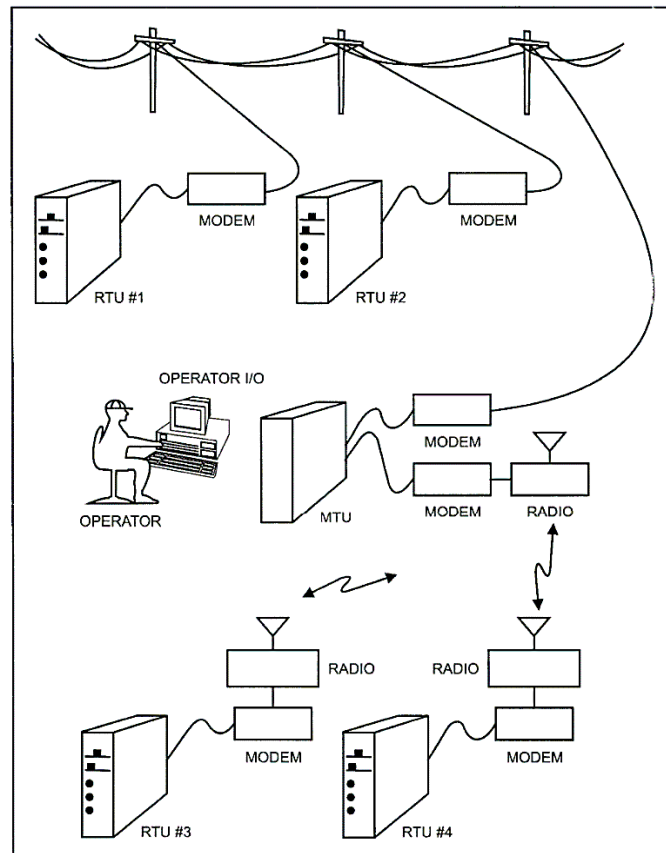
A Figura 2 mostra os principais componentes de um sistema SCADA. No centro está o operador, que acessa o sistema através de uma interface, que geralmente é chamada de IHM, que consiste em uma tela que mostra dados em tempo real sobre o processo e teclas para o operador comandar ou enviar mensagens de volta para ele. O operador tem acesso às unidades terminais mestres (MTU), do Inglês *Master Terminal Unit*, que é o controlador do sistema. Algumas indústrias usam o termo “servidor” ao invés de MTU. A MTU em sistemas SCADA modernos sempre são baseados em computadores e podem monitorar e controlar o sistema em campo mesmo se o operador não está presente. (Boyer, 2004).

Existem 2 tipos mais comuns no estabelecimento da comunicação entre uma MTU e UTRs, como mostrado na Figura 2. Através de cabos, como fibras ópticas ou cabos elétricos e através de rádio. Nos 2 casos, um modem é necessário para estabelecer a comunicação (Boyer, 2004).

A Figura 3 demonstra uma UTR e com algumas conexões. Cada UTR é capaz de entender que uma mensagem foi enviada a ela, decodificar esta mensagem, tomar uma ação a partir dela e respondê-la, caso necessário (Boyer, 2004).

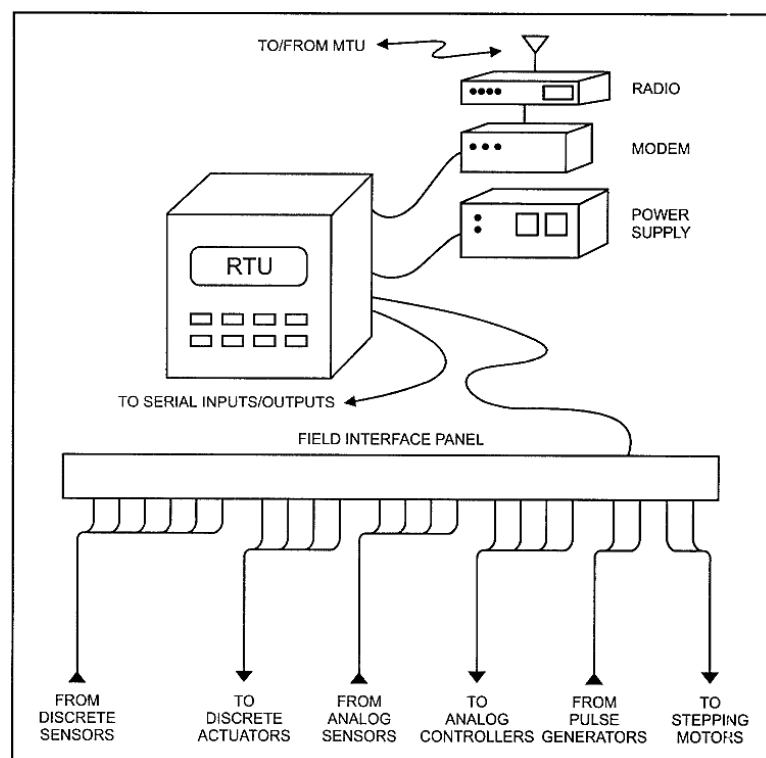
Além das UTRs, existem também Controladores Lógicos Programáveis (CLP), sendo a diferença entre eles é que os CLPs possuem mais flexibilidade na linguagem de programação e controle de entradas e saídas (Coelho, 2010).

Figura 2 – Principais componentes de um sistema SCADA.



Fonte: Boyer, 2004

Figura 3 – UTR e suas várias conexões.

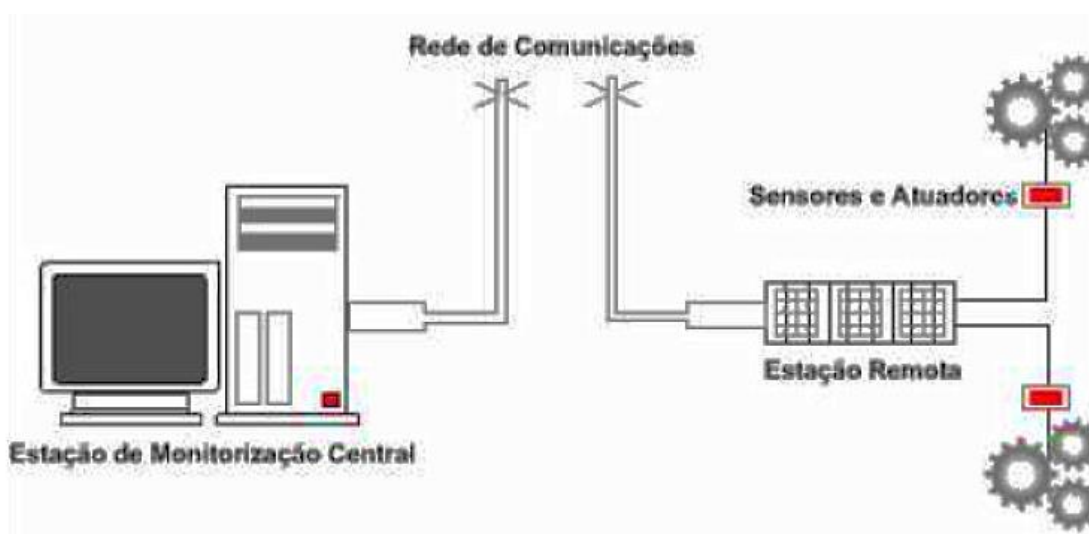


Fonte: Boyer, 2004.

3.2. Rede de Comunicação.

A rede de comunicação é a plataforma por onde as informações fluem dos CLPs/UTRs para MTU do sistema SCADA e, levando em consideração os requisitos do sistema e a distância a cobrir, pode ser implementada através de cabos Ethernet, fibras ópticas, linhas dial-up, linhas dedicadas, rádio modems, etc. (Coelho, 2010).

Figura 4 – Sistema de supervisão e controle.



Fonte: Coelho, 2010.

Na Figura 4, é possível ver a rede de comunicação realizando a interligação de uma estação remota, por exemplo, uma cabine seccionadora, para uma Estação de Monitorização Central, como o CCO.

As redes de comunicação utilizam de protocolos para estabelecer essa troca de dados. No caso de uma rede de comunicação em uma cabine seccionadora, o principal protocolo utilizado é o IEC 61850.

3.3. Protocolos de Comunicação SCADA

Um protocolo de comunicação é definido por Boyer (2004) como um conjunto de regras que definem um padrão de palavras binárias. É estabelecido que as mensagens enviadas entre a MTU e a UTR são uma série de números binários, o protocolo define o que cada um destes números significa.

Existem muitos protocolos de comunicação, sendo necessário avaliar qual deles se encaixa melhor na aplicação desejada. Como encontrar uma padronização nos programas e equipamentos em um livre mercado de fabricantes é dificilmente alcançável, passa a haver um grande interesse em que os dispositivos inteligentes “conversem” com todos os outros, ou seja, que existam normas técnicas de aceitação universal (Moraes, 2001).

4. A NORMA IEC 61850.

Entende-se por interoperabilidade, a capacidade de dois ou mais Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IED), do Inglês *Intelligent Electronic Device*, sejam do mesmo fabricante ou não, de trocarem informações e utilizá-las para uma correta cooperação entre eles. O principal objetivo da norma IEC 61850 é garantir essa interoperabilidade entre os IEDs de diferentes fabricantes, permitindo o uso e a troca irrestrita de informações, formando um sistema de automação, supervisão e controle.

Essa padronização inclui exigências para configuração de banco de dados, definição de objetos, processamento de arquivo e métodos auto descritivos dos IEDs. Os conceitos e soluções fornecidos pelo padrão IEC 61850 são baseados em três princípios fundamentais, elencados a seguir.

- Interoperabilidade: capacidade do IED de um ou vários fabricantes trocarem informações e usá-las em suas funções internas;
- Configuração Livre: suporta diferentes filosofias e permite uma livre alocação de funções. Por exemplo, permite uma configuração centralizada, como nas UTRs, ou uma operação descentralizada, baseada no sistema de controle de uma planta completa;
- Estabilidade de Longo Prazo: o padrão é a prova futura, sendo capaz de seguir o progresso da tecnologia de comunicação tão bem quanto evoluir as exigências do sistema.

Para um melhor entendimento, a norma está estruturada em partes que permitem abordar de forma completa um sistema de automação de subestações. A Figura 5 ilustra as divisões da norma e os comentários sobre cada parte da mesma (Santos & Pereira, 2007).

Na abordagem de aspectos de comunicação, a norma IEC 61850 relaciona partes de funções que são comuns em uma planta a ser monitorada criando modelos de objetos. Por exemplo, em uma cabine seccionadora é comum haver disjuntores, seccionadoras e retificadores, logo são criados modelos que unem as características destes equipamentos, criando uma padronização. Para isso, todas as funções da subestação são divididas em objetos denominados “nós lógicos”, estes se comunicam entre si e possuem todas as informações a serem transmitidas.

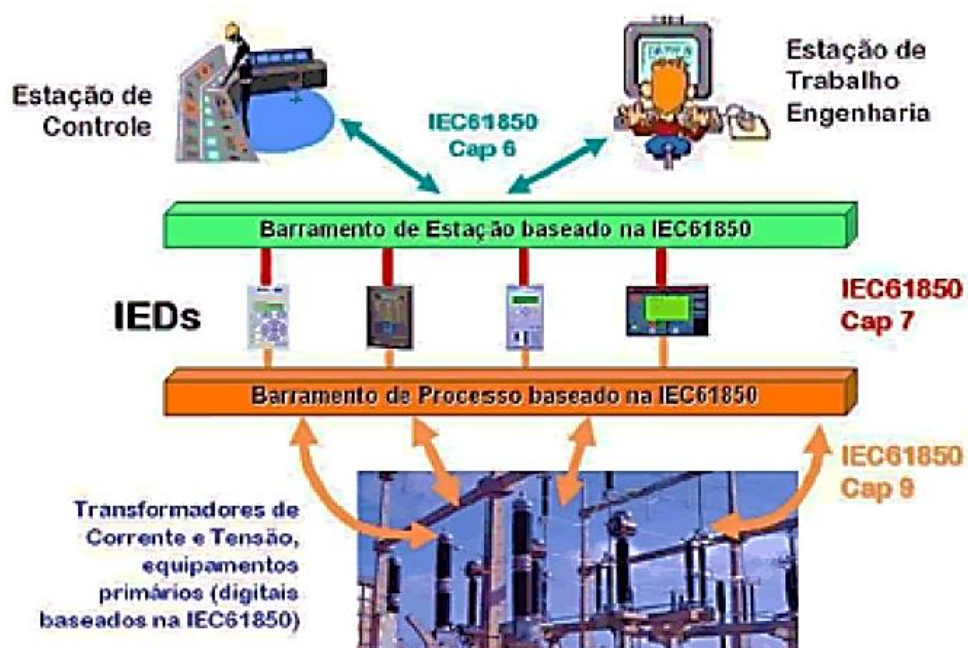
Figura 5 – Divisões da Norma IEC 91850.



Fonte: SANTOS e PEREIRA, 2007.

Com o novo modelo de dados e a utilização da comunicação via rede, a IEC 61850 realiza a separação das aplicações em três níveis hierárquicos, descritos abaixo. A Figura 6 ilustra esta divisão.

Figura 6 – Representação dos Barramentos de estação, vão e processo na subestação.



Fonte: Paulino, 2008.

- Nível de estação: definido pela parte 8-1 da norma, realizando o mapeamento das camadas de comunicação, mensagens e sincronização de tempo;
- Nível de vão (bay): definido pelo modelo de dados e aplicação das funções do sistema, parte 7 da norma;
- Nível de processo: definido pela parte 9 da norma, com os valores analógicos de tensão e corrente amostrados trafegando pela rede (9-2) e mensagens (9-1), também realiza a sincronização de tempo.

4.1. Nós Lógicos

A norma IEC 61850 estabelece que a aplicação seja representada pelo modelo de dados orientado a objeto através de funções padronizadas, denominadas “nós lógicos”. Estes são subfunções que se dividem em novas subfunções. Os nós lógicos podem representar qualquer dispositivo físico real que tenha uma interface de comunicação e seja compatível com a IEC 61850.

5. ELIPSE E3

O Elipse E3 é uma plataforma IHM/SCADA com funcionalidades amplamente aplicadas em redes e aplicações distribuídas, onde há a possibilidade de estabelecer comunicação com diversos dispositivos de aquisição de dados e controle a partir de módulos chamados de drivers de comunicação. São estes drivers que permitem que o software leia e escreva dados que são transmitidos entre a MTU e as UTRs (Elipse, 2019).

Após a coleta dos dados pelo *software*, podem ser desenvolvidas telas, alarmes, eventos, históricos e relatórios afins de exibir, analisar, controlar, comandar, gravar ou apresentar tais informações coletadas e supervisionadas (Elipse, 2019).

A arquitetura do *software* é composta por módulos independentes os quais são responsáveis por atividades específicas. Os quatros principais do Elipse E3 são os *E3 Admin*, *E3 Sever*, *E3 Studio* e *E3 Viewer* (Elipse, 2019).

O *E3 Admin* é o principal módulo, que gerencia e coordena o tráfego de informações entre seus módulos, permitindo que tais módulos sejam executados no mesmo ou em diferentes computadores. Ele é o responsável por monitorar e comandar o *E3 Sever* (Elipse, 2019).

O *E3 Sever* é o servidor de aplicação responsável por executar os principais processos de comunicação com os equipamentos de controle e aquisição de dados, o envio de informações gráficas e dados para os clientes e o sincronismo de alarmes e base de dados (Elipse, 2019).

O módulo *E3 Studio* é utilizado para configuração e desenvolvimento do sistema SCADA, sendo composto por um editor gráfico dotado de ferramentas para elaboração de telas, relatórios e scripts, além de bibliotecas de símbolos (Elipse, 2019).

O último módulo, *E3 Viewer*, é responsável pela interface de operação e exibição da aplicação presente no *E3 Sever* (Elipse, 2019).

O domínio da aplicação é o conjunto de aplicativos que são executados dentro de um ou mais servidores. Nele estão localizadas as interfaces SCADA desenvolvidas com o *software* Elipse. Dentro do domínio estão os projetos e bibliotecas que compõe

uma aplicação principal que estão localizados dentro de um servidor que executa as atividades em sincronia com as informações advindas dos equipamentos de aquisição de dados (Elipse, 2019).

O módulo *E3 Viewer* é conectado tanto ao domínio quanto ao servidor, realizando o carregamento de dados dos projetos em seu servidor de origem em um diretório cache, permitindo que o *Viewer* e o domínio estejam fisicamente em servidores diferentes (Elipse, 2019),

A comunicação se inicia nos drivers de comunicação, este é composto por *tags* de comunicação ou blocos de comunicação, onde cada uma delas possibilita a escrita ou leitura de variáveis do sistema. As *tags* possuem configurações que ditam como a leitura das informações advindas dos equipamentos é realizada. Cada uma das variáveis possuem uma propriedade denominada *Scan*, que determina o tempo de ciclo de atualização, sendo que de acordo com a prioridade dessas variáveis, pode ter um tempo de ciclo maior ou menor. As solicitações enviadas pelo *software* para os equipamentos, como comandos, são executadas com prioridade em relação a varredura das *tags* dos *drivers* de comunicação (Elipse, 2022).

O *IOSever* é quem requisita periodicamente o valor de cada *tag*, sendo repassado qualquer ocorrência de alterações nos valores ou qualidade no sinal delas (Elipse, 2022).

Com a criação de Alarmes é possível definir expressões lógicas que avaliam parâmetros que irão acionar ou não o alarme, mensagens de textos explicativos podem ser geradas, severidade do alarme é definida, sinalizações em tela são geradas. Também é configurado no *software* como alarme é reconhecido pelo operador. Existem cinco tipos de alarmes disponíveis no Elipse: analógico, banda morta, taxa de variação, digital e discreto (Elipse, 2019).

Os alarmes analógicos são destinados para valores de variáveis analógicas classificando-os como muito baixo, baixo, alto e muito alto. Alarmes de banda classificam essas mesmas variáveis analógicas em um valor máximo a partir de uma referência. Alarmes discretos permitem o monitoramento de uma variável através de subcondições com severidades baixa, média e alta.

Porém, o *software* não limita o usuário às configurações padronizadas disponibilizadas por ele. É possível, através de *scripts*, acrescentar funcionalidades específicas para configurar um alarme.

Para o armazenamento das informações dos projetos, o Elipse conta com Banco de Dados, suportando os formatos Access®, Oracle® e Microsoft SQL Sever®. Sendo possível realizar a consulta destes bancos para elaboração de relatórios, gráficos e sumários.

As bibliotecas do Elipse formam uma grande vantagem na apresentação das informações do projeto para o usuário. Estas possuem um conjunto de objetos estáticos ou animados e sinalizações em cores, que auxiliam na criação de telas afim de formar uma interface complexa do processo. O *software* possui bibliotecas com objetos padrões e permite a criação de novos, entregando uma maior flexibilidade no desenvolvimento de telas.

Através das propriedades dos objetos, o *software* permite uma animação deles em telas, assumindo diferentes cores para estados de um disjuntor, por exemplo. Além das propriedades, os objetos possuem métodos e *scripts* que podem ser relacionados ao servidor de alarmes e eventos, a fim de definir o comportamento deles a partir de outras variáveis do processo.

5.1. Elipse Power

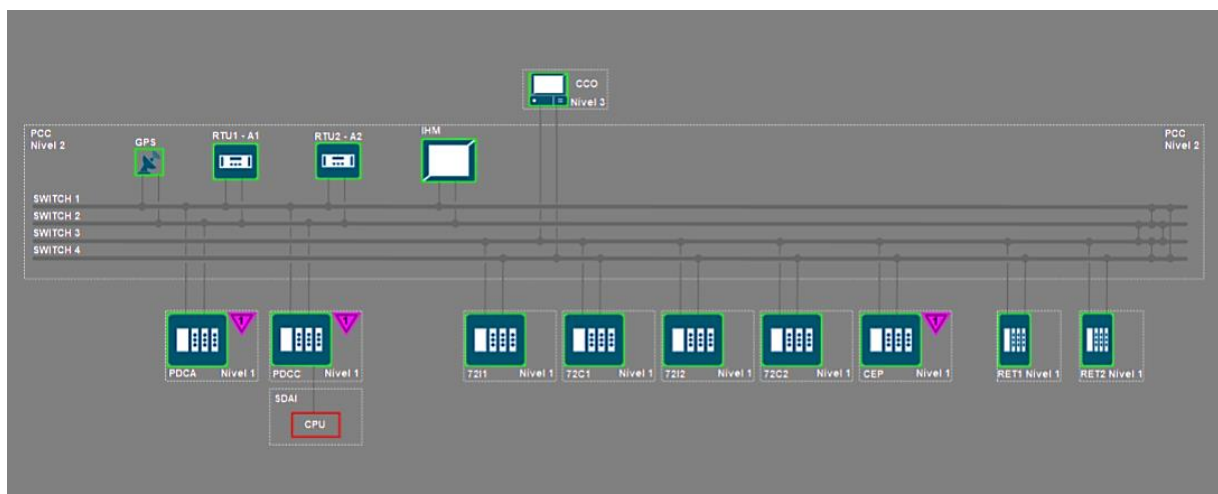
O Elipse Power é um produto da Elipse Software voltado para geração, transmissão e distribuição de plantas de redes elétricas. Ele facilita a configuração de informações do processo de operação através de sua arquitetura integrada, possuindo um ambiente de comunicação, análise e modelagem para aplicações voltadas para esse nicho (Elipse, 2015).

O funcionamento e arquitetura do Elipse Power é, em suma, bem parecido com o do Elipse E3. Uma das funcionalidades é uma ferramenta chamada modelador elétrico, que permite uma modelagem de uma planta elétrica através de padrões já existentes no *software*. Para criação das telas do projeto, é possível utilizar a importação deste modelador elétrico, a fim de gerar automaticamente diagramas unifilares de operação.

6. SISTEMA SUPERVISÓRIO DE UMA CABINE SECCIONADORA

A fim de estudar a utilização de um sistema supervisório em uma cabine seccionadora de uma linha trem, primeiro é apresentado a arquitetura de rede dela, que forma a rede de comunicação da instalação.

Figura 7 – Arquitetura de comunicação de uma cabine seccionadora.



Fonte: próprio autor.

A Figura 7 demonstra uma das telas presentes no supervisório SCADA desenvolvido no Elipse Power® para uma cabine seccionadora de trem, nela está a disposição dos equipamentos em campo e suas conexões de rede, indicando *status* de conexão e falhas gerais. Ao centro dela, dentro do quadrado pontilhado, está o Painel de Comando e Controle (PCC), responsável por concentrar a comunicação da localidade. Os equipamentos interligados no PCC possuem importância para a função da cabine seccionadora na via e são explicados a seguir.

6.1. Painel de Comando e Controle

O PCC é o sistema responsável pelo comando, controle, medição e aquisição de dados dos sistemas compreendidos neste escopo: Sistema de Tração e o Sistema de Baixa Tensão, para comunicação com o supervisório local e CCO. O PCC concentra dois equipamentos para supervisão e comando:

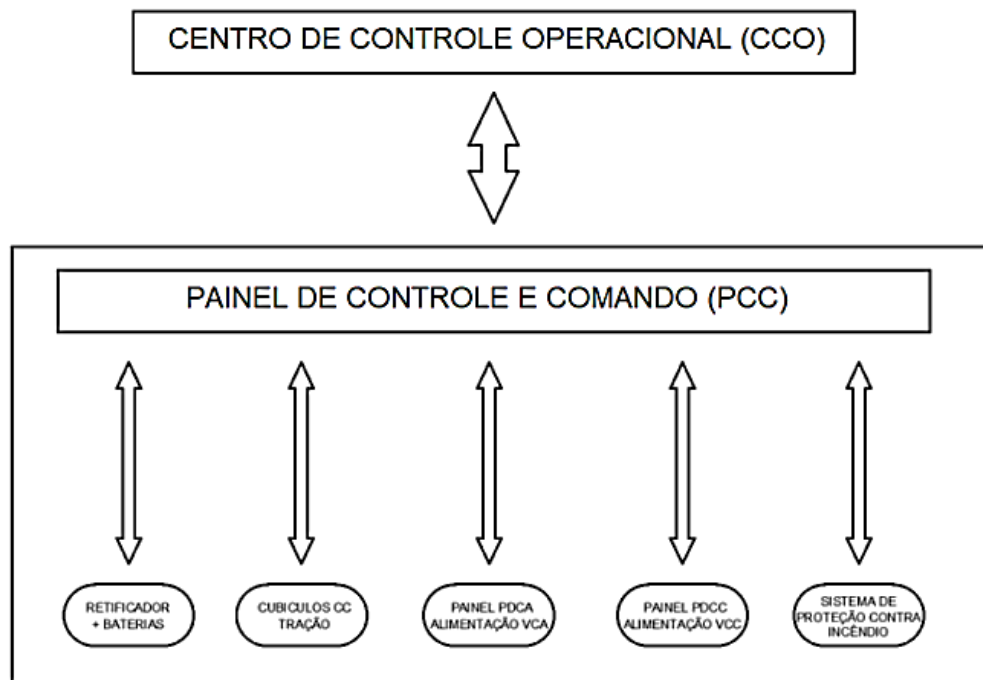
- Remota (UTR) SICAM A8000 com seus módulos de comunicação em IEC-61850 e IEC 60870-5-104;
- Computador de touchscreen (IHM) com supervisório Elipse Power.

A interface de dados entre o PCC e o supervisório utiliza o protocolo IEC 60870-5-104. A interface de dados entre os Relés e o PCC utiliza o protocolo IEC-61850, através de fibras óticas redundantes.

A sincronização de horário entre os equipamentos que compõe o PCC é feita por meio de sistema GPS.

A distribuição de comunicação do sistema do painel de comando e controle se dá da seguinte maneira apresentada na Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma de comunicação cabine seccionadora.



Fonte: próprio autor.

6.1.1. Painel de distribuição de corrente alternada

O painel de distribuição da corrente alternada (PDCA) tem a função de distribuição para todos os circuitos auxiliares de corrente alternada da Cabine Seccionadora, como:

- Circuito de iluminação;
- Circuito de tomadas;
- Circuito de ventilação e climatização;
- Aquecimento;
- Alimentação carregador de baterias.

Este painel consiste em um conjunto de equipamentos como voltímetro, amperímetro, transformador de corrente, transformador de potencial, chave comutadora, disjuntores, relés auxiliares e de subtensão, dispositivo de proteção contra surtos e um UTR Sicam A8000. Sendo o A8000 responsável por interligar a comunicação entre o PDCA e o PCC.

6.1.2. Painel de distribuição de corrente contínua

O painel de distribuição de corrente contínua (PDCC) tem a função de distribuição para todos os circuitos auxiliares de corrente contínua da Cabine Seccionadora, como:

- Circuito de comando;
- Circuito de motores;
- Equipamentos de comunicação;
- Cargas essenciais.

Este painel consiste em um conjunto de equipamentos como voltímetro, amperímetro, resistência *shunt*, chave comutadora, disjuntores, relés auxiliares e um UTR Sicam A8000. Sendo o A8000 responsável por interligar a comunicação entre o PDCC e o PCC.

6.1.3. Cubículos de tração (72I1, 72C1, 72I2 e 72C2)

Cubículos ligados diretamente na rede elétrica que alimenta os trens, em 3.000 Volts em corrente contínua. Estes possuem um relé Sitras MDC que realiza todo monitoramento destes e comando os disjuntores e chaves seccionadoras.

6.1.4. Cubículo de equalização de potencial negativo terra

O cubículo de equalização de potencial (CEP) mantém o negativo do circuito elétrico isolado da terra quando o nível de tensão mantém abaixo do limite definido e interliga o negativo com terra quando o nível é excedido.

6.1.5. Retificadores e carregadores de bateria

Responsáveis por realizar a conversão da energia em corrente alternada em corrente contínua e armazená-la em um banco de baterias.

6.1.6. Sistema de proteção contra incêndio.

É composto por detectores de fumaça e acionadores manuais que são dispostos de forma estratégica por toda instalação.

A interligação entre todos estes equipamentos da cabine seccionadora é composta por um GPS, IHM, *switches*, IHM e a UTR. Sendo que os *switches* conectam todas as redes de comunicação presentes, realizando o direcionamento do fluxo de informação, elas trabalham com redundância, assim como todos os sistemas de uma via de trem. A antena e o receptor de GPS são responsáveis pela sincronização.

A UTR utilizada é o SICAM A8000, ele atua como um dispositivo de aquisição de dados, de forma a centralizar todas as informações enviadas e recebidas pelos equipamentos da cabine seccionadora.

6.2. Supervisório – Elipse Power

A operação do sistema de energia do setor metroferroviário, precisa garantir um equilíbrio entre segurança, qualidade e economia ao fornecer a energia das subestações retificadoras até as demandas do sistema de tração elétrica utilizada para a movimentação dos trens.

No CCO, os operadores monitoram a geração e demanda de energia para as cargas do sistema, sendo necessário um planejamento da operação a curto, médio e

longo prazo, determinando parâmetros e limites técnicos que devem ser seguidos durante a operação diária das linhas de trem. Neste contexto, a implementação da automação e supervisão dos sistemas de energia no setor metroferroviário se torna essencial.

Os sistemas de supervisionamento de uma cabine seccionadora é utilizado como referência para o desenvolvimento dessa discussão. Os dados sensíveis relativos à cabine bem como do sistema de supervisão da linha são ocultados ou trocados por informações fictícias.

A UTR, Sicam A8000, disponibiliza os dados para o sistema supervisório configurado na IHM do PCC. Este sistema supervisório é desenvolvido no Elipse Power® e exibe uma interface, através do E3 Viewer, com todas as informações referentes aos estados dos sistemas de tração elétrica e baixa tensão da cabine seccionadora. Este sistema supervisório também é conectado ao CCO, englobando as informações de todas as cabines seccionadoras da via de trem no mesmo lugar.

6.2.1. Modelador elétrico

O Modelador Elétrico do Elipse Power® é a base para iniciar um desenvolvimento de um sistema supervisório no *software*. Trata-se de uma ferramenta gráfica capaz de criar e manter todo o sistema elétrico, configurando todas as informações elétricas e conectividade do sistema. Nele é configurado a arquitetura base do sistema unifilar da cabine seccionadora, adicionando os equipamentos presentes no sistema de tração.

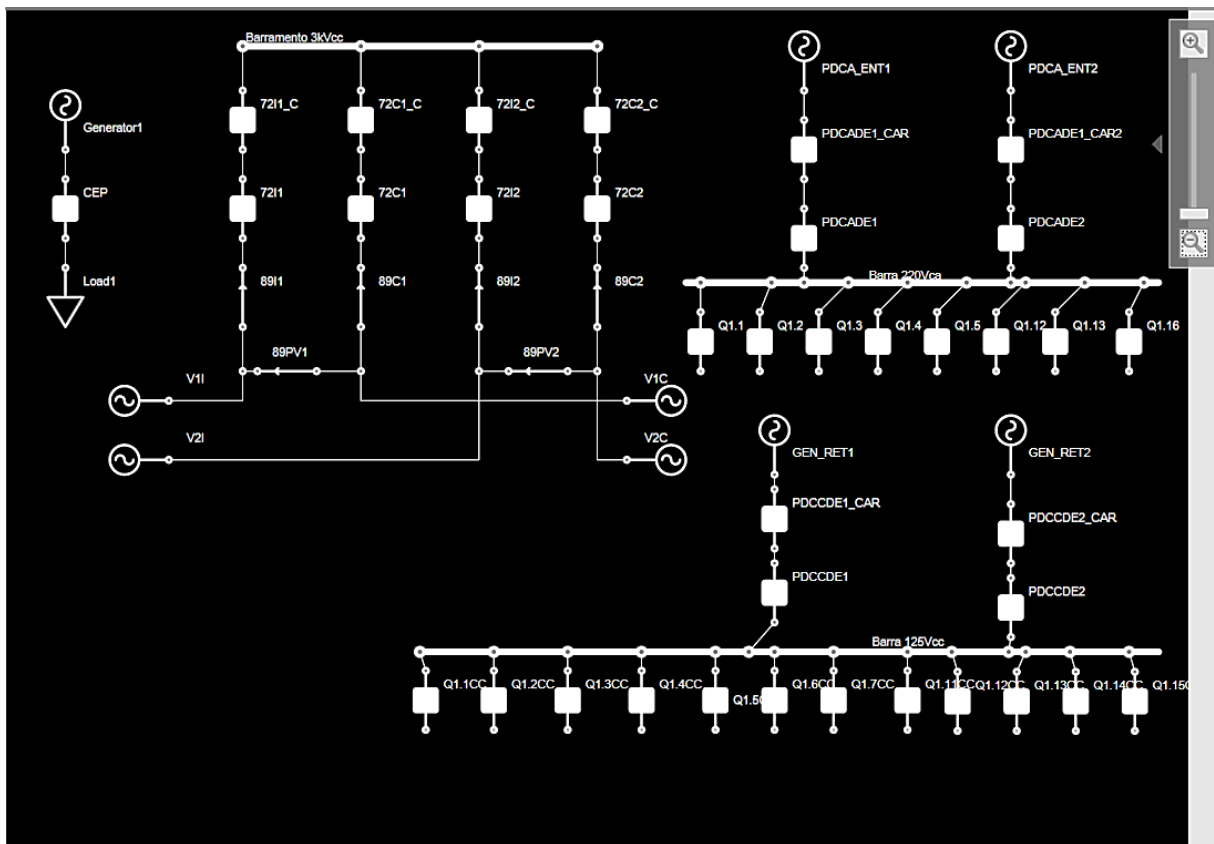
Através dessa modelagem do sistema elétrico é possível gerar automaticamente a tela de diagrama unifilar, diminuindo o tempo de configuração. Suas principais funcionalidades são:

- Animação automática do unifilar dispensando a necessidade de programação: o algoritmo identifica os diferentes níveis de tensão da subestação através de cores customizadas e também sinaliza os trechos energizados e desenergizados;

- Importação de tela: Gera automaticamente os diagramas unifilares de operação;
- TagBrowser: Através do IEC 61850 importa diretamente os *tags* dos IEDs, reduzindo drasticamente possíveis erros e tempo de configuração.

A Figura 9 exibe o modelador elétrico da Cabine Seccionadora estudada nesse trabalho.

Figura 9 – Modelador Elétrico da Cabine Seccionadora.



Fonte: próprio autor.

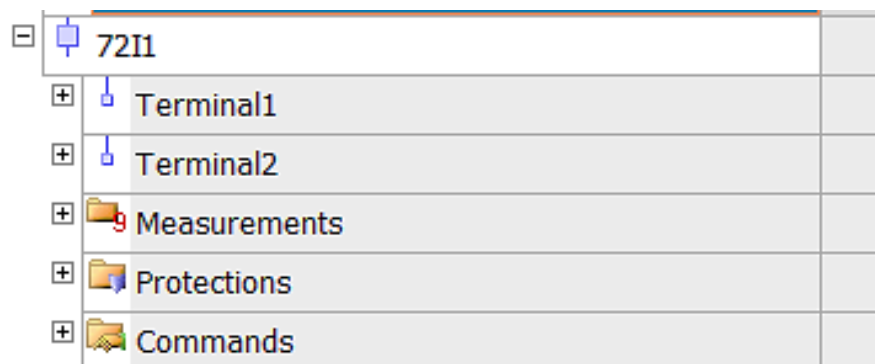
6.2.2. Objetos do Elipse Power

Os objetos são componentes que permitem maximizar o uso e aumentar a qualidade e produtividade no desenvolvimento no ambiente do Elipse Power®. Eles possuem um conjunto de configurações referentes à padronização de tipos de medidas, comandos, proteções, níveis de tensão, cores de *displays* e cores de chaves e disjuntores.

Após a criação do modelador elétrico, configura-se os objetos da Cabine Seccionadora. Para isso, os identificadores (ID) dos equipamentos adicionados no modelador, são atrelados aos IDs dos objetos. Esse ID irá relacionar o objeto ao equipamento, permitindo sinalizações e medições pelo SCADA.

Após isso, são criadas as *tags* de cada ponto monitorado do equipamento. Elas são divididas em três abas: *Measurements*, *Commands* e *Protections*.

Figura 10 – Pasta do objeto 72I1.



Fonte: próprio autor.

Na aba *Measurements* estão contidos alarmes, medidas analógicas e estados do equipamento, como um disjuntor aberto ou fechado. Na aba *Protections* estão as proteções e *Comands*, os comandos.

6.2.3. Driver de comunicação.

Cada *tag* presente nos objetos é atrelada a um endereço para receber ou enviar os dados a partir do sistema supervisório.

6.2.4. Telas do SCADA

No *software* SCADA, existe um menu de navegação que permite ao operador escolher qual tela do sistema ele deseja ter acesso. Este menu está demonstrado na Figura 11.

Figura 11 – Menu de Navegação sistema supervisório

UNIFILAR	BAIXA TENSÃO	ARQUITETURA LOCAL	DIAGNÓSTICO TRACÇÃO	DIAGNÓSTICO BT	ALARMES	EVENTOS	CORTE EMERGÊNCIA	REARME
----------	--------------	-------------------	---------------------	----------------	---------	---------	------------------	--------

Fonte: próprio autor.

No menu navegação é possível também realizar o Corte de Emergência, este desenergiza todo os sistemas da Cabine Seccionadora, impedindo comandos da central ou nas IHMs locais, enviando um comando que abrirá todos os disjuntores e seccionadoras. Esse comando é utilizado em emergências, que é normalizada após o comando rearme for executado.

A Figura 12 mostra a tela Unifilar da cabine seccionadora. Na tela, acima está o modo de controle da localidade, indicando o nome dela. No caso “CS A” é a abreviação de Cabine Seccionadora A. O texto central, indica que o modo de controle da cabine está para o CCO, logo é impossível realizar quaisquer comandos pela IHM do PCC presente na Cabine. Para tornar possível o comando pelo PCC, a chave deve estar em “Local”, como exemplifica a Figura 13. A tela de legendas do sistema supervisório está exibida na Figura 14.

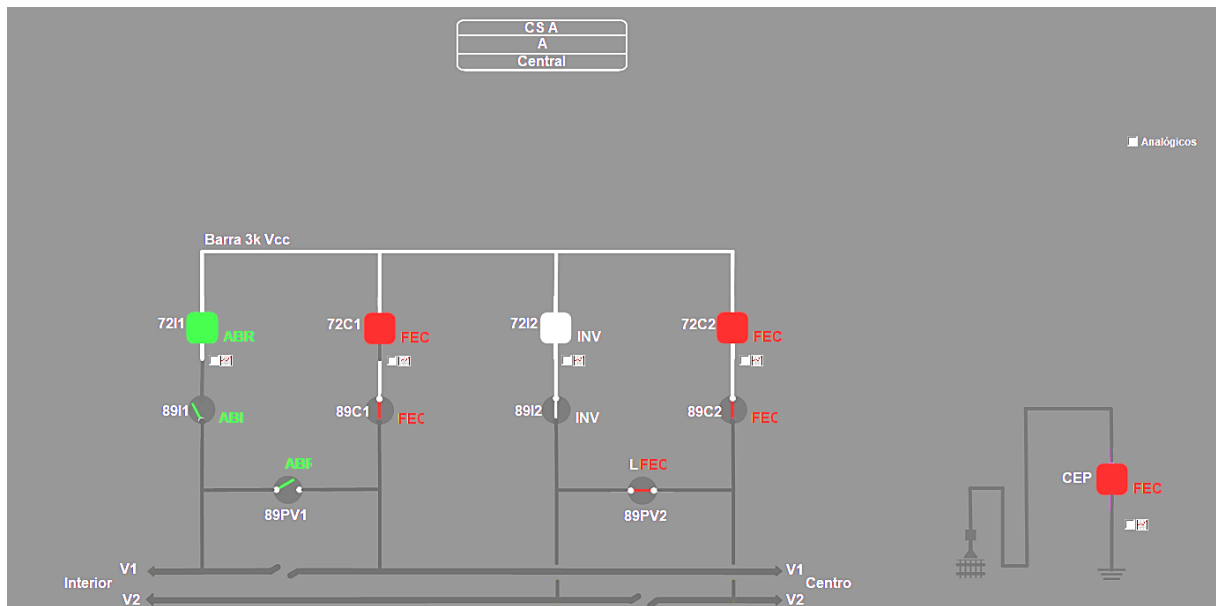
No diagrama unifilar estão dispostos os cubículos de tração e o CEP, acrescentados das chaves seccionadoras. Estas chaves são os equipamentos de manobra responsáveis pela energização ou desenergização dos trechos da via, sendo protegidas pelos cubículos.

Cada cubículo de tração possui um IED responsável pela proteção, controle e monitoramento dos disjuntores e chaves seccionadoras. Este IED é instalado na parte frontal do cubículo e possui uma IHM para realizar a interface com o operador localmente. Através dela, é possível controlar os equipamentos dos cubículos, e todos eles são interligados através de *switches* e cabos de fibra ópticas que formam a rede de comunicação da cabine

Analizando as Figuras 12 e 13 com o auxílio das legendas, pode-se concluir que os disjuntores 72C1 e 72C2, o CEP e as seccionadoras 89C1, 89C2 e 89PV2 estão com estado fechado. O disjuntor 72I1 e a seccionadora 89I1 estão com estado aberto. Já o disjuntor 72I2 e a seccionadora 89I2 estão com estado inválido, indicando que não foi possível concluir sobre ele. Ainda é possível concluir que todos os

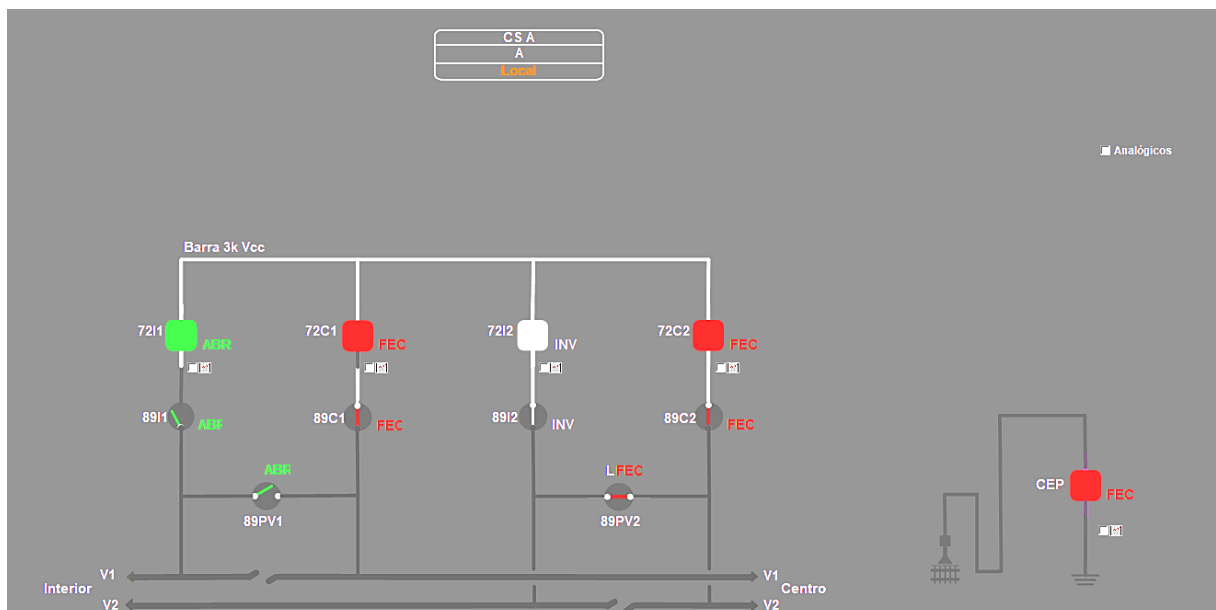
equipamentos estão em modo remoto, impedindo o comando dos mesmos pela IHM dos cubículos.

Figura 12 – Diagrama unifilar cabine seccionadora com modo de controle em Central.



Fonte: Próprio Autor

Figura 13 - Diagrama unifilar cabine seccionadora com modo de controle em Local.



Fonte: próprio autor.

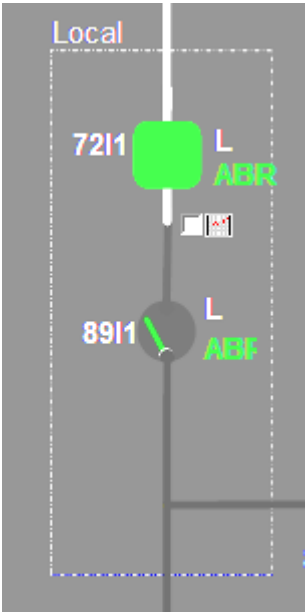
Figura 14 – Tela de legendas do Sistema Supervisório.

	- Disjuntor Aberto		- Equipamento em LOCAL		- Equipamento Selecionado		- Servidor/Computador que está conectado ao domínio
	- Disjuntor Fechado		- Unidade de Controle em LOCAL		- Local sem Comunicação com o Campo		- Acesso a Tela de Legendas/Simbologia do Sistema
	- Disjuntor Inválido ou Indefinido		- Equipamento com Falha de Comunicação		- Local com Comunicação Normal		- Barramento Desenergizado (Aplica-se à
	- Seccionadora Aberta		- Equipamento com Ponto Inválido		- Abrir Pop-Up de Ferramentas do Sistema		- Barramento Energizado
	- Seccionadora Fechada		- Retificador		- Remota		- Fusível
	- Seccionadora Inválida ou Indefinida		- Banco de Baterias		- IEDs		- Alarme Grave
	- Disjuntor Extraído/Teste		- Equipamento em Modo Manual		- Switch		- Alarme Leve
	- Seccionadora sem comando		- Equipamento em Modo Automático		- GPS		- Alarme Crítico/Diagnostico
	- Transformador		- IHM Local		- Usuário Logado		- Habilita visualizações de medições analógicas
	- Chave Comutadora de Três Posições		- Medida Analógica		- Retificador Tração		

Fonte: próprio autor.

A Figura 15 mostra um cubículo e uma chave seccionadora em modo Local.

Figura 15 – Cubículo e chave seccionadora em modo Local.

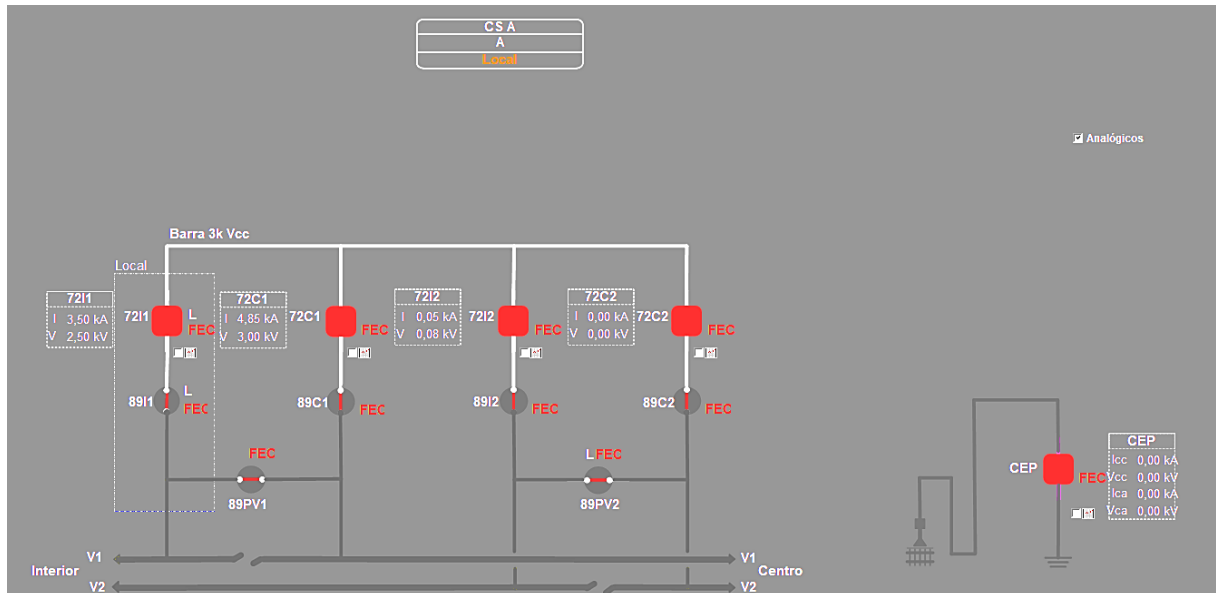


Fonte: próprio autor.

Para ter acesso às informações das medições analógicas, é necessário selecionar o *checkbox* “Analógicos” presente na tela. É possível ver as medições de

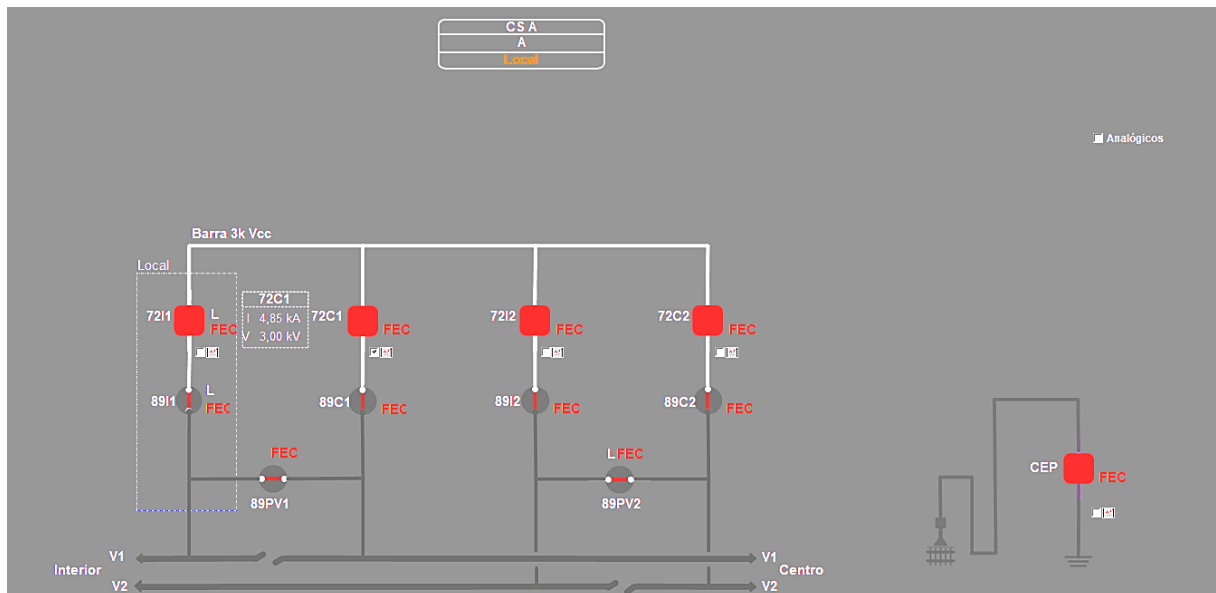
todos os equipamentos de uma só vez, como mostra a Figura 16, ou somente de um cubículo, como mostra a Figura 17.

Figura 16 – Medições analógicas de todos os cubículos.



Fonte: próprio autor.

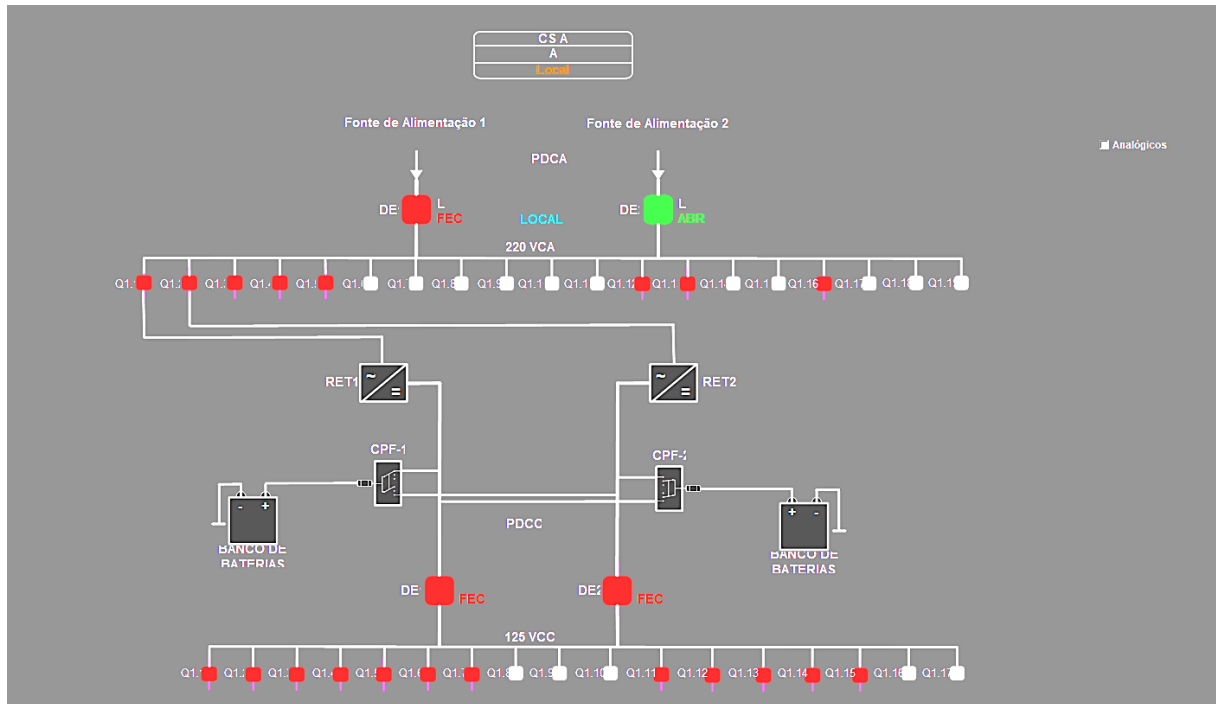
Figura 17 – Medições analógicas do cubículo 72C2.



Fonte: próprio autor.

A Figura 18 exibe a tela unifilar de Baixa Tensão. Nela estão os equipamentos PDCA, Retificadores de Baterias, Chaves Porta Fusíveis (CPF), Banco de Baterias e o PDCC.

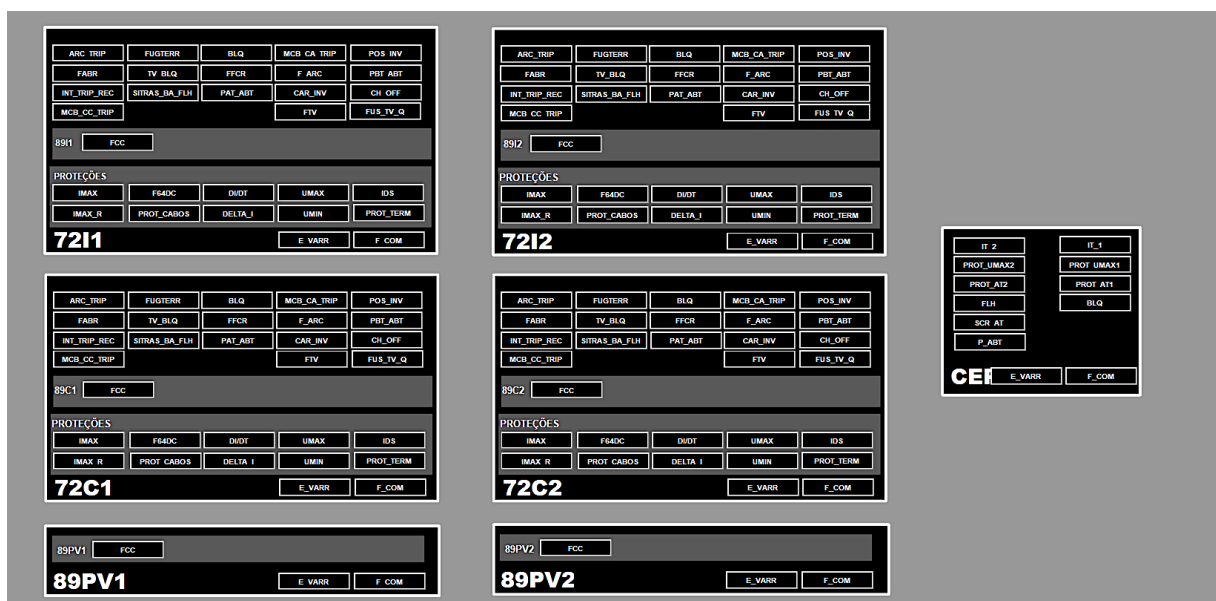
Figura 18 – Tela Unifilar de Baixa Tensão da Cabine Seccionadora



Fonte: Próprio Autor.

A Figura 19 demonstra a tela Diagnósticos Tração. Essa tela exibe os botões de alarmes dos equipamentos presentes na tela Unifilar, que compõem o sistema de tração na cabine seccionadora.

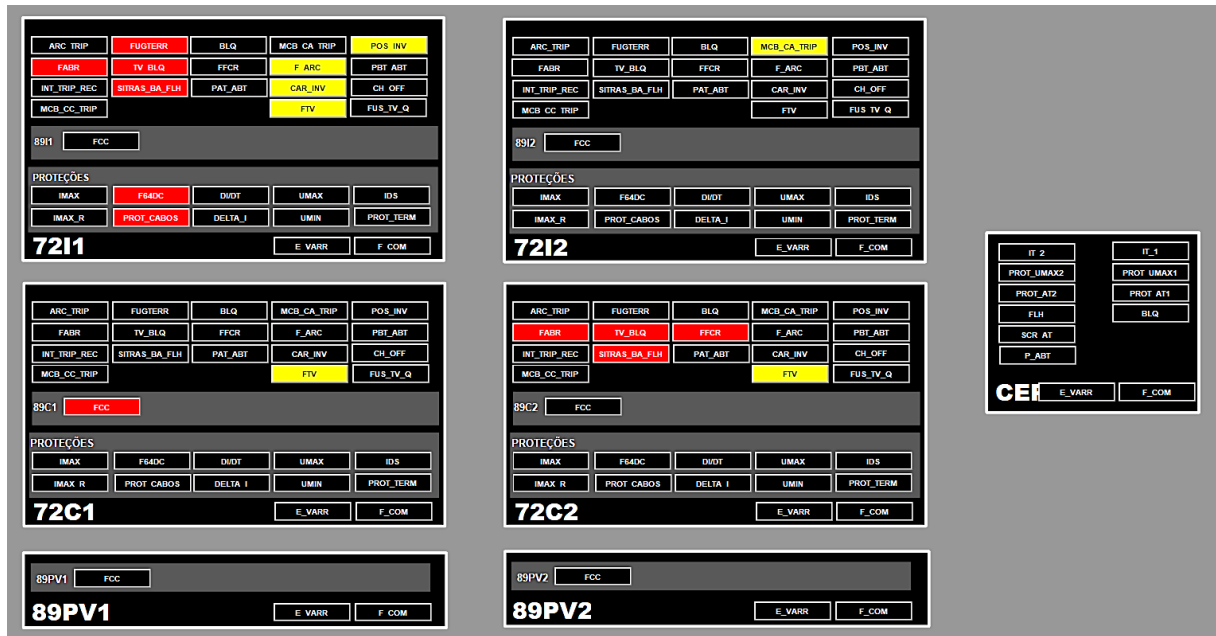
Figura 19 – Tela Diagnósticos Tração.



Fonte: próprio autor.

Cada vez que um alarme é disparado, a UTR recebe esse sinal, transmite para o supervisor que irá sinalizar para o operador destacando o respectivo botão nas cores Amarela ou Vermelho. Amarelo é designado para alarmes com severidade leve, vermelho é para os alarmes graves. A Figura 20 demonstra alguns alarmes ativos na tela do sistema supervisor.

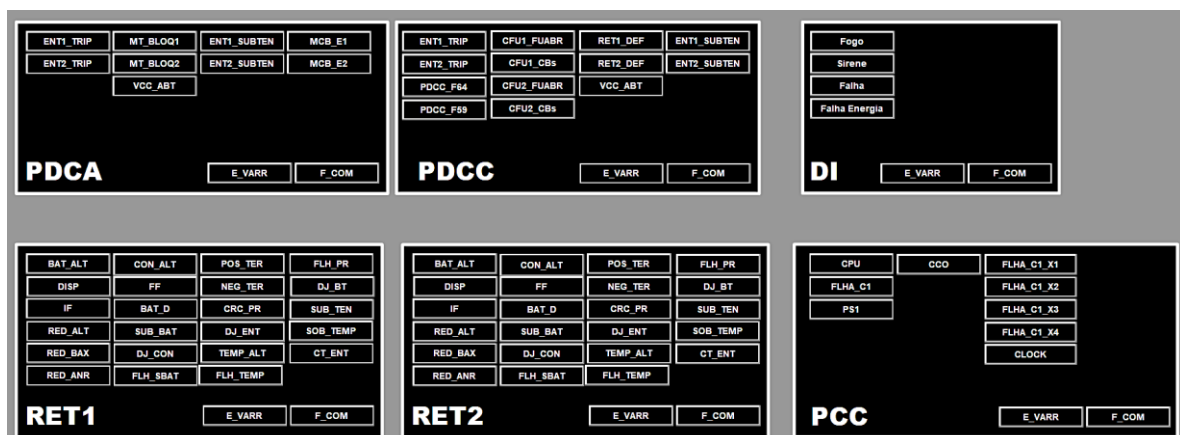
Figura 20 - Alarmes ativos na tela Diagnóstico Tração.



Fonte: próprio autor.

A Figura 21 exibe a Tela Diagnóstico BT, responsável por mostrar os alarmes dos equipamentos de baixa tensão da cabine seccionadora.

Figura 21 – Tela Diagnóstico BT.



Fonte: próprio autor.

A tela Alarmes exibe todos os alarmes ativos, reconhecidos ou não, na cabine seccionadora. Nela há colunas que mostram desde local e hora do alarme, severidade, equipamento que está com alarme, descrição, estado e a *tag* do alarme. A Figura 22 exibe esta tela.

Figura 22 – Tela Alarmes.

Em Alarme		Normalizado		Ambos		Elemento	Local	Limp. Filtros		Reconhecer Selecionados	Reconhecer Todos
Não Reconhecido		Reconhecido		Ambos							
Rec	Usuário que Reconheceu	Data e Hora	Severidade	Local/Elemento	Descrição	Estado/Valor	Ponto				
Sim	a	26/06/2024 17:05:18,409	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - Falha no Teste de Via	Alarme	JURTR72C2FTV				
Sim	a	26/06/2024 17:05:17,881	Alta	CS JUR 89C1	Seccionadora 89C1 - Falha de Tensão 125Vcc	Alarme	JURTR89C1FCC				
Sim	a	26/06/2024 17:05:16,502	Alta	CS JUR 7211	Cubículo 7211 - Proteção Cabos	Alarme	JURTR7211PROTCABOS				
Sim	a	26/06/2024 17:05:16,413	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Proteção Carcaça à Terra 64	Alarme	JURTR7211F64DC				
Sim	a	26/06/2024 17:05:15,829	Alta	CS JUR 72C1	Disjuntor 72C1 - Falha no Teste de Via	Alarme	JURTR72C1FTV				
Sim	a	26/06/2024 17:05:14,652	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - Mandisjuntor CA Desligado	Alarme	JURTR72C2MDCACATRIIP				
Sim	a	26/06/2024 17:05:13,402	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - Falha no Comando Fechar	Alarme	JURTR72C2FFCR				
Sim	a	26/06/2024 17:05:13,081	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - SITRAS MDC Proteção Falha no Módulo BA	Alarme	JURTR72C2SITRASBAFLH				
Sim	a	26/06/2024 17:05:12,499	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - Teste de Via Insatisfatório	Alarmado	JURTR72C2TVBLQ				
Sim	a	26/06/2024 17:05:12,455	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - Falha no Comando Abrir	Alarme	JURTR72C2FABR				
Sim	a	26/06/2024 17:04:28,145	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Posição Inválida	Alarme	JURTR7211FARC				
Sim	a	26/06/2024 17:04:27,588	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Falha no Teste de Via	Alarme	JURTR7211FTV				
Sim	a	26/06/2024 17:04:26,861	Alta	CS JUR 7211	Cubículo 7211 - Falha do Relé de Proteção Contra Arco	Alarme	JURTR7211FARC				
Sim	a	26/06/2024 17:04:25,833	Alta	CS JUR 7211	Carrinho Disjuntor 7211 - Posição Inválida	Alarme	JURTR7211CARINV				
Sim	a	26/06/2024 17:04:23,864	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - SITRAS MDC Proteção Falha no Módulo BA	Alarme	JURTR7211SITRASBAFLH				
Sim	a	26/06/2024 17:04:23,833	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Falha no Comando Abrir	Alarme	JURTR7211FABR				
Sim	a	26/06/2024 17:04:23,127	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Teste de Via Insatisfatório	Alarmado	JURTR7211TVBLQ				
Sim	a	26/06/2024 17:04:21,724	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Fuga a Terra	Alarme	JURTR7211FUGTERR				

Fonte: próprio autor.

A tela Eventos, demonstrada na Figura 23, tem funcionalidade semelhante a de Alarmes, exibindo todos os eventos ocorridos na cabine seccionadora.

Figura 23 – Tela Eventos.

Reconhecer	Severidade	Rec	Severidade	Local	Elemento	Comentário	Ponto	Usuário
02/06/2024 17:05:1	Sim	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - Falha no Teste de Via	Alarme	JURTR72C2FTV	a	
02/06/2024 17:05:1	Sim	Alta	CS JUR 89C1	Seccionadora 89C1 - Falha de Tensão 125Vcc	Alarme	JURTR89C1FCC	a	
02/06/2024 17:05:1	Sim	Alta	CS JUR 7211	Cubículo 7211 - Proteção Cabos	Alarme	JURTR7211PROTCABOS	a	
02/06/2024 17:05:1	Sim	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Proteção Carcaça à Terra 64	Alarme	JURTR7211F64DC	a	
02/06/2024 17:05:1	Sim	Alta	CS JUR 72C1	Disjuntor 72C1 - Falha no Teste de Via	Alarme	JURTR72C1FTV	a	
02/06/2024 17:05:1	Sim	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - Mandisjuntor CA Desligado	Alarme	JURTR72C2MDCACATRIIP	a	
02/06/2024 17:05:1	Sim	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - Falha no Comando Fechar	Alarme	JURTR72C2FFCR	a	
02/06/2024 17:05:1	Sim	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - SITRAS MDC Proteção Falha no Módulo BA	Alarme	JURTR72C2SITRASBAFLH	a	
02/06/2024 17:05:1	Sim	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - Teste de Via Insatisfatório	Alarmado	JURTR72C2TVBLQ	a	
02/06/2024 17:05:1	Sim	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - Falha no Comando Abrir	Alarme	JURTR72C2FABR	a	
02/06/2024 17:05:1	Não	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - Falha no Teste de Via	Alarme	JURTR72C2FTV	a	
02/06/2024 17:05:0	Não	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - Teste de Via Insatisfatório	Alarmado	JURTR72C2TVBLQ	a	
02/06/2024 17:05:0	Sim	Baixa	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - Permissão de Fechar	Detectado	JURTR72C2LIBF	System	
02/06/2024 17:05:0	Não	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - Falha no Comando Fechar	Alarme	JURTR72C2FFCR	a	
02/06/2024 17:05:0	Não	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - Falha no Comando Abrir	Alarme	JURTR72C2FABR	a	
02/06/2024 17:05:0	Não	Alta	CS JUR 72C2	Disjuntor 72C2 - SITRAS MDC Proteção Falha no Módulo BA	Alarme	JURTR72C2SITRASBAFLH	a	
02/06/2024 17:04:5	Não	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Mandisjuntor CA Desligado	Alarme	JURTR7211MDCACATRIIP	a	
02/06/2024 17:04:5	Não	Alta	CS JUR 89C1	Seccionadora 89C1 - Falha de Tensão 125Vcc	Alarme	JURTR89C1FCC	a	
02/06/2024 17:04:5	Sim	Baixa	CS JUR 72C1	Disjuntor 72C1 - Comando Local Abrir	Detectado	JURTR72C1LOCABR	System	
02/06/2024 17:04:4	Não	Alta	CS JUR 72C1	Disjuntor 72C1 - Falha no Teste de Via	Alarme	JURTR72C1FTV	a	
02/06/2024 17:04:4	Não	Alta	CS JUR 7211	Cubículo 7211 - Proteção Cabos	Alarme	JURTR7211PROTCABOS	a	
02/06/2024 17:04:4	Não	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Proteção Carcaça à Terra 64	Alarme	JURTR7211F64DC	a	
02/06/2024 17:04:2	Sim	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Posição Inválida	Alarme	JURTR7211FARC	a	
02/06/2024 17:04:2	Sim	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Falha no Teste de Via	Alarme	JURTR7211FTV	a	
02/06/2024 17:04:2	Sim	Alta	CS JUR 7211	Cubículo 7211 - Falha do Relé de Proteção Contra Arco	Alarme	JURTR7211FARC	a	
02/06/2024 17:04:2	Sim	Alta	CS JUR 7211	Carrinho Disjuntor 7211 - Posição Inválida	Alarme	JURTR7211CARINV	a	
02/06/2024 17:04:2	Sim	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - SITRAS MDC Proteção Falha no Módulo BA	Alarme	JURTR7211SITRASBAFLH	a	
02/06/2024 17:04:2	Sim	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Falha no Comando Abrir	Alarme	JURTR7211FABR	a	
02/06/2024 17:04:2	Sim	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Teste de Via Insatisfatório	Alarmado	JURTR7211TVBLQ	a	
02/06/2024 17:04:2	Sim	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Fuga a Terra	Alarme	JURTR7211FUGTERR	a	
02/06/2024 17:04:1	Não	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Falha no Teste de Via	Alarme	JURTR7211FTV	a	
02/06/2024 17:04:1	Não	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Teste de Via Insatisfatório	Alarmado	JURTR7211TVBLQ	a	
02/06/2024 17:04:1	Não	Alta	CS JUR 7211	Carrinho Disjuntor 7211 - Posição Inválida	Alarme	JURTR7211CARINV	a	
02/06/2024 17:04:1	Não	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Falha no Comando Abrir	Alarme	JURTR7211FABR	a	
02/06/2024 17:04:1	Não	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - Posição Inválida	Alarme	JURTR7211FARC	a	
02/06/2024 17:04:0	Não	Alta	CS JUR 7211	Disjuntor 7211 - SITRAS MDC Proteção Falha no Módulo BA	Alarme	JURTR7211SITRASBAFLH	a	

Fonte: próprio autor.

7. DISCUSSÕES SOBRE O USO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO

O sistema supervisório de uma cabine seccionadora de uma malha metroferroviária tem como objetivo garantir uma operação mais segura, eficiente e planejada. Trazendo uma aquisição de informações em tempo real, confiáveis e precisas a fim de garantir um funcionamento e gerenciamento satisfatório da cabine. O SCADA permite um auxílio na tomada de decisões, ações corretivas e segurança para operadores, trabalhadores e usuários do sistema de transporte.

Através das telas de diagramas unifilares, é possível notar que uma cabine seccionadora é dividida, essencialmente, em dois sistemas de energia: sistema de tração e sistema de baixa tensão.

O sistema de tração é fundamental para garantir a correta operação da linha metroferroviária, a Figura 13 mostra que este é ligado diretamente na via, representada por V1 e V2, respectivamente via 1 e via 2 de uma linha metroferroviária. Logo, é um sistema fundamental para o correto funcionamento da linha, sendo importante para realizar o isolamento elétrico de um trecho.

O sistema de baixa tensão é um sistema auxiliar para o correto funcionamento do sistema de tração, fornecendo energia elétrica em corrente contínua e alternada, alimenta os sistemas de proteção, controle, ventilação, iluminação e o sistema supervisório da cabine seccionadora.

Tendo em vista a relevância desses dois sistemas isolados e, que juntos, formam uma cabine seccionadora, é fundamental o papel do SCADA. Este, realiza uma integração dos dados de todos os equipamentos, de forma que as informações obtidas são apresentadas aos operadores do sistema, de forma local, na cabine seccionadora, e de forma remota, para o CCO.

O sistema SCADA apresentado no trabalho possui uma arquitetura de implementação que consiste em equipamentos que controlam informações de estado de equipamentos, medições, proteções, alarmes, entre outros fatores, realizando esse monitoramento por dispositivos concentradores de dados que realizam a automação deles. Estes dispositivos realizam a transferência de informações entre o campo e o CCO, permitindo a supervisão e comando do processo operacional.

O mal funcionamento do sistema de uma cabine seccionadora pode ocasionar um interrompimento no fornecimento de energia, o que ocasiona imensos transtornos na operação, podendo comprometer a segurança dos equipamentos e dos passageiros. A rápida atuação para a normalização de falhas se faz essencial nesse contexto e o SCADA permite mapear com precisão qual dos equipamentos está com problemas, identificando a falha com rapidez. Essa identificação é exibida aos operadores através das telas de diagnósticos de alarmes, assim o CCO pode acionar o plano de ação previsto para determinada situação e, dependendo da falha, tomar ações corretivas remotamente, o que economiza tempo de deslocamento de uma equipe de manutenção.

Os equipamentos da cabine seccionadora podem ser operados remotamente mesmo em operações normais, com a ausência de falhas. Isso ocorre de maneira corriqueira, pois situações de desenergização de trechos da via, afim de serem realizadas manutenções e melhorias, fazem parte do trabalho no setor metroferroviário. Outro aspecto importante é o monitoramento das variáveis críticas do sistema, como valores de tensão e corrente elétrica no barramento do sistema de tração elétrica e temperatura de retificadores.

A supervisão e controle do SCADA de maneira local na cabine seccionadora torna o trabalho de operadores que eventualmente estejam na localidade mais fácil, uma vez que é possível enviar comandos para disjuntores e seccionadoras pela IHM do sistema, não sendo necessário se expor aos níveis de tensão que são fatais para o ser humano. Além disso, no desenvolvimento do SCADA no ambiente do Eclipse Power®, intertravamentos são definidos para evitar manobras indevidas nos equipamentos, que podem ocasionar situações perigosas, como um curto-circuito.

8. CONCLUSÃO

Este trabalho abordou a implementação, com foco nos benefícios do SCADA em metroferrovias. Através do estudo desenvolvido neste, constatou-se que a adoção dessa filosofia proporciona um controle mais eficiente e seguro, permitindo um monitoramento completo dos fatores que englobam o funcionamento de uma cabine seccionadora.

Analizando as telas desenvolvidas no *software* Elipse Power®, é possível concluir que a supervisão e o controle de equipamentos críticos, como disjuntores e chaves seccionadoras, permitem uma resposta rápida a falhas e anomalias, podendo reduzir ou evitar paradas na operação comercial de uma linha metroferroviária. Isso porque o uso do SCADA facilita a identificação de problemas, através das telas de diagnósticos de alarmes, permitindo a execução de manobras corretivas, o que é essencial para a operação contínua.

O estudo desenvolvido nesse trabalho, permitiu entender que o SCADA engloba todo o processo operacional, integrando UTRs, dispositivos inteligentes, protocolos de comunicação, softwares, painéis elétricos e equipamentos instalados na cabine seccionadora de forma a exibir e controlar todos os processos operacionais, auxiliando os operadores no gerenciamento, planejamento e tomadas de decisões. O *software* Elipse Power®, faz parte do SCADA e se mostra eficiente e confiável, além de disponibilizar ferramentas como o modelador elétrico, que facilita o desenvolvimento do projeto com a importação de telas.

Levando esses fatores em consideração, a implementação do SCADA nas metroferrovias não apenas melhora a eficiência operacional, mas também contribui para a segurança e confiabilidade do sistema de transporte de passageiros, demonstrando a importância dessa tecnologia no setor de mobilidade urbana.

9. REFERÊNCIAS

Agência Brasil. Pesquisa da CNT mostra que 67% das rodovias brasileiras têm problemas. 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-11/pesquisa-da-cnt-mostra-que-67-das-rodovias-brasileiras-tem-problemas#:~:text=O%20levantamento%20deste%20ano%20avaliou,sinaliza%C3%A7%C3%A3o%20e%20geometria%20da%20via>. Acesso em: 5 abril 2024.

ANP Trilhos. Balanço do setor 2023. Disponível em: <https://anptrilhos.org.br/balanco-do-setor-2023/>. Acesso em: 5 abril 2024.

Boyer, Stuart A. *SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition*. 3. ed. Research Triangle Park: ISA, 2009.

Coelho, M. S. Sistemas Supervisórios. São Paulo, 2010. (Apostila)

Companhia Paulista De Trens Metropolitanos. CPTM inaugura as obras de reforma das Subestações Pari e São Caetano. Disponível em: <https://www.cptm.sp.gov.br/noticias/Pages/CPTM-inaugura-as-obras-de-reforma-das-Subestacoes-Pari-e-Sao-Caetano.aspx#:~:text=As%20subesta%C3%A7%C3%B5es%20retificadoras%20s%C3%A3o%20instala%C3%A7%C3%B5es,e%20seguran%C3%A7a%20da%20opera%C3%A7%C3%A3o%20ferrovi%C3%A1ria>. Acesso em: 7 abril 2024.

Elipse Software. *Elipse Power*. Disponível em: <https://www.elipse.com.br/produto/elipse-power/>. Acesso em: 7 abril 2024.

Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. De 2010 a 2022, população brasileira cresce 6,5% e chega a 203,1 milhões. Agência de Notícias IBGE. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37237-de-2010-a-2022-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes>. Acesso em: 5 abril 2024.

- Mobilidade Sampa. Centro de Controle Operacional da CPTM completa 10 anos. 2016. Disponível em: <https://mobilidadesampa.com.br/2016/11/centro-de-controle-operacional-da-cptm-completa-10-anos/>. Acesso em: 7 abril 2024.
- Moraes, C. C.; Castrucci, P. L. Engenharia de Automação Industrial. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- Oliveira Jr., C. A. Desenvolvimento de um protocolo de comunicação para automação de subestações móveis via satélite. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.
- Paulino, Marcelo E. C. Aspectos da Implementação e Validação de Sistemas Baseados na IEC 61850. In: SBSE, 2008, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: [s.n.], 2008.
- Pires, Cassiano Lobo. Simulação do sistema de tração elétrica metro-ferroviária. 2006. 370 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- Santos, Luiz Fabiano Dos; Pereira, Maurício. Uma abordagem prática do IEC 61850 para Automação, Proteção e Controle de Subestações. In: SIMPASE, VII., 2007, Salvador. Anais... Salvador: [s.n.], 2007.
- Stouffer, Keith; Falco, Joe; Kent, Karen. *Guide to Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) and Industrial Control Systems Security. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. Special Publication 800-82. Initial Public Draft.* U.S. Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology.