



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

HELEN DE JESUS ARAUJO

**Análise técnica e dos benefícios da implementação de sistemas de supervisão no setor
metroferroviário**

Guaratinguetá
2023

Helen de Jesus Araujo

Análise técnica e dos benefícios da implementação de sistemas de supervisão no setor metroferroviário.

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador (a): Daniel Julien Barros da Silva Sampaio

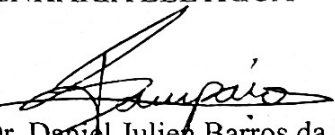
Guaratinguetá
2023

A663a	Araujo, Helen de Jesus Análise técnica e dos benefícios da implementação de sistemas de supervisão no setor metroferroviário / Helen de Jesus Araujo - Guaratinguetá, 2023. 93 f : il. Bibliografia: f. 90-93 Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023. Orientador: Prof. Dr. Daniel Julien da Silva Sampaio 1. Transporte ferroviário. 2. Veículos elétricos. 3. Ferrovias - Estações. 4. Engenharia de sistemas. I. Título. CDU 656.2
-------	---

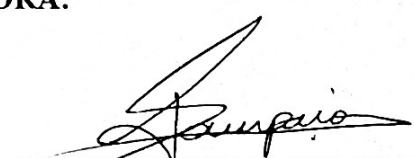
HELEN DE JESUS ARAUJO

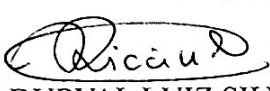
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA"

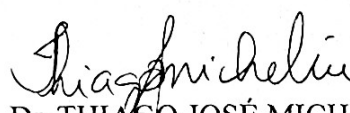
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA


Prof. Dr. Daniel Julien Barros da Silva Sampaio
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. DANIEL JULIEN BARROS DA SILVA SAMPAIO
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. DURVAL LUIZ SILVA RICCIULLI
UNESP-FEG


Prof. Dr. THIAGO JOSÉ MICHELIN
UNESP-FEG

Janeiro de 2023

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, especialmente aos meus pais *Fabio Araujo e Maria Valdirene de Jesus*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos;

A instituição de ensino *FEG-UNESP*, por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso que foi essencial no meu processo de formação profissional;

A empresa *Siemens Mobility Soluções de Mobilidade LTDA* e seus funcionários, pelo ambiente amistoso e por me fornecer experiências e conhecimentos técnicos que contribuíram diretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

Os transportes coletivos de massa como os trens e metrô são a principal solução adotada por grandes cidades em relação ao tema de mobilidade urbana. Neste aspecto, para que a prestação de serviços à população possua qualidade, segurança e rapidez, as empresas responsáveis pelo gerenciamento das linhas do setor metroferroviário implementam sistemas de supervisão e controle, denominados SCADA, que são fundamentais na operação comercial dos trens e metrô. O objetivo desse trabalho é apresentar por meio de pesquisas e análises qualitativas os principais benefícios advindos com os sistemas de supervisão e controle, e os principais aspectos técnicos envolvidos durante a implementação destes sistemas. Portanto, foram realizados estudos sobre os quatro principais sistemas monitorados pelo SCADA presentes nos centros de controles operacionais e estações das linhas de trens e metrô da região metropolitana de São Paulo, os quais são encarregados pelo controle do tráfego de trens, pelo fornecimento de energia para as estações e locomotivas, pelo controle de fluxo de passageiros e controle dos equipamentos auxiliares das estações e trens. Por fim, o estudo concluiu que a implementação de soluções SCADA para os quatro principais sistemas analisados são fundamentais para o gerenciamento de linhas do setor metroferroviário, o qual impacta diretamente na a operação comercial de trens, execução de manutenções, planejamentos da operação, melhor alocação de recursos, e auxílio em tomadas de decisões estratégicas, questões as quais afetam diretamente na segurança e experiência dos passageiros antes, durante e ao final de sua viagem.

PALAVRAS-CHAVE: SCADA; Supervisão; Automação; Metroferroviário; Metrô; Trem.

ABSTRACT

Mass transit systems such as trains and subways are the main solution adopted by big cities in relation to the theme of urban mobility. In this aspect, to provide the population quality, safety and quickly services, the companies responsible for managing the railway and subway lines implement supervision and control systems, called SCADA, which are fundamental in the commercial operation of trains and subways. The purpose of this final paper is to present, through research and qualitative analysis, the main benefits arising from supervision and control systems, and the main technical aspects involved during the implementation of these systems. Therefore, studies were conducted on the four main systems monitored by SCADA present in the operational control centers and stations of the railway and subway lines in the metropolitan region of São Paulo, which are responsible for controlling the train traffic, providing power to the stations and locomotives, controlling passenger flow, and controlling the auxiliary equipment of the stations and trains. Finally, the study concluded that the implementation of SCADA solutions for the four main systems analyzed is essential for the management of the railway sector, which directly impacts the commercial operation of trains, execution of maintenance, operation planning, better resource allocation, and assistance in strategic decision making, aspects that directly affect the safety and experience of passengers before, during, and after their trip.

KEYWORDS: SCADA; Supervision; Automation; Systems; Subway; Train.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Centro de Controle Operacional da CPTM	18
Figura 2 – Pirâmide da Automação	20
Figura 3 – Os três primeiros níveis da Pirâmide de Automação.	22
Figura 4 – Arquitetura exemplificada de um sistema SCADA.	25
Figura 5 – Arquitetura de Automação entre uma Estação Remota e os quadros de comando dos equipamentos de campo.	26
Figura 6 - Arquitetura de Automação entre uma Estação Remota e os dispositivos de controle dos equipamentos do campo.	27
Figura 7 - Composição de projetos SCADA dentro de um domínio de aplicação no software Eclipse E3.	35
Figura 8 – Integrações do SSC.	38
Figura 9 – O SSC - Sistema de Controle Centralizado á nível de salas de controle	40
Figura 10 – Arquitetura do SCC presente em um Centro de Controle Operacional.	44
Figura 11 - Sistemas das estações Mestre e Satélite.	45
Figura 12 - Arquitetura do SCC presente em uma Cabine de Seccionamento de Energia.	46
Figura 13 – Diagrama de blocos da arquitetura do sistema elétrico do METRÔ de São Paulo.	48
Figura 14 – Arquitetura de Rede de uma Subestação da CPTM.	51
Figura 15 – Tela do software SCADA do diagrama unifilar dos sistemas de média tensão e tração de uma subestação de uma linha de trem do sistema metroferroviário.	53
Figura 16 - Tela do software SCADA do diagrama unifilar do sistema de baixa tensão de uma subestação de uma linha de trem do sistema metroferroviário.	53
Figura 17 - Tela do software SCADA com as medições analógicas dos equipamentos presentes no diagrama unifilar da subestação.	55
Figura 18 – Tela de Arquitetura Local da subestação.	56
Figura 19 – Tela de alarmes dos equipamentos da subestação.	57
Figura 20 – Tela de Diagnostico geral do SCL presente na estação Butantã da L4 – Amarela do metrô de São Paulo.	58
Figura 21 – Sumário de alarmes do SCL presente na estação Butantã da L4 – Amarela do metrô de São Paulo.	59
Figura 22 – Tela com os sistemas de média e baixa tensão da rede elétrica local.	60
Figura 23 – Tela exibindo as medições analógicas de um retificador à diodo.	60

Figura 24 – Circuito de via com ocupação.	62
Figura 25 – Postos de monitoramento e painel sinótico de supervisão global dos sistemas de sinalização.	64
Figura 26 - Arquitetura de rede de um sistema de sinalização com tecnologia CBTC.	65
Figura 27 – Painel sinótico do CCO exibindo SCADA do sistema de sinalização de trens. ...	67
Figura 28 – Tela SCADA do sistema de sinalizações de trens mostrando o diagnósticos dos equipamentos.	67
Figura 29 – Supervisório Local da estação Butantã na tela de hall de bilheterias do subsistema de fluxo e controle de passageiros.	70
Figura 30 - Supervisório Local da estação Butantã exibindo a tela do sistema de monitoramento da plataforma.	71
Figura 31 – Supervisório Local da estação Butantã exibindo a tela com os hidrantes monitorados pelo SCADA.	72
Figura 32 - Supervisório Local da estação Butantã exibindo a tela com as bombas d’água monitorados pelo SCADA.	74
Figura 33- Supervisório Local da estação Butantã exibindo a tela com os ares-condicionados monitorados pelo SCADA.	75
Figura 34 - Supervisório Local da estação Butantã exibindo a tela com o sistema de detecção e alarme de incêndio.	76
Figura 35 – Interação entre os serviços do SCC.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grandezas convertidas para medição dos equipamentos em campo.....	23
Tabela 2 – Estimativas de preços mínimas para a implementação do SSC.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIFER	Associação Brasileira da Indústria Ferroviária
ATC	Controle Automático do Trem
ATO	Operação Automática do Trem
ATP	Proteção Automática do Trem
CBTC	Controle de Trens Baseado em Comunicações
CCR	Companhia de Concessões Rodoviárias
CCO	Centro de Controle Operacional
CDV	Circuito de Via
CFTV	Circuito Fechado de TV
CIM	Centro de Informações da Manutenção
CLP	Controladores Lógicos Digitais
CPTM	Cia. Paulista de Trens Metropolitanos
CS	Cabine Seccionadora
CTC	Controle de Tráfego Centralizado
CDV	Circuito de Via
ERP	Enterprise Resource Planning (Planejamento dos Recursos Empresariais)
FEC	Front End Communication
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IED	Intelligent Electronic Devices (Dispositivos Eletrônicos Inteligentes)
IHM	Interface Homem-Máquina
MTU	Unidade Terminal Mestre
MHC	Máquina de Chave
OBCU	Onboard Control Unit (Unidade de Controle a Bordo)
PCC	Painel de Controle e Comando
SBT	Sistema de Baixa Tensão
SEA	Subestação Auxiliar
SEP	Subestação Primária
SER	Subestação Retificadora
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados)
SCAP	Sistema de Controle de Arrecadação e de Passageiros
SCC	Subsistema de Controle Centralizado

SCEA	Subsistema de Controle de Equipamentos Auxiliares
SCFP	Subsistema de Controle de Fluxo de Passageiros
SCL	Subsistema de Controle Local
SCP	Subsistema de Controle do Pátio
SDAI	Sistema de Detecção e Alarme de Incêndios
SE	Subestação
SEA	Subestação Auxiliar
SEP	Subestação Primária
SER	Subestação Retificadora
SIGE	Sistemas Integrados de Gestão Empresarial
SMT	Sistema de Média Tensão
SSC	Sistema de Supervisão Centralizado
SSCE	Subsistema de Supervisão de Energia
STO	Sistema de Transmissão de Dados
STM	Sistema de Média Tensão
TR	Tração
UR	Unidade Remota
UTR	Unidade Terminal Remota

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.1.1	Objetivos específicos.....	14
2	CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DO SETOR METROFERROVIÁRIO PAULISTA.....	16
2.1	O CCO – CENTRO DE CONTROLE OPERACIONAL	16
3	OS SUPERVISÓRIOS SCADA E SUAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES	18
3.1	HIERARQUIA DA AUTOMAÇÃO.....	19
3.2	COMPOSIÇÃO DO SISTEMA SCADA.....	22
3.3	DISPOSITIVOS DE CAMPO	23
3.4	ESTAÇÃO CENTRAL	24
3.5	ESTAÇÕES REMOTAS	25
3.6	REDES DE COMUNICAÇÃO	28
3.7	ELIPSE E3.....	30
3.8	ELIPSE POWER	35
4	SUPERVISÃO E CONTROLE DOS SISTEMAS DO SETOR METROFERROVIÁRIO	37
4.1	O SUBSISTEMA DE CONTROLE CENTRALIZADO – SCC: APLICABILIDADE E ARQUITETURA.....	42
4.2	O SUBSISTEMA DE CONTROLE LOCAL – SCL: APLICABILIDADE E ARQUITETURA.....	44
5	OS PRINCIPAIS SUBSISTEMAS MONITORADAS PELOS SISTEMAS SCADA.....	47
5.1	SUBSISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE DE ENERGIA.....	47
5.2	CONTROLE DE TRÁFEGO DE TRENS	60
5.3	SUBSISTEMA DE CONTROLE DE FLUXO DE PASSAGEIROS.....	68

5.4	SUBSISTEMA DE CONTROLE DE EQUIPAMENTOS AUXILIARES	71
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	78
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
	REFERÊNCIAS	90

1 INTRODUÇÃO

A concentração populacional em áreas urbanas do Brasil e do mundo vem aumentando no século XXI, e ainda há previsão de crescimento para o futuro, o qual estima-se que a população urbana global passe de 56% para 68% em 2050. (SARAIWA, 2022). No parâmetro nacional, cerca de 84,72% dos brasileiros vivem em áreas urbanas, sendo a região Sudeste com o maior percentual de população urbana do Brasil, com 93,14% de sua população vivendo em grandes cidades e regiões metropolitanas (IBGE, 2015).

Essa alta densidade populacional urbana demanda a implantação de meios de transporte coletivos de passageiros, como os sistemas metroferroviários, e embora tradicionalmente no Brasil o transporte de passageiros seja feito principalmente por ônibus, os sistemas metroferroviários são as principais soluções de escolha para o transporte de massa, principalmente nas grandes cidades devido a diversas vantagens em comparação aos outros tipos de sistemas de transportes de passageiros, como o número de pessoas transportadas em cada viagem, a velocidade do transporte, a ausência de congestionamento de tráfego de veículos, além de emitirem níveis mais baixos de poluição atmosférica e sonora.

O setor metroferroviário brasileiro é composto por 47 linhas que totalizam 1.105 km de extensão e possuem 619 estações. Por dia útil, são 1,6 milhões de passageiros transportados chegando a 1,8 bilhões de passageiros transportados por ano, onde 71,30% de tais passageiros utilizam o transporte para fins de trabalho. Atualmente, o setor encontra-se em recuperação da crise gerada pela pandemia de Covid-19, a qual gerou incerteza e apreensão ao setor, devido a redução do número de passageiros transportados em 44,1% em relação ao período antes da pandemia. Fazendo um recorte desses números, só em São Paulo temos 14 linhas de trens e metrô que totalizam 385,6 km de extensão, e que transportam por ano 1.331 milhões de passageiros por ano (ANPT trilhos, 2022).

As linhas de trens e metrô no Brasil, são operadas por diferentes companhias públicas, ou de iniciativa privada, que se responsabilizam por diferentes extensões de linhas que interligam uma determinada região. No caso da região metropolitana de São Paulo, temos quatro principais companhias que gerenciam a malha metroferroviária: Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô), ViaQuatro, ViaMobilidade e Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM).

Devido à grande demanda de passageiros e vasta extensão territorial das linhas de trens, a operação do sistema metroferroviário de São Paulo torna-se uma tarefa complexa e de grande responsabilidade, sendo necessária a implementação de estratégias que concentrem

todas as informações importante referentes as linhas de trens para que facilitem o controle da operação e realização de manutenções.

Uma das principais soluções adotadas pelas principais empresas que gerenciam as linhas de trens e metrô são os sistemas SCADA – Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados, que são sistemas de supervisão e aquisição de dados que monitoram os principais processos operacionais das linhas e estações de passageiros de trens, que visam integrar em interfaces de softwares as principais informações operacionais da linha que auxiliam os operadores do setor no gerenciamento das operações comerciais diárias, além de tornarem o planejamento operacional e tomadas de decisões estratégicas precisas e confiáveis.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho visa através do estudo científico das soluções SCADA utilizadas nas principais linhas de trens e metrô presente na região metropolitana de São Paulo, apresentar quais são os principais processos operacionais monitorados pelo sistema SCADA, a composição de suas estruturas físicas, funcionalidades e variáveis críticas do processo, para então compreender como são desenvolvidas e implementadas as interfaces dos projetos SCADA no setor. Por meio de análises qualitativas dos levantamentos técnicos feitos no estudo, é discutido quais são os impactos e benefícios advindos pelas as soluções adotadas, e como elas influenciam na operação comercial e gerenciamento de uma linha de trem de passageiros.

1.1.1 Objetivos específicos

- Descrição técnica do supervisório do sistema de energia, apresentando sua arquitetura de rede e principais telas, sinalizações, opções de comandos remotos e funcionalidades da interface IHM/SCADA.
- Descrição técnica do supervisório do sistema de tráfego de trens, apresentando sua arquitetura de rede e principais telas, sinalizações, opções de comandos remotos e funcionalidades da interface IHM/SCADA.
- Descrição técnica do supervisório do sistema de controle de fluxo de passageiros, apresentando sua arquitetura de rede e principais telas, sinalizações, opções de comandos remotos e funcionalidades da interface IHM/SCADA.

- Descrição técnica do supervisor do sistema de equipamentos auxiliares das estações, apresentando sua arquitetura de rede e principais telas, sinalizações, opções de comandos remotos e funcionalidades da interface IHM/SCADA.
- Levantamento dos principais benefícios advindos com a implementação SCADA dos sistemas de tráfego de trens, de energia, de controle do fluxo de passageiros e dos equipamentos auxiliares das estações.
- Estimativas de custos com a implementação dos principais sistemas de supervisão e controle adotados pelo setor metroferroviário.

2 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DO SETOR METROFERROVIÁRIO PAULISTA

Dentre as opções existentes para o transporte urbano coletivo, o metrô de São Paulo é um dos mais utilizado em toda cidade. Ele interliga as regiões metropolitanas de São Paulo, e é considerado o meio de transporte mais prático e rápido da cidade, possuindo trens que andam com velocidade média sob trilhos de aproximadamente 40km/h, chegando até a velocidade de 90km/h em trechos entre estações. Segundo o jornal online do Estadão (2012), a velocidade média do metrô é quatro vezes maior do que a dos carros na cidade de São Paulo nos horários de picos que ocorrem durante os períodos das 7h às 10h e das 17h à 20h.

As estações do metrô funcionam entre o período das 4h40 até a meia noite todos os dias da semana. A sua tarifa inteira custa R\$4,40 e permitem que o usuário desloque entre todas as estações das linhas sem a necessidade de realizar um novo pagamento por um período de três horas.

Toda operação comercial dos trens e estações são monitoradas e reguladas pelo CCO – Centro de Controle Operacional.

2.1 O CCO – CENTRO DE CONTROLE OPERACIONAL

O CCO - Centro de Controle Operacional atua como o cérebro da operação comercial das linhas de trens ou metrôs sob a responsabilidade de uma determinada empresa, onde é possível controlar todas as estações e circulação dos trens, concentrando todas as informações e as decisões estratégicas para garantir a segurança dos usuários, funcionários e equipamentos. O CCO centraliza todas as informações dos sistemas monitorados, com o intuito de melhorar a eficiência logística, o desempenho da operação comercial, reduzir obstáculos e otimizar a gestão de recursos, pois a centralização das informações em um único local facilita o gerenciamento e controle de todas as operações ao mesmo tempo, deixando todas as ações visualmente integradas e organizadas. São normalmente compostos por salas, postos de monitoramento e painéis sinóticos, onde são gerenciados todos os sistemas de circulação de trens, fluxo de usuários, segurança pública operacional, sistemas de energia, bloqueios de entrada e saída, sistemas de ventilação, sistemas de detecção e combate a incêndio e entre outras funções.

Através de postos são controladas e monitoradas as circulações de trens, e é possível aumentar ou diminuir o tempo de parada dos trens nas estações, aumentar ou diminuir a

velocidade dos trens e monitorar todas as plataformas. Quando ocorrem anomalias o CCO adota estratégias para minimizar o impacto desta anormalidade aos usuários.

Os painéis sinóticos, conhecidos por VideoWall, exibem informações cruciais do sistema, como por exemplo, as distribuições e posicionamentos dos trens em todas as vias, e, portanto, é possível saber qual trem está parado em uma determinada plataforma e a sua movimentação.

Neste contexto, os sistemas SCADA auxiliam os funcionários do CCO durante a operação e manutenção do sistema, já que através de suas telas implementadas no VideoWall e nos postos de monitoramento, é possível supervisionar e comandar os sistemas de energia, de tráfego de trens (ou sinalização de trens), de fluxo de passageiro, e de equipamentos auxiliares das estações. É com base nas informações concentradas e expostas pelo sistema SCADA, que os operadores CCO tomam as decisões necessárias.

Na Figura 1, é apresentado o CCO da CPTM, implementado em novembro de 2006 e localizado dentro da estação Brás. As instalações incluem as salas de controle de tráfego, de estratégia operacional, central de monitoramento da segurança, centro integrado de manutenção e a área de manutenção e restabelecimento do CCO. Os painéis sinóticos de controle de tráfego das quatro linhas da CPTM estão instalados numa parede de 60 metros de comprimento por 8 metros de altura. À frente desses painéis estão os postos de operação munidos de computadores com softwares de supervisão instalados, onde são emitidos os comandos para os equipamentos dos trens e das estações, e realizado o monitoramento da operação comercial de trens.

Figura 1 - Centro de Controle Operacional da CPTM



Fonte: Carvalho (2016).

3 OS SUPERVISÓRIOS SCADA E SUAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES

Segundo Coelho (2010), os sistemas supervisórios, também chamados de SCADA termo o qual é proveniente do inglês “*Supervisory Control And Data Acquisition*”, são sistemas que permitem que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou instalação física. Com a finalidade de obter informações do campo “em tempo real”, são utilizados equipamento de aquisição de dados, para que posteriormente o sistema manipule e análise tais informações para que elas sejam apresentadas ao usuário em uma interface de alta nível.

Por vezes, deseja-se controlar e supervisionar processos nos mais distintos ambientes, os quais podem ser dispersos em uma vasta área geográfica, sendo indispensável o uso de tecnologias de computação e comunicação de redes que são interligados aos recursos gráficos dispostos de uma interface amigável para uma melhor compreensão das informações pelos operadores. (COELHO, 2010)

A interface IHM/SCADA identifica como *tags* todas as variáveis do processo (variáveis que afetam diretamente ou indiretamente o resultado do processo), que são manipuladas de diversas formas (operações lógicas, matemáticas etc.) a fim de compor as entradas e saídas do processo supervisionado. É a partir dos valores das *tags* que as informações obtidas em campo são expostas aos usuários. Quando a monitoração e controle de um determinado processo é realizado, as informações dos estados atuais das variáveis presentes na planta do

processo produtivo são precisamente apresentadas para os operadores do sistema, e portanto, na ocorrência de eventuais imprevistos no processo, a informação é rapidamente transmitida aos usuários que conseguem com os dados tratados na interface, ter uma melhor compreensão do incidente conseguindo elaborar rapidamente a melhor resolução para o inconveniente. (COELHO, 2010)

Na interface, os dados podem ser apresentados como alarmes, onde a partir dos valores das *tags* são formadas condições pré-estabelecidas, a fim de indicar visualmente e sonoramente por variações de cores, mensagens e sons, que houve atualizações no processo, informando o operador o estado atual do campo e se estas alterações são críticas para a operação. Também é possível gerar eventos e relatórios específicos da operação, bem como salvar todas as informações em bancos de dados, e quando se deseja realizar implementações mais complexas na interface, ainda é possível através da elaboração de *scripts*, ampliar as funcionalidades inerentes do produto.

Em suma, sobre as principais funcionalidades dos supervisórios SCADA, destacam-se:

- Configuração da interface de comunicação, das variáveis de entrada e saída e dos operadores que terão acesso ao sistema;
- Construção de sinóticos, que representam graficamente os processos industriais;
- Geração de gráficos de tendências, que acompanham a evolução das variáveis do sistema;
- Geração de alarmes, que aviam ao usuário quando uma variável ou condição do processo de produção está fora dos valores previstos;
- Geração de históricos, que registram eventos relevantes;
- Produção de relatórios a partir dos dados da planta, dos alarmes ocorridos em um intervalo de tempo e dos acessos ao sistema por parte dos operadores;
- Geração de scripts ou programas, que desenvolvem alguma lógica para o controle do processo;
- Criação de receitas, que configuram os equipamentos da planta para que essa passe a produzir determinado(s) produto(s); e
- Geração de informação para níveis gerenciais. (CONSTAIN, 2011, p. 2-3).

3.1 HIERARQUIA DA AUTOMAÇÃO.

A automação é compreendida segundo Moraes e Castrucci (2007), como “qualquer sistema, apoiado em computadores, que substitua o trabalho humano em favor da segurança das pessoas, da qualidade dos produtos, da rapidez da produção ou da redução de custos, assim aperfeiçoando os complexos objetivos das indústrias e dos serviços”. Portanto, a automação visa melhorar a qualidade de um processo e aumentar a segurança pública e dos

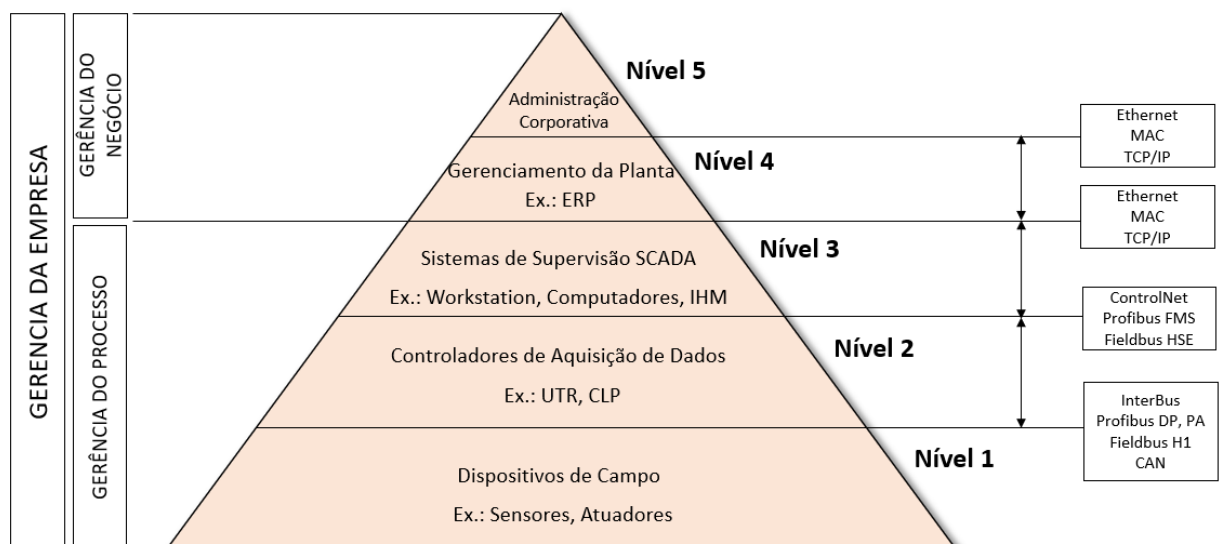
funcionários, implementando tecnologias e sistemas que aprimoram o planejamento e controle da produção.

Na Figura 2 é apresentada a Pirâmide de Automação e seus diferentes níveis de automação, que representam as interligações entre os sistemas e tecnologias adotadas na automação de uma típica planta industrial.

O primeiro nível, é composto pelas máquinas e equipamentos encontrados no “chão de fábrica”, que são componentes responsáveis pelo processo produtivo, e são compostos por atuadores, sensores e equipamentos de medição que geram as variáveis utilizadas pelos controladores do segundo nível.

O segundo nível, é composto pelos controladores programáveis que extraem as variáveis disponibilizadas pelos dispositivos de campo, e as utilizam como *inputs* para executar o controle automático das atividades da planta. Neste nível são comumente utilizados controladores digitais, dinâmicos e lógicos, como as UTRs - Unidades Terminais Remotas, IEDs - Dispositivos Eletrônicos Inteligentes, CLPs - Controladores Lógicos Programáveis e entre outras opções disponibilizadas no mercado. Neste nível também é apresentada uma supervisão sobre os equipamentos do primeiro nível, através das IHM - Interfaces Homem-Máquina.

Figura 2 – Pirâmide da Automação



Fonte: Adaptado de Coelho (2010); Constain (2011) apud Moraes e Castrucci (2007)¹.

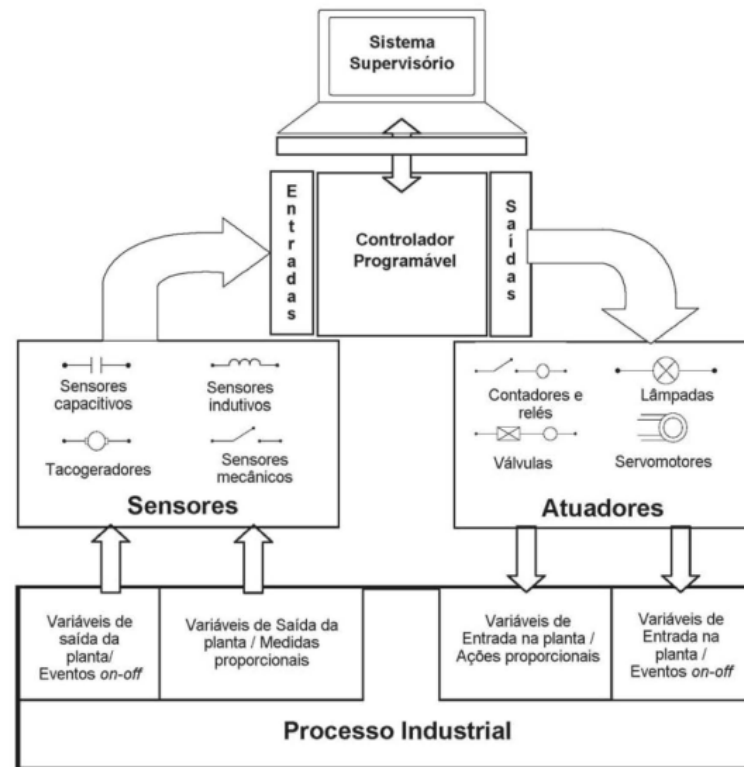
¹ MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos (LTC), 2007.

No terceiro nível temos os sistemas SCADA, que permitem que o processo produtivo seja controlado. Esse sistema repassa os comandos aos controladores dispostos no segundo nível, que por sua vez, automatizam os equipamentos do processo produtivo presente no primeiro nível. Além disso, o SCADA reúne todas as informações repassadas pelos equipamentos encontrados nos níveis inferiores, e os disponibilizam em uma interface de alto nível, que por sua vez reúnem o controle e supervisionamento de todos os equipamentos da planta ou de uma determinada região. As informações coletadas do campo são armazenadas em bancos de dados, e no sistema podem ser geradas interfaces e relatórios específicos, como por exemplo, contendo dados referentes ao índice de produtividade, estatísticas sobre os processos e entre outros, que serão repassadas para os níveis superiores de caráter administrativo. Na Figura 3, é ilustrado o terceiro nível da pirâmide de automação, e seus respectivos níveis inferiores.

Já no quarto nível, é realizado a programação e planejamento do processo de produção, realizando o controle e a logística de suprimentos, onde são determinadas as atividades que serão executadas pelo nível 3, que por sua vez, irá repassar as tarefas necessárias para os níveis abaixo.

Por fim, no último nível temos a administração corporativa, a qual é responsável por designar a alocação de recursos da empresa, decidir as principais estratégias empresariais e gerenciar o sistema como um todo. Para auxiliar em suas responsabilidades mencionadas e obter resultados mais assertivos, este nível é dotado de softwares de gestão de vendas e gestão financeira, além de ter sistemas SCADA integrados com os sistemas ERP – Enterprise Resource Planning ou SIGE – Sistemas Integrados de Gestão Empresarial. (MORAES e CASTRUCCI, 2007; VIANNA, 2008).

Figura 3 – Os três primeiros níveis da Pirâmide de Automação.



Fonte: Coelho (2010).

Para que as tecnologias de cada nível consigam conversar hierarquicamente entre si, é necessário a implementação de redes de comunicação, já que por vezes, tais tecnologias estão dispostas em localidades distintas. Portanto, são implementadas redes corporativas de comunicação entre a central e o campo, para assim criar uma interligação na comunicação a fim de permitir a transferência de dados entre as instalações, os computadores e softwares.

3.2 COMPOSIÇÃO DO SISTEMA SCADA.

Os sistemas SCADA são compostos de vários elementos em sua arquitetura, desde os sinais gerados pelos equipamentos em campo por instrumentos de medição, atuadores e sensores, até aos dados apresentados na tela do software aos usuários em uma Interface Homem-Máquina. A partir da interface, os operadores do sistema conseguem controlar e supervisionar as variáveis do processo, devido as trocas de dados entre as estruturas físicas de comando presentes na rede de comunicação interligada entre todos os níveis da automação. Todas as variáveis são armazenadas periodicamente em bancos de dados locais ou remotos, para eventuais consultas e geração de relatórios para a alta gerência. (HACK, 2019).

Frequentemente, o termo SCADA é atribuído unicamente ao software do supervisor, mas na realidade, o SCADA refere-se a todo o sistema, desde a sua IHM até os equipamentos dispostos no processo produtivo, incluindo as suas redes de comunicação. (OLIVEIRA JR, 2005).

A arquitetura dos sistemas SCADA bem como os componentes envolvidos em sua implementação e funcionamento, são apresentados nos próximos tópicos.

3.3 DISPOSITIVOS DE CAMPO

Os dispositivos de campo são simplificadaamente, o conjunto formado entre os componentes de medição e os equipamentos que executam o processo produtivo em si, como atuadores, sensores e instrumentos de medição. Os instrumentos de medição, assim como os sensores, através de transdutores presentes em sua composição, recebem um sinal de entrada baseado na variação de uma determinada grandeza, e transforma essa informação em um sinal de medição que pode ser elétrico, pneumático, mecânico ou de outra natureza. Então a medição é processada e tratada, de forma que possa ser compreendida pelo usuário. Essas medições podem ser de origem digital ou analógica, como por exemplo, a corrente elétrica indicada por um multímetro analógico acoplado a entrada de um disjuntor em painel elétrico potência. Em alguns casos, os próprios dispositivos de aquisição de dados podem realizar o tratamento de tais informações advindas do campo. (ACC ENG DE MEDIÇÃO, 2019).

No caso de medições de equipamentos que possuem grandezas elevadas consideradas de alto risco, são implementados transformadores ou transdutores, que convertem os níveis das medições para valores menores e seguros. Na tabela 1, são apresentados alguns tipos de grandezas que se enquadram nestes casos, e suas amplitudes após a conversão. (OLIVEIRA JR, 2005).

Os atuadores por sua vez são componentes responsáveis por produzir movimento ao converter algum tipo de energia, como elétrica, hidráulica ou pneumática. Muitas vezes são acoplados sensores a estes equipamentos, a fim de monitorar o seu estado.

Tabela 1 – Grandezas convertidas para medição dos equipamentos em campo.

Grandeza Medida	Transformador/Transdutor	Padrão da
-----------------	--------------------------	-----------

		Amplitude
Corrente (Alta Tensão)	TC – Transformador de Corrente	5A
Tensão (Alta Tensão)	TP – Transformador de Potencial	115V
Potência e Energia (Alta Tensão)	TPs e TCs	115V(TPs) e 5A (TCs)
Outras: Corrente e Tensão (Baixa e Alta Tensão), Temperatura, etc.	Transdutor	0-20mA ou 4-20mA

Fonte: Adaptado de Oliveira Jr (2005).

3.4 ESTAÇÃO CENTRAL

As estações centrais, também conhecidas como MTU – Unidade Terminal Mestre, são segundo CONSTAIN (2011), “a unidade principal do sistema SCADA, a qual é responsável por coletar, armazenar e processar as informações geradas pelas estações remotas”, além de coordenar e distribuir o fluxo de dados com os demais módulos presentes no sistema SCADA, que posteriormente são exibidas na IHM em conformidade com os eventos detectados no processo produtivo. São correspondentes as unidades mestre dentro da tecnologia de comunicação Mestre-Escravo, e possuem uma ou mais estações de operações conectadas a ela através de uma rede de comunicação.

Portanto, as duas principais funções de uma MTU são a de obter em determinados intervalos de tempo os dados dos controladores remotos, também classificados como estação remota, e controlar os mesmos.

Podem ser dispostas em uma rede de computadores afim disponibilizar a um grupo de usuários as informações coletadas, ou em um único computador. As estações mestras também podem estar dispostas em servidores sendo uma opção recorrente o uso de um ou mais servidores redundantes para que em casos de falhas, o servidor redundante entre em operação.

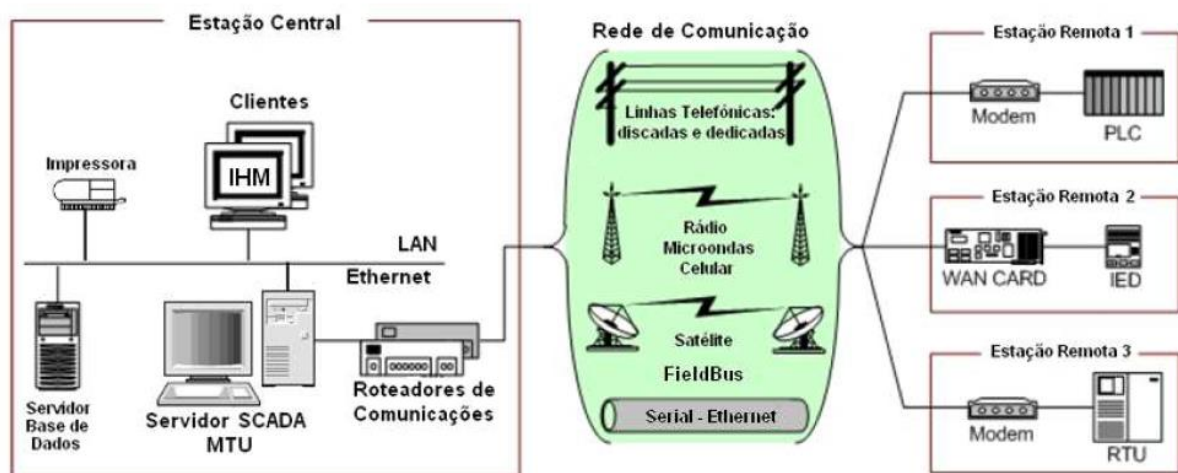
Após o processamento dos dados, o supervisor armazena as informações desejadas, que podem ser eventos, alarmes, históricos, relatórios, entre outros, em bancos de dados, que podem estar em um servidor dedicado, ou no mesmo computador/servidor que a aplicação.

Além das estações mestres se comunicarem com as estações remotas, elas também podem estar conectadas aos sistemas de gestão por uma rede de comunicação, provendo assim,

as informações geradas para outros setores a nível administrativo, gerencial ou de contabilidade. (CONSTAIN, 2011).

Na Figura 4, é ilustrada um exemplo de arquitetura de um sistema SCADA, onde observa-se que as comunicações entre a estações centrais e os outros componentes do supervísório, podem ser feitos por diferentes tipos de redes de comunicação, como redes dedicadas, redes de área local (LAN), cabeamento e entre outros, sendo que para cada tipo de comunicação, interna ou externa, são adotadas as redes que possuem a melhor aplicabilidade e custo benefício, sendo necessário um estudo prévio da melhor tecnologia de rede a ser implementada para cada caso específico.

Figura 4 – Arquitetura exemplificada de um sistema SCADA.



Fonte: Constain (2011) apud Stouffer, Falco e Kent (2006) ².

3.5 ESTAÇÕES REMOTAS

As estações remotas são periféricos encarregados por obter as variáveis do processo produtivo de origem digital ou analógico. Elas efetuam o tratamento das informações advindas dos equipamentos do campo ou das estações centrais, realizando lógicas, cálculos, atualizações e o controle dos dados.

As informações da planta são extraídas e manipuladas pelas remotas, para então serem obtidas pela estação mestre como *inputs*, ou então é realizado o caminho inverso, onde os

² STOFFER, K.; FALCO, J. e KENT, K. **Guide to Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) and Industrial Control Systems Security**. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology, pp.1, 2-13, Gaithersburg, 2006.

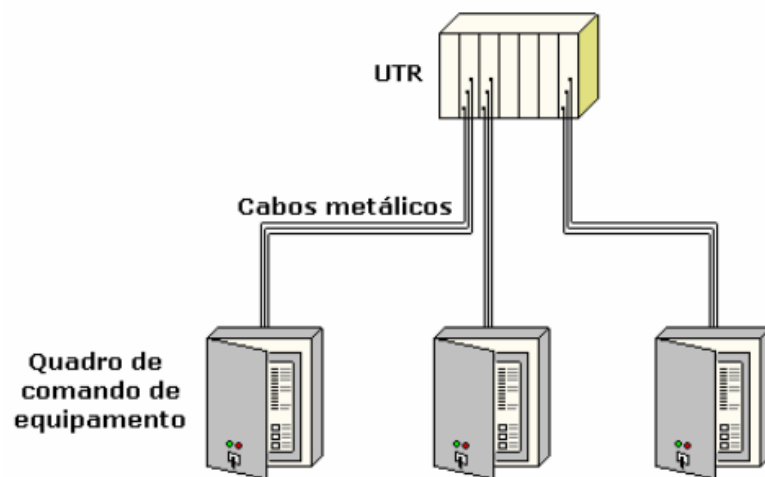
outputs enviados pela estação mestre são manipulados pela remota para que seja possível o controlador atuar nos equipamentos da planta. (MORAES e CASTRUCCI, 2007).

As remotas são equipamentos instalados no campo onde ocorre o processo produtivo, e por isso encontram-se afastados da MTU. Os principais equipamentos utilizados como remotas são UTRs, CLPs e as IEDs, sendo que em alguns casos, um ou mais destes componentes são utilizados em conjunto.

Portanto as UTRs - Unidades Terminais Remotas são responsáveis por interligar a comunicação e fazer a interface entre os equipamentos do campo e uma estação mestre, sendo utilizada para coletar os dados analógicos e digitais que são tratados e utilizados para a geração de eventos, medições, e alarmes, que são enviados aos operados no centro de controle. A UTR monitora os equipamentos do campo através de cartões de entrada digitais e analógicas, e fazem parte dos sistemas de baixa tensão, já que habitualmente operam em tensões de 220V, 125V, 48V ou 24V. (OLIVEIRA JR, 2005 apud STRAUSS, 2003³).

A Figura 5, mostra um exemplo de arquitetura de uma estação remota e os equipamentos do campo, utilizando uma UTR e um quadro de comando responsável por controlar os equipamentos do campo.

Figura 5 – Arquitetura de Automação entre uma Estação Remota e os quadros de comando dos equipamentos de campo.



Fonte: Oliveira Jr (2005).

Os CLPs - Controladores Lógicos Digitais são dispositivos que executam funções específicas mediante a programas criados formados por conjuntos de instruções, que são

³ STRAUSS, C. **Electrical Network Automation and Communication Systems**. Jordan Hill: Newnes, 2003.

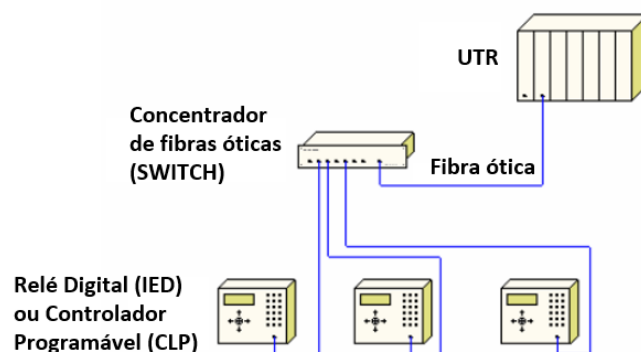
repassadas para os equipamentos do processo produtivo por ele controlado. Segundo CONSTAIN (2011), a grande vantagem dos CLPs sobre as UTRs “é que os primeiros podem ser utilizados em tarefas simples e podem ser facilmente configurados para efetuar várias funções, além de serem compactos, ocupando pouco espaço”. Devido as vantagens dos CLPs em controlar os equipamentos através de programações, e a habilidade das UTR em estabelecer as comunicações entre as centrais e os componentes do campo, ambas soluções estão sendo utilizado em conjunto na automação e controle dos processos produtivos.

Os IEDs - Dispositivos Eletrônicos Inteligentes são relés de proteção digital que possuem tecnologia versátil, onde este possui funções de proteção elétrica, controle avançado de inteligência local, habilidades de monitoramento e capacidade de comunicação extensiva diretamente com um sistema SCADA. (CONSTAIN, 2011 apud STOUFFER, FALCO e KENT, 2006). Em uma arquitetura onde é utilizada uma UTR em conjunto com as IEDs, todos os estados associados ao equipamento protegido, bem como as medições e alarmes, estão disponíveis na IHM do relé e são enviadas as UTRs por cabos, como fibras óticas (OLIVEIRA JR, 2005). Em alguns casos, os CLPs são substituídos pelas IEDs devido as diversas vantagens que estes dispositivos possuem acopladas.

A Figura 6, mostra um exemplo de arquitetura de uma estação remota e os equipamentos do campo que são controlados por IEDs ou CLPs.

Segundo Oliveira Jr (2005), a UTR consegue se comunicar com qualquer equipamento em campo, desde que eles possuam a tecnologia necessária para se comunicar com remota através de uma rede de comunicação. Portanto, não temos uma arquitetura de automação padrão, já que existem muitos equipamentos com tecnologias que permitem a comunicação com a UTR, e por vezes, ainda são utilizadas combinações entre as tecnologias existentes.

Figura 6 - Arquitetura de Automação entre uma Estação Remota e os dispositivos de controle dos equipamentos do campo.



Fonte: Adaptado de Oliveira Jr (2005).

3.6 REDES DE COMUNICAÇÃO

A rede de comunicação é a base para que ocorra o processo de comunicação entre computadores ou entre outros dispositivos, utilizando um conjunto de regras (protocolos) em comum com o objetivo de realizar trocas e o transportes de dados, através de uma determinada conexão. Segundo Bay e Bluning (2016), “essa comunicação pode ocorrer entre equipamentos que estejam a alguns metros de distância entre si, ou que estejam a milhares de quilômetros de distância entre si, no entanto o processo de comunicação é sempre o mesmo, com algumas pequenas variações conforme a tecnologia utilizada”.

Portanto, os sistemas SCADA precisam das redes de comunicação para que haja um canal de transmissão bidirecional de envio e recebimento de informações entre a estação central, as remotas, e os demais dispositivos que também compõe o sistema. Além disso, o tipo de configurações estabelecidas no sistema de comunicação irá determinar a confiabilidade e desempenho do sistema SCADA. (CONSTAIN, 2011 apud PENIN, 2007⁴)

Os supervisórios SCADA são compostos por três principais redes, as redes gerenciais, as redes de supervisão e controle e as redes de controle dos dispositivos em campo. As redes gerenciais são as responsáveis por levar as informações da estação central, presente no nível três da pirâmide de automação ilustrada na Figura 2, até aos sistemas de gestão presente nos níveis quatro e cinco da pirâmide, permitindo que os gerentes e supervisores da empresa consigam monitorar e gerenciar o processo produtivo através de dados e análises estatísticas. Já a rede de supervisão e controle são as redes que interligam as estações centrais as estações remotas, que são as responsáveis por controlar e monitorar os equipamentos do processo produto. E por fim, a rede de controle dos equipamentos de campo é segundo Hack (2019), a principal responsável pelo processamento de informações fornecidas pelos equipamentos em campo, para que os dados do processo produtivo sejam distribuídos para as demais redes presentes no sistema SCADA.

Há duas principais configurações nas redes de comunicação: o meio físico de transmissão de dados, e o protocolo de comunicação.

Os meios de transmissão de dados são compostos por cabos para a comunicação guiada por um meio físico ou por tecnologias de comunicação irradiada compostas por ondas eletromagnéticas ou sinais de luz irradiados, onde os equipamentos do supervisório SCADA,

⁴ PENIN, A.R. **Sistemas SCADA** – 2da. Edición. México D.F, 2007

conseguem transmitir e receber as informações. São determinados de acordo com a aplicação, ambiente, custos e a distância onde se encontram os equipamentos, estações remotas, estações centrais, e os postos de monitoramento, sendo necessário um estudo prévio do tipo de conexão a ser utilizado no sistema para assim garantir a confiabilidade da comunicação entre as redes que compõe o supervisor. (TANENBAUM, 2003).

São comumente usados cabos de fibra ótica, par trançado, coaxial para os meios físicos da comunicação guiada. Já para comunicação irradiada que se dispersa diretamente no ambiente, são implementadas tecnologias como por exemplo, o WiFi – Wireless Fidelity, GMS – Global System for Mobile Communications, e rádios AM/FM.

Os protocolos de comunicação podem ser compreendidos como caminhos automáticos que possibilitam o compartilhamento de dados. (CTR-RJ, 2021). São padronizações e normas para o modo como os dados são transmitidos, que permitem a comunicação universal entre diferentes dispositivos. (ALOO, 2021). São os protocolos então que permitem a conexão entre os dispositivos em campo com as remotas e centrais, sendo essenciais para a comunicação entre redes.

Atualmente existem diversos protocolos de comunicações para as mais variadas aplicações, sendo que o ideal seria que no ramo da automação industrial existissem uma modularidade e padronização dos softwares e dispositivos utilizados no mercado para que os usuários conseguissem implementar soluções de automação de forma simples e que os equipamentos utilizados em uma determinada aplicação conseguissem se comunicar uns com outros com um mesmo protocolo. Em um mercado livre de fabricantes, essa idealização se torna inviável, já que cada fabricante pode optar por escolher desenvolver seus equipamentos com os protocolos desejados e até mesmo desenvolver seus próprios protocolos, sendo necessário a existência de normas técnicas de aceitação universal para os protocolos. (JR OLIVEIRA, 2005 apud MORAES e CASTRUCCI, 2001⁵).

As padronizações existentes nos protocolos, definem regras para cada bit, palavra ou pacote de byte transmitidos entre os dispositivos e sistemas, para o fluxo efetivo das informações. (OLIVEIRA JR, 2005).

Se entre os equipamentos do sistema SCADA todos utilizassem o mesmo protocolo, seria possível realizar a comunicação entre os sistemas e redes de forma simples, mas caso os equipamentos tenham diferentes protocolos, se torna necessária a implementação de softwares

⁵ MORAES, C.C; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

ou equipamentos conhecidos como conversores de protocolos, para que seja possível converter todos os diferentes protocolos em um único específico para permitir a interoperabilidade entre os diferentes dispositivos e sistemas que usam protocolos incompatíveis. (ASTRIX, 2022). Para os casos em que os diferentes dispositivos e redes que usam distintos protocolos, e não são utilizados conversores de protocolos, não é possível estabelecer a comunicação, pois mesmo com uma infraestrutura de cabeamento e topologias físicas adequadas, os equipamentos não irão “conversar” entre si, pois é como se os equipamentos tivessem uma conexão entre eles, mas falassem línguas diferentes. Dentre os protocolos de comunicação comumente utilizados na área de automação temos o MODBUS, DPN3, TCP/IP, IEC60870, IEC104, IEC61850 e entre outros padrões existentes.

3.7 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 os drivers de comunicação que permitem que o software leia ou escreva dados que são transmitidos entre a MTU e a estação remota. Pode ser representado pelo sistema cliente-servidor, onde em uma rede interligando diversos dispositivos, a central representa o servidor que fornece os dados requisitados por diversos clientes mediante a uma solicitação, enquanto os clientes representam as remotas. (Elipse, 2019)

A coleta dos dados em tempo real dos dispositivos de aquisição de dados ocorre através de interfaces de conexão que são compatíveis ao software, tais como TCP/IP, UDP/IP, padrões seriais RS232 ou RS485, barramentos interligados ao computador, e entre outros. (Elipse, 2019)

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

O Elipse pode ser executado em diversas plataformas Windows, sendo que sua interface gráfica também pode ser exibida na internet, ou intranet via Internet Explorer.

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

O *E3 Admin* é o módulo principal, 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*, e é iniciado quando o usuário realiza o login no Windows ou quando o *E3 Sever* inicia sua operação. (Elipse, 2019)

Já o *E3 Sever*, é o servidor de aplicação responsável por executar os principais processos, sendo alguns desses processos a 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. Segundo a fabricante Elipse (2019), “é possível que vários servidores executem vários diferentes projetos que juntos compõem a mesma aplicação. Isto permite distribuir as funcionalidades do seu sistema livremente entre várias máquinas de acordo com a necessidade”. Além disso, podem ser implementados servidores para operarem em modo de espera, para casos de falhas em algum dos servidores. (Elipse, 2019)

Para a configuração e desenvolvimento do sistema SCADA, é utilizado o módulo *E3 Studio*, que é composto por um editor gráfico dotado de ferramentas para a elaboração de telas, relatórios e scripts, além de bibliotecas de símbolos com capacidade de expansão. (Elipse, 2019)

Por fim, o *E3 Viewer*, é responsável pela interface de operação e exibição da aplicação presente no *E3 Sever*. (Elipse, 2019)

As interfaces SCADA desenvolvidos com o software Elipse, ficam localizados dentro do domínio da aplicação, que é o conjunto de aplicativos que são executados dentro de um ou mais servidores. Portanto dentro de um domínio, estão os projetos e as bibliotecas que compõem 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. A principal vantagem neste conceito de domínio adotado pelo software, é a possibilidade de implementação de diversos projetos que podem compartilhar diversos recursos (como alarmes, drivers, telas, banco de dados e outros) em uma mesma aplicação, podendo acrescentar ou remover projetos sem interferir na execução do sistema. Além disto, um domínio pode estar em um ou mais servidores na rede, configurados ou não em modo de espera. (Elipse, 2019)

A interface de operação, conhecida também como *Viewer*, conecta-se tanto ao domínio quanto ao servidor, e realiza 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, que possibilita a comunicação com um determinado equipamento utilizando arquivos com extensão .dll, que se trata de drivers produzidos pela Elipse disponibilizados em sua página oficial na internet, ou drivers produzidos por terceiros a partir de um DDK (*Driver Development Kit*) fornecido pela Elipse Software. A escolha do driver a ser utilizado na aplicação, varia de acordo com o equipamento ou protocolo de comunicação utilizado no projeto SCADA, que por sua vez definem os parâmetros e especificações necessárias para estabelecer a comunicação entre os dispositivos ou rede, e o software. Então, através do modulo *IOSever* o qual é responsável pela execução do Driver de Comunicação, é realizado o carregamento da dll do driver e então a comunicação com o equipamento é estabelecida. (Elipse, 2022)

O driver de comunicação, é composto por *tags* de comunicação ou blocos de comunicação, onde cada uma delas possibilitam a escrita ou leitura de uma variável, ou então a leitura simultânea de diversas variáveis. (Elipse, 2022)

As leituras das informações advindas dos equipamentos de aquisição de dados, ocorrem de acordo com as configurações determinadas tanto nas *tags* como no driver de comunicação. Cada uma das variáveis possuem uma propriedade denominada *Scan*, que determina o tempo de ciclo de atualização, sendo que de acordo com as características das variáveis, podem ser adotados tempos de ciclos menores para obter rápidas atualizações de informações de alta prioridade, ou então ciclos de atualização menores para o caso de variáveis de baixa prioridade. Na situação de solicitações enviadas pelo software para os equipamentos, a fim de atribuir valores a determinadas variáveis presente no processo produtivo (como comandos), estas são executadas com prioridade em relação a varredura das *tags* dos drivers de comunicação. (Elipse, 2022)

A verificação do tempo de ciclo de cada variável é realizada de forma sequencial e cíclica pelo Driver de comunicação através do *IOSever*, onde o driver requisita periodicamente o valor de cada *tag*, sendo que na ocorrência de alterações nos valores ou qualidade no sinal das *tags* de comunicação, o valor é repassado ao driver de comunicação. (Elipse, 2022)

É partir dos dados obtidos pelos drivers de comunicação, que são desenvolvidas as interfaces gráficas, geração de alarmes e eventos, implementação de sumários e relatórios, e o armazenamento das informações em banco de dados.

Os alarmes e suas variações são sinalizações em tempo real, mediante a configurações prévias que utilizam as *tags* de comunicação como parâmetros através de associações entre os objetos do sistema, que facilitam a interpretações das variáveis do processo. O Elipse dispõe

de um objeto centralizador de alarmes, denominado servidor de alarmes, que permite o ajuste, gerenciamento e configuração dos alarmes.

Com a criação de alarmes é possível definir expressões lógicas que avaliam parâmetros que irão acionar ou não o alarme, mensagens de textos explicativas que facilitam a interpretação do alarme em um servidor de alarmes ou em um banco de dados, a severidade deste alarme (que pode ser classificado em crítica, baixa, média ou alta), exibir sinalizações em tela, definir como este alarme poderá ser reconhecido pelo usuário do software quando o alarme estiver ativo ou inativo, além de poder também definir um alarme como evento que irá gerar uma notificação em resposta a alguma ocorrência particular, como a mudança de valor de uma *tag* de comunicação.

Os cinco tipos de alarmes disponíveis são Alarme analógico, Alarme de Banda Morta, Alarme de Taxa de variação, Alarme digital e Alarme discreto. (Elipse, 2019)

Os alarmes analógicos são destinados para o monitoramento de variáveis analógicas e podem ser especificados como muito baixo, baixo, alto e muito alto. Já os alarmes de banda morta permitem que uma variável analógica seja classificada por um valor máximo limite, a partir de um *setpoint* de referência.

Os alarmes digitais monitoram variáveis digitais pela borda de subida em verdadeiro, ou na borda de descida em falso.

Os alarmes discretos por sua vez, permitem que uma variável monitorada seja especificada por múltiplas subcondições em severidades baixa, média ou alta.

Por fim, os alarmes de taxa de variação são aplicados para o monitoramento de variáveis com variações rápidas, e usa variáveis especificadas em unidades de variável por segundo.

Além das configurações padrões disponibilizados pelo software para a definição dos alarmes, também é possível através de Scripts acrescentar funcionalidades específicas e avançadas através dos métodos, propriedades e eventos do servidor de alarmes.

Através do servidor de alarmes, é possível criar filtros de alarmes de acordo com as propriedades configuradas nos alarmes, onde os alarmes ativos ou não reconhecidos de uma aplicação poderão ser monitorados a fim de verificar os seus estados, bem como reconhecê-los manualmente.

Para armazenar as informações dos projetos, o software conta com o Banco de Dados que suporta os formatos Access, Oracle e Microsoft SQL Server. Quando deseja-se fazer relatórios, gráficos e sumários com as informações armazenadas no banco de dados, é utilizado o objeto Consulta (ou Query) disponibilizado pelo software que auxilia no processo

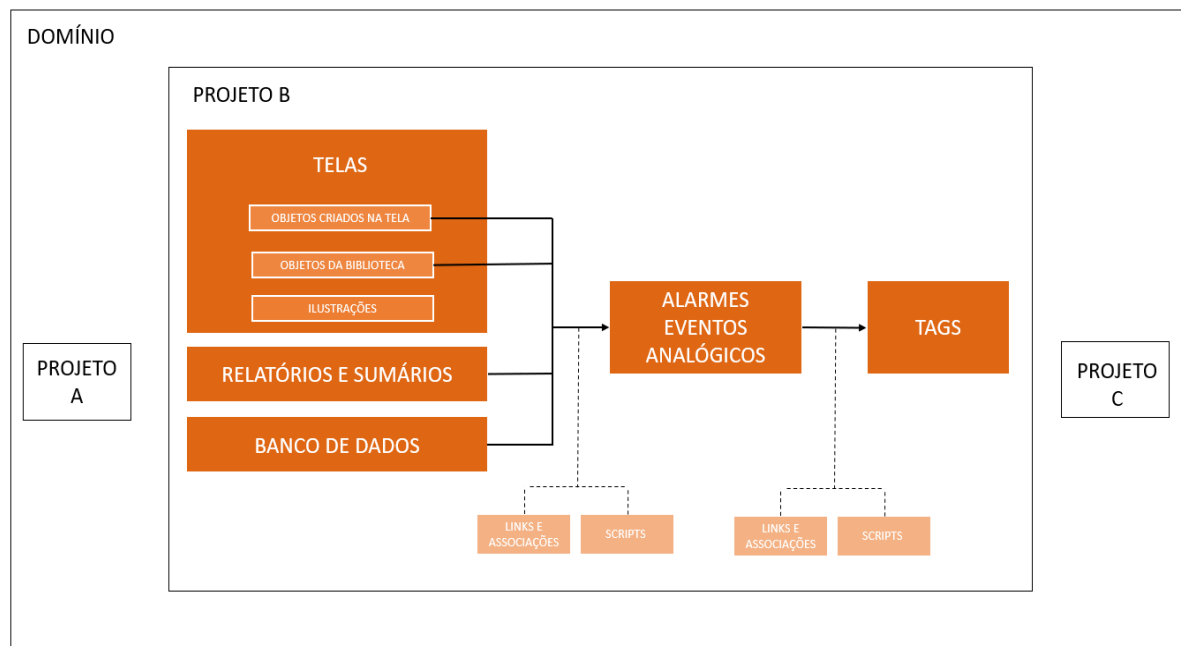
de definição de consultas no banco de dados da aplicação. Esta consulta, permite que o desenvolvedor defina como os dados serão apresentados, sendo desta forma possível gerar relatórios e sumários específicos.

Para apresentação das informações ao usuário, o Elipse dispõe de bibliotecas com conjuntos de objetos estáticos ou com animações e sinalizações em cores, que são utilizados na criação das telas que formarão a interface de alto nível do processo produtivo apresentada ao operador do sistema. O software possui bibliotecas com objetos padrões e permite que a partir das ferramentas disponibilizadas, sejam elaborados novos objetos e bibliotecas, a qual confere uma maior flexibilidade no desenvolvimento de telas para as diferentes soluções que podem ser apresentadas ao usuário.

As bibliotecas possuem recursos gráficos os quais permitem que seus objetos sejam adicionados em telas, e que através de associações sejam definidos diferentes valores e condições em suas propriedades. Além de propriedades, os objetos também possuem métodos e scripts, os quais são relacionados ao servidor de alarmes e eventos, sendo possível definir o seu comportamento através de parâmetros, como por exemplo através das variáveis do processo. Os objetos podem ser utilizados inúmeras vezes e em diferentes projetos, permitindo a reutilização de código, criação de interfaces padrões, hierarquização de objetos e entre outros.

Um projeto SCADA localizado dentro de uma aplicação em um domínio, é composto essencialmente de três partes, sendo elas a implementação de um driver de comunicação formado por *tags*, a criação de alarmes, eventos ou medições analógicas dentro de um servidor de alarmes ou projeto específico, e a elaboração das telas gráficas, relatórios, sumários e armazenamento de informações em banco de dados. Na Figura 7, é apresentado a composição simplificada de projetos SCADA dentro de um domínio no software Elipse E3.

Figura 7 - Composição de projetos SCADA dentro de um domínio de aplicação no software Elipse E3.



Fonte: Autoria própria.

3.8 ELIPSE POWER

O Elipse Power é um produto da Elipse Software, que possui um ambiente integrado de comunicação, análise e modelagem para aplicações voltadas em centros de operação para geração, transmissão, distribuição de grandes plantas industrial de redes elétricas. Devido a sua arquitetura integrada, ele facilita o acesso as informações do processo de operação de redes elétricas, permitindo a operação local e acesso remoto ao centro de controle. No setor metroferroviário, podem ser soluções para automação de subestações de energia. (Elipse, 2015)

Como é um software voltado para o setor elétrico, a plataforma conta com funcionalidades e ferramentas específicas para a área. Porém, o funcionamento e arquitetura do software é semelhante ao do Elipse E3 apresentado na Seção 3.7.

A ferramenta chamada modelador elétrico, permite que o modelo elétrico de um determinado sistema seja definido através de uma interface gráfica intuitiva. A partir do modelo elétrico gerado, o processador topológico irá através de seu algoritmo realizar a animação automática do sistema, onde os diferentes níveis de tensão são sinalizados por diferentes cores, informando visualmente aos usuários quais são os trechos energizados e desenergizados. Através do Importador de Telas, é possível por fim, gerar automaticamente os

digramas unifilares de operação. Portanto, com o Elipse Power, é possível minimizar o tempo de desenvolvimento de projetos e seu comissionamento, além de aumentar a confiabilidade do sistema de supervisão.

4 SUPERVISÃO E CONTROLE DOS SISTEMAS DO SETOR METROFERROVIÁRIO

A automação, controle e supervisão é uma realidade atualmente em quase todos os setores empresariais, sendo eles industriais, administrativos ou de serviços. Tal realidade foi alcançada em consequência das evoluções tecnológicas e transformações digitais, que podem ser aplicadas em diferentes setores, e que mostram diversos resultados positivos e benefícios ao reduzir a necessidade da interferência humana em atividades manuais e repetitivas, as quais conferem ao processo produtivo melhorias na execução das tarefas, e uma diminuição no tempo de produção, nas ocorrências de erros, e nos gastos operacionais. Neste contexto, a capacidade mental humana por sua vez é substituída pela automação em atividades manuais, e é remanejada para a supervisão, controle, planejamento e tomada de decisões.

No setor metroferroviário, a automação, controle e supervisão tem deixado de ser uma tendência, e se tornado realidade, assim como ocorreu no setor empresarial. Trens movidos a vapor foram trocados por sistemas de alimentação elétrica que são supervisionadas remotamente, além de o nível de interferência humana na condução dos trens estar sendo minimizada, e até mesmo nula em alguns casos como o da Linha 4 – Amarela do metrô de São Paulo que dispensa a presença de maquinistas nos seus trens, onde a tecnologia *driveless* composta por soluções avançadas de automação permite que os operadores do CCO programem e direcionem automaticamente a condução dos trens pelas estações desta linha do metrô. Portanto a implementação de sistemas de automação é utilizada com o objetivo de otimizar processos internos e diminuir custos operacionais, que minimizam a necessidade de interferência humana nos processos, e torna essencial a implementação de sistemas de supervisão e controle que por sua vez, exigem o uso da capacidade mental humana para gerenciar e comandar as interfaces dos sistemas automatizados. Em conjunto a automação, controle e supervisão, trazem maior confiabilidade, segurança e otimização na operação comercial de trens e na realização de manutenções do sistema metroferroviário.

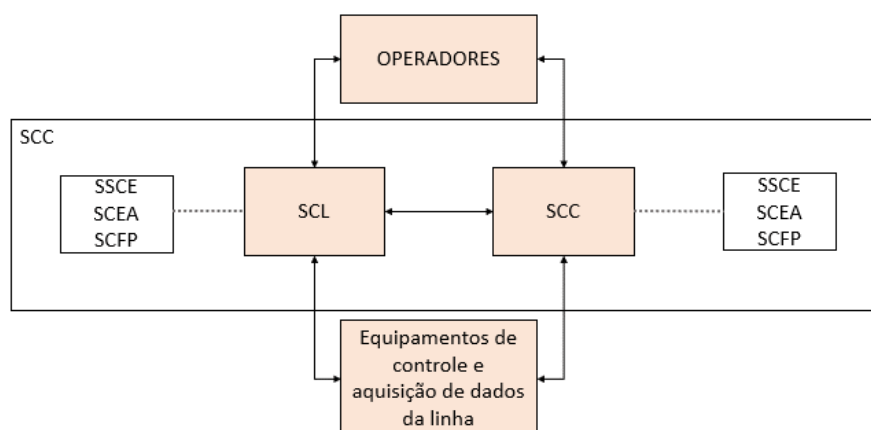
Neste capítulo, é descrito o funcionamento do Sistema de Supervisão e Controle – SSC apresentando sua arquitetura básica e suas funcionalidades, o qual é encarregado por monitorar e controlar os sistemas de suprimento de energia, de fluxo de passageiros, e de equipamentos auxiliares das estações os quais estão comumente envolvidos na operação comercial do sistema metroferroviário da região metropolitana de São Paulo. É importante ressaltar que o setor metroferroviário de São Paulo foram implementados e são gerenciados por diferentes companhias, onde cada uma adota soluções de automação, controle e

supervisão específicas e que variam de acordo com os seus recursos, equipamentos e investimentos, mas os sistemas utilizados pelas distintas companhias possuem conceitos e concepções que se assemelham em diversos níveis, tendo algumas particularidades específicas em cada uma das linhas. Contudo, o entendimento das tecnologias adotadas no sistema de automação, supervisão e controle de alguma das linhas, ajuda na compreensão em uma perspectiva macro para todas as soluções adotados no setor.

4.1 O SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE – SSC E SUAS FUNCIONALIDADES.

O SSC, como o seu próprio nome descreve, é um sistema utilizado para a supervisão e controle de todos os processos referentes a operação e manutenção de uma determinada linha e instalações correlacionadas a ela. Ele integra os vários níveis de operacionais relacionados ao sistema de supervisão, controle e aquisição de dados. Este sistema é basicamente formado por dois subsistemas conforme ilustrado na Figura 8:

Figura 8 – Integrações do SSC.



Fonte: Autoria própria.

Composto por dispositivos de supervisão, controle e recursos operacionais, o SCC – Subsistema de Controle Centralizados são implementados nos Centro de Controle Operacional o qual é constituído de diversos postos de controles integrados.

Já os SCL – Subsistema de Controle Local são constituídos por equipamentos de supervisão, controle e recursos operacionais que são implementados nas estações ou instalações complementares que compõem a operação das linhas do sistema metroferroviário.

Além do SCL e SCC, em algumas das linhas de metrô também são utilizados o SCP – Subsistema de Controle do Pátio, compostos pelos os equipamentos de supervisão, controle e recursos operacionais implementados nos Pátios, que são instalações onde ocorrem as manobras, manutenções e estacionamento dos trens de uma linha. Em alguns casos, o SCC pode englobar as funcionalidades destinadas ao SCP.

No contexto do SSC, temos então um ou mais sistemas de supervisão SCADA integrados, onde o SCC é instalado no Centro de Controle Operacional e o SCL onde ocorrem as operações locais de um determinado processo da linha. O SSC pode ser compostos por diversos subsistemas, sendo os comumente utilizados os Subsistema de Supervisão e Controle de Energia - SSCE, o Subsistema de Controle de Equipamentos Auxiliares - SCEA, o Subsistema de Controle de Fluxo de Passageiros – SCFP. Esses principais subsistemas são integrados no SSC, porém suas operações se dão de forma independente entre si, e possuem interfaces exclusivas para cada um deles que são geralmente dispostas em diferentes postos de operações nos CCOs e nas IHM ao longo das linhas em instalações que executam atividades cruciais para a operação do sistema metroferroviário.

Os SSCE supervisionam e controlam o sistema de alimentação elétrica e o consumo de energia de uma linha de trem ou metrô, desde o recebimento da energia advinda das concessionárias de energia elétrica, até a sua distribuição entre todas as subestações, estações, e eletrificação dos trens de acordo demanda do sistema de transporte. Fazem parte do SSCE os sistemas de tração, alta tensão, média tensão e baixa tensão, os quais são compostos, de forma sucinta, por transformadores, retificadores, disjuntores e seccionadoras que realizam a proteção e manobras para a eletrificação das catenárias ou terceiro trilho dos trens presentes nas linhas, e o fornecimento de energia para as estações. A implementação deste sistema garante a confiabilidade no fornecimento de energia elétrica de uma linha do setor metroferroviário.

Já os SCEA supervisionam e controlam os sistemas de serviços auxiliares das estações, tais como sistemas de hidrantes, de detecção e alarmes de incêndio, de ar-condicionado, de ventilação e das bombas de água, os quais são responsáveis por zelar pela proteção, segurança e bem-estar dos usuários nas dependências do metrô e trens.

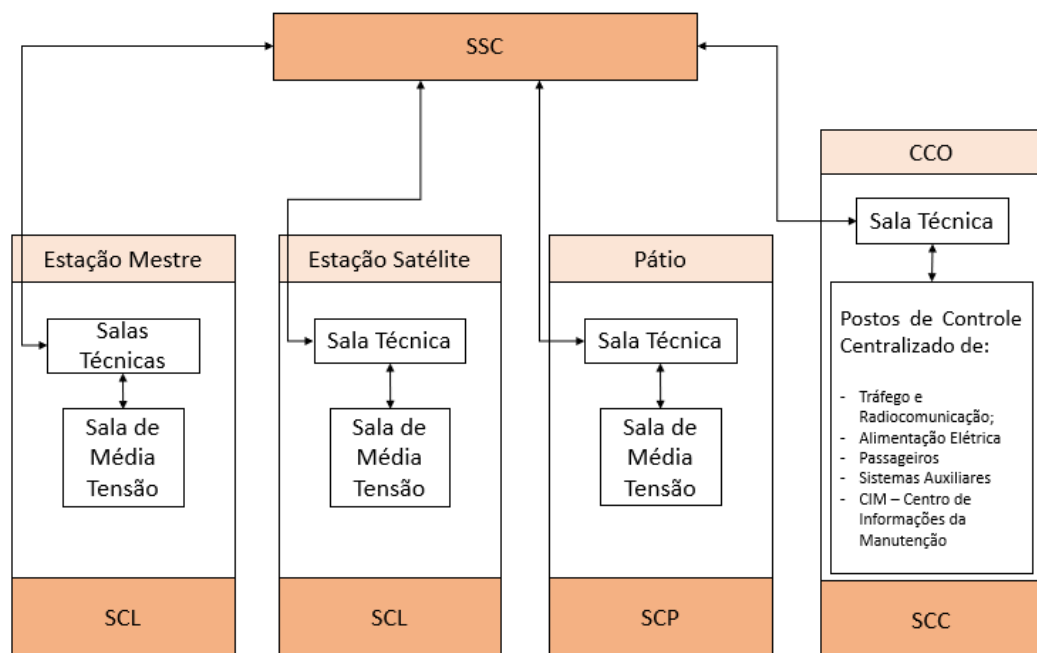
Para os SCFP temos o supervisionamento e controle dos bloqueios, elevadores, câmeras de segurança, escadas e esteiras rolantes os quais são responsáveis por garantir a segurança, ordem e melhorar a experiência dos passageiros durante o deslocamento dentro das estações.

Os SCC costumam englobar todos os sistemas de supervisão SSCE, SCFP e SCEA em uma única interface gráfica, reunindo todas as informações da linha em uma plataforma

centralizada e disponibilizada aos operadores presentes no CCO, os quais conseguem de forma fácil e rápida, acesso as informações do subsistema por meio de sinalizações por cores, sons, animações, mensagens em tela, alarmes disponibilizados em sumários com filtros personalizados, relatórios customizados, e entre outros, os quais impactam e auxiliam diretamente nas tomadas de decisões dos operadores do sistema, permitindo que ações mais precisas e eficientes sejam tomadas com base nos dados analisados, além de também permitir atuações em campo mais rápidas já que o sistema envia a partir da central comandos, que executam manobras e atividades remotamente, não sendo necessário o deslocamento de funcionários da manutenção por longas distancias ao longo da linha até a instalação física, a qual pode até estar localizada em outra cidade.

Já os SCL, são subsistemas que permitem aos usuários o controle e supervisão de uma região específica, estando presente em campo, no local onde o processo está sendo controlado. Portanto em sua interface, costumam ser supervisionados somente os sistemas encontrados próximos das áreas de monitoramento. São dispostos em uma arquitetura distribuída geograficamente ao longo da linha do sistema metroferroviário, sendo então implementados diversos SCL no SSC. Assim como SCC, possuem o monitoramento do SCEA, SSCE e SCFP, porém em uma visão local, onde de acordo com a instalação podem ou não englobar todos estes subsistemas. A Figura 9 ilustra a configuração do SSC á nível de salas de controles.

Figura 9 – O SSC - Sistema de Controle Centralizado á nível de salas de controle



Fonte: Adaptado de Sousa (2010).

As salas técnicas são compostas por racks com servidores, switches, no-breakers, modems, CPU, remotas, e entre outros dispositivos. São ambientes que devem ser condicionados através de controle de umidade e temperatura. As Salas de Média Tensão, são destinadas ao monitoramento e controle da distribuição da energia ao longo da linha de trem, e são compostas por cubículos com disjuntores e equipamentos de proteção e controle – IEDs, que enviam as informações do sistema de energia a sala técnica.

A distinção entre estação mestre e estação satélite, ocorre entre as estações que possuem ou não o controle do tráfego de trens, onde as estações mestre integram tal controle de tráfego e controlam as estações satélites. (SOUSA, 2010)

Dentro do SSC, temos definições de hierarquia entre os sistemas referente a concessão de prioridade de controle das instalações nas linhas, a qual garante a adequada operação entre eles evitando conflitos de informações enviadas e recebidas entre o SCC e o SCL. Esta hierarquia é definida como modo de operação, o qual possui duas opções de funcionamento, sendo o modo central quando a operação do sistema é realizada de forma centralizada no SCC dentro do CCO, e o modo Local, quando a operação do sistema é realizada de forma distribuída em cada uma das instalações da linha distantes do centro de controle onde os SCL estão presentes. Uma das premissas do modo de operação, e que somente um dos modos pode ser selecionado para cada estação em um dado instante. (SOUSA, 2010)

Quando o modo de operação está em central, o sistema impede a emissão de comandos pelo SCL, porém ainda ficam disponíveis no supervisório local todas as telas e estados atuais dos equipamentos, bem como a exibição das operações realizadas pelos operadores dos SCC. Quando o modo de operação está em local em alguma determinada estação, os subsistemas incumbidos ao SCL, permitem que os usuários do respectivo SCL realizem comandos locais, enquanto no SCC apenas é permitido o supervisionamento das operações realizadas pelo supervisório local. (SOUSA, 2010)

Os softwares para o desenvolvimento e implementação de interfaces dos sistemas SCADA voltados para soluções do setor metroferroviário, precisam garantir a interoperabilidade entre os sistemas SCC e SCL, além de permitir o dimensionamento do sistema de acordo com as necessidades da linha, ou seja, viabilizar os monitoramentos de diversos equipamentos distribuídos geograficamente em longas distâncias. Tais softwares do sistema SCADA são compostos por quatro principais módulos que possuem funcionalidades básicas bem definidas. Estes módulos são de banco de dados, de banco de histórico, de interface homem máquina e modelo de aquisição e comando, onde eles se comunicam entre si por meio de uma rede comum de troca de dados do tipo servidor-cliente, utilizando o padrão

TCP/IP, onde são definidos os formatos das mensagens trocadas, o tipo de varredura entre as conexões com os servidores, e estabelecimento de comunicação com os equipamentos distribuídos pela linha. Além disso, são classificados como arquiteturas multi-servidores, onde as funcionalidades dos servidores podem ser distribuídas fisicamente em diversas máquinas, em que cada cliente consegue se comunicar com um determinado servidor, ou então com todos os servidores. Nesta arquitetura, os servidores também conseguem comunicar e trocar informações entre si. (SOUSA, 2010)

4.1 O SUBSISTEMA DE CONTROLE CENTRALIZADO – SCC: APLICABILIDADE E ARQUITETURA.

O Subsistema de Controle Centralizado - SCC é supervisor responsável por monitorar toda a linha e suas respectivas instalações, como por exemplo, estações, pátios, vias, subestações e cabines de seccionamento de energia. Este subsistema faz a interface entre os operadores, o Subsistema de Controle Local – SCL e os equipamentos das linhas e suas respectivas instalações, e são implementados no CCO.

No SSC, definimos qual é o modo de operação preferencial entre o SCC e o SCL. Por estar no CCO, o SCC se torna o meio preferencial de operação da linha, já que permite aos operadores terem uma visão global do sistema supervisionado, concentrando na central todas informações e dados, além de permitir o controle dos equipamentos da linha remotamente de forma rápida e precisa.

O SCC é decomposto em diferentes postos de operações para o monitoramento do SSCE, SCFP, SCEA que são dispostos no CCO, e são responsáveis pelo gerenciamento central e controle destes subsistemas de uma determinada linha. Cada um dos subsistemas monitoradas pelos diferentes postos de controle, possuem uma interface com sinalizações e funcionalidades específicas para cada atividade sucumbida a este posto, que são integradas também com os outros subsistemas monitorados. Os postos de monitoramento são munidos de equipamentos computacionais, como monitores de vídeos com o software SCADA embarcado, que permite aos operadores o acesso as informações dos subsistemas.

Quanto as interfaces disponíveis no CCO, habitualmente temos um software SCADA que realiza a interface com os dispositivos remotos, servidores e redes dedicados exclusivamente para o monitoramento do tráfego dos trens, enquanto outro software SCADA é utilizado para a supervisão dos demais subsistemas (SSCE, SCFP e SCEA).

A arquitetura do SCC, consiste na operação interligada de três redes locais independentes, onde os switches conectam as redes de forma que estas três redes atuem como uma única rede, a qual permite que todos os equipamentos conectados a alguma das redes, troquem informações quando necessário.

A primeira rede chamada de Rede Local de Ethernet de Tráfego, é adotada para o CTC - Controle de Tráfego Centralizado, sistema responsável pelo supervisionamento e controle de rotas, comandos automatizados dos trens e gerenciamento do tráfego dos trens em circulação nas linhas.

A segunda, chamada de Rede Local Ethernet SCADA, é adotada para o sistema de controle centralizado e seus subsistemas, como os subsistemas de suprimento de energia, de controle de fluxo passageiros e controle de equipamentos auxiliares das estações e seus dispositivos de comunicação.

Já a terceira rede, chamada de Rede Local Ethernet Comum, centraliza todas as funcionalidades que são comuns as duas primeiras redes, a qual possibilita a comunicação entre elas e seus respectivos elementos.

As redes locais do SCC possuem padrão Ethernet com protocolo TCP/IP e são conectadas aos servidores, postos de controle, e gerenciadores de imagens dos VideoWall.

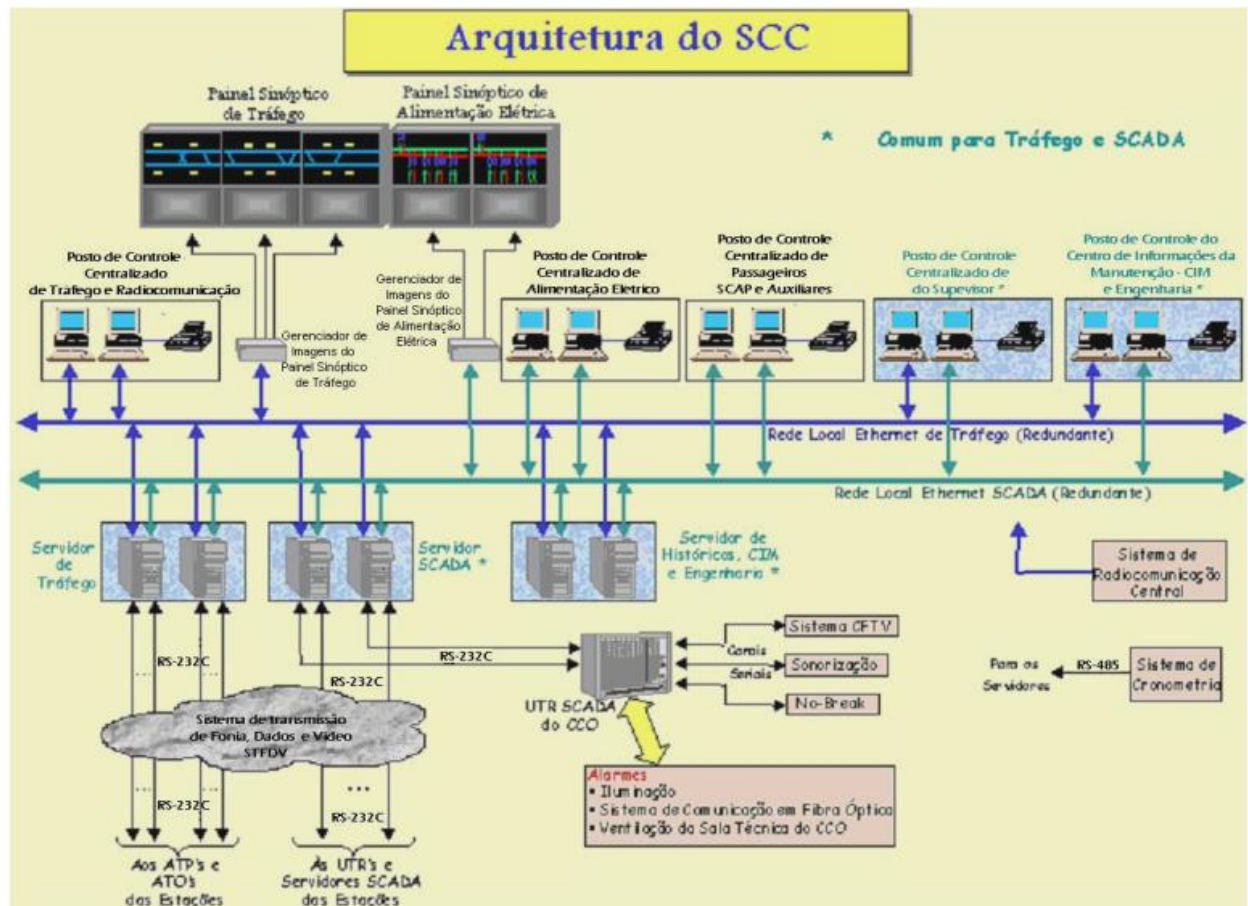
Os servidores destinados as aplicações do SCC, realizam o processamento e gerenciamento da comunicação com os equipamentos em campo, os quais transmitem os dados das remotas até os servidores nas centrais, onde estas informações advindas do campo são utilizadas nas interfaces do sistema SCADA, a qual também está presente no ambiente do servidor. Eles fazem interface com os dispositivos de campo através de canais séries de padrão RS-232C, RS-485 e entre outros. Normalmente são configurados em pares redundantes.

Os servidores são divididos por funcionalidades onde os principais utilizados no SCC são:

- Servidores de Controle de Tráfego: Destinados ao controle de tráfego de trens e a comunicação com os dispositivos de sinalização, como o ATP – Proteção Automática do Trem e ATO – Operação Automática do trem, localizados nas estações e pátios.
- Servidores de Controle SCADA: Destinados as funcionalidades de controle dos SSCE, SFCF, SCEA e pela comunicação com as remotas.
- Servidores de Históricos, CIM – Centro de Informações da Manutenção e Engenharia: Destinados as funcionalidades de armazenamento dos dados, elaborações de relatórios

técnicos, planejamento da operação e apoio a manutenção dos sistemas e softwares do SCC. A Figura 10 ilustra um exemplo de arquitetura adotada para o SCC.

Figura 10 – Arquitetura do SCC presente em um Centro de Controle Operacional.



Fonte: Sousa (2010) apud CPTM (2004)⁶.

4.2 O SUBSISTEMA DE CONTROLE LOCAL – SCL: APLICABILIDADE E ARQUITETURA

O Subsistema de Controle Local – SCL é o responsável por fazer a interface com o SCC e os equipamentos de controle das linhas e suas respectivas instalações, e são implementados nas estações, ou cabines e subestações de energia. Em algumas linhas, como as da CPTM, também corresponde por PCC - Painel de Comando e Controle. Eles oferecem uma visão local, possibilitando a supervisão e controle apenas do processo sob a região de sua competência.

⁶ CPTM Especificação técnica do sistema de supervisão e controle (SCC/SCL/PCP) CPTM AF9053-5 2004, 2006.

De forma geral, os SCL são postos de operações locais, e podem ser responsáveis pelo comando, controle, medição e aquisição de dados dos equipamentos que fazem interface com ele. Dependendo do escopo do projeto implementado, ele pode inclusive ter a prioridade sob o SCC, tornando o controle dos equipamentos sob seu domínio. A prioridade de operação no SCL é de extrema importância em casos operacionais ou de manutenção como uma medida de segurança aos funcionários que irão realizar uma determinada atividade em uma região, como por exemplo, em caso de manutenção em subestações de energia, ao ter o modo de controle como local, evita que a central faça manobras equivocadas que podem pôr em risco a vida dos prestadores de serviços no local.

Podem estar localizados em salas técnicas em cada uma das estações das linhas, quanto em subestações ou cabines seccionadoras, e podem contemplar os SSCE, SCEA e SCFP.

Assim como o SCC, os SCL são compostos de equipamentos de supervisão convenientes ao tipo de processo controlado, porém em contrapartida, a sua arquitetura é distribuída ao longo da linha. O SCL é decomposto em diferentes postos de operações para o monitoramento dos sistemas e subsistemas, como ilustrado na Figura 11.

Figura 11 - Sistemas das estações Mestre e Satélite.

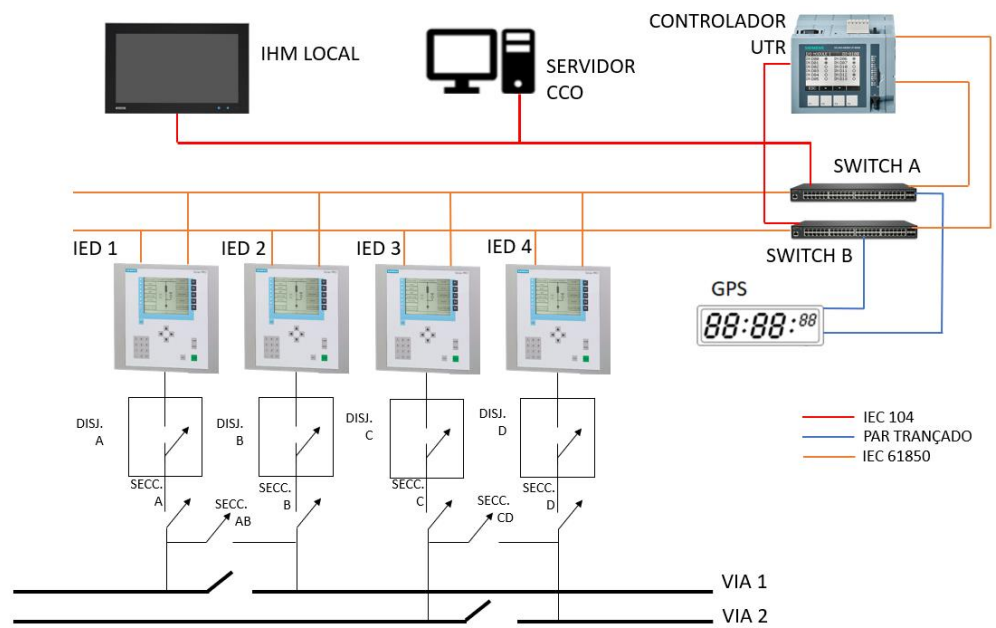
Estação Mestre:	Sala SSO da Estação	Posto de Controle de Tráfego
		Posto de Controle de Alimentação Elétrica
		Posto de Controle de Passageiros, SCAP e Auxiliares
	Sala Técnica da Estação	IHM de Tráfego
		Servidores
	Sala de Média Tensão	IHM de Alimentação Elétrica
Estação Satélite	Sala SSO da Estação	Posto de Controle de Alimentação Elétrica; Posto de Controle de Passageiros, SCAP e Auxiliares
		Sala de Média Tensão
	Sala de Média Tensão	IHM de Alimentação Elétrica

Fonte: Sousa (2010).

A arquitetura do SCL consiste na operação interligada de todas as redes locais independentes existentes no setor sob seu domínio, onde no caso da Figura 12, trata-se de uma arquitetura genérica de uma cabine de seccionamento de energia das vias de uma linha de trem. Os equipamentos como disjuntores e seccionadoras são controlados e protegidos por diferentes IEDs, os quais realizam uma comunicação horizontal entre as IEDs e o controlador utilizando o protocolo de comunicação IEC 61850. A sincronização de todos os equipamentos

da cabine é realizada pelo GPS, que utiliza cabos de par trançados. Todas as informações são concentradas pelo controlador UTR, o qual intermedia a comunicação entre os dispositivos de campo e a IHM pela rede local de controle, permitindo que os operadores tenham acesso a todas as informações do sistema através do supervisor local SCADA presente na interface. Além disso, a UTR também é responsável por intermediar a comunicação entre os dispositivos de campo e a central localizada no CCO da linha, que por sua vez permite que o sistema seja operado e supervisionado remotamente, realizando a comunicação vertical entre os diferentes níveis do sistema. Os switches conectam todas as redes existentes de forma que elas atuem como uma única rede, a qual permite que todos os equipamentos conectados troquem informações com a remota que por sua vez, recebe e envia as informações ao software SCADA local presente na própria localidade, e ao software SCADA central, presente no centro de controle através do protocolo de comunicação IEC104.

Figura 12 - Arquitetura do SCC presente em uma Cabine de Seccionamento de Energia.



Fonte: Autoria própria.

5 OS PRINCIPAIS SUBSISTEMAS MONITORADAS PELOS SISTEMAS SCADA

Como apresentado no capítulo 4, os principais subsistemas do SCC são o SSCE, SCEA, SCFP e controle de tráfego centralizado de trens, que em conjunto, realizam o monitoramento de todo o sistema de automação e controle de uma linha do setor metroferroviário.

Cada um destes sistemas possui suas particularidades, funcionalidades e distintas aplicações e por isso suas interfaces no SCADA são apresentadas de maneiras diferentes, onde estas interfaces são implementadas de acordo com as necessidades de supervisão e de forma que facilite a compreensão dos estados dos principais equipamentos de cada um destes sistemas e subsistemas em tempo real para os usuários que operam a linha.

5.1 SUBSISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE DE ENERGIA

Os trens do sistema metroferroviário paulista são alimentados por energia elétrica. A energia do sistema é fornecida pelas concessionárias e passam por diversos equipamentos de controle e conversão de energia antes de chegar aos motores que movimentam os trens. Nas principais empresas que gerenciam as linhas de trens e metrô em São Paulo, são adotadas distintas formas para a coleta de energia bem como os níveis de tensões admitidos para a eletrificação dos trens.

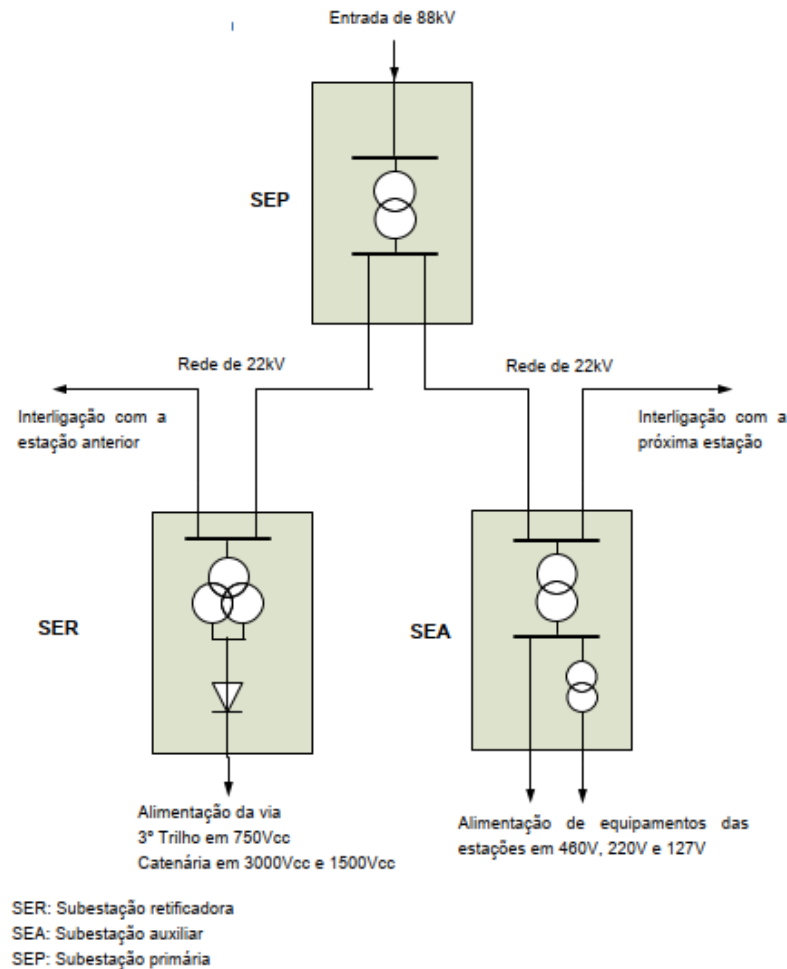
Na CPTM, a energia é coletada pelos pantógrafos dos trens que são conectados aos cabos da rede área de energia denominados como catenárias tradicionais, que são linhas eletrificadas que distribuem a tensão de 3kVcc ao longo de todas as linhas.

No caso do Metrô, a energia é coletada por sapatas coletoras ao fazerem contato com o terceiro trilho, que se trata de uma barra metálica localizada na lateral dos trilhos do trem que alimentam a locomotiva com 750Vcc.

No caso das linhas da ViaMobilidade e ViaQuatro, são adotadas redes áreas por onde os pantógrafos dos trens fazem a captação da energia, porém em alguns trechos são utilizadas catenárias tradicionais assim como na CPTM, e em outros são utilizadas catenárias rígidas onde os cabos da rede área de energia são acoplados em canaletas fixas ao teto das estações e túneis.

A arquitetura comumente utilizada para a eletrificação das linhas e fornecimento de energia para estações, pátios e vias é apresentada na Figura 13.

Figura 13 – Diagrama de blocos da arquitetura do sistema elétrico do METRÔ de São Paulo.



Fonte: Sousa (2010).

O fornecimento de energia elétrica de uma linha é formado simplificadamente por três tipos de subestações com diferentes funcionalidades.

A SEP – Subestação Primária, é destinada ao recebimento de energia das concessionárias na tensão de 88kV para então transformá-las para o nível de tensão de 22kV através de transformadores, para serem distribuídas as SER – Subestação Retificadora e SEA – Subestação Auxiliar presentes ao longo da linha. Em todas as linhas de trens e metrô da cidade de São Paulo, são implementadas redundâncias para o fornecimento no setor elétrico de 22kV, onde na ocorrência de descontinuidade no fornecimento de energia de uma SEP, a carga do setor é transferida automaticamente a primária adjacente, de forma a garantir a continuidade do fornecimento de energia as subestações retificadoras e auxiliares consecutivas do sistema.

A SER por sua vez, é destinada a alimentação dos trens através das redes áreas compostas por catenárias, ou pelo terceiro trilho do trem. Para que a alimentação dos trens

seja viável, a energia recebida pela entrada da SER em 22kV, tem seu nível de tensão transformado e convertido através de retificadores em corrente contínua. Os níveis de tensão comumente adotados para a alimentação dos trens variam entre as linhas, sendo que o padrão adotado para a eletrificação do terceiro trilho é de 750Vcc, e de 3.000-1.500Vcc para o caso das redes áreas. Os sistemas de alimentação dos trens, são conhecidos como sistemas de tração elétrica, que se trata de linhas eletrificadas em longas distancias alimentadas em corrente contínua responsáveis por garantir de forma segura e interrupta a eletrificação dos trens que transportam os passageiros.

Por fim a SEA, é destinada a alimentação dos equipamentos das estações de passageiros, vias, túneis, pátios e o prédio do CCO, sendo necessário a transformação do nível de tensão e a conversão de tensão alternada para contínua de 22kVca para 440Vcc, 220Vcc e 127Vcc.

As subestações são projetadas para que a alimentação elétrica da linha tenha uma alta confiabilidade, onde em casos de falhas no fornecimento de energia seja este ocasionada pela concessionaria ou pelo sistema interno do metrô ou trem, a linha continue operando. Portanto, para cumprir esta exigência, são adotadas redundâncias nos equipamentos e componentes do sistema elétrico em todas as subestações.

A alimentação do sistema metroferroviário é formado por todos os equipamentos de geração e fornecimento de energia elétrica, além do sistema de tração. Quanto as instalações físicas dos sistemas de energia, além das subestações temos também as cabines seccionadoras, ou cabines de paralelismo, as quais isolam um trecho da via conforme a necessidade de operação da linha.

São denominados como alta tensão os sistemas da SEP de recebimento de energia das concessionaria e o fornecimento de energia as SER e SEA. Já para os sistemas da SER são denominados como média tensão o sistema de recebimento de energia das SEP, e denominado como tração elétrica o sistema de conversão e retificação de energia que proveem o fornecimento de energia aos trens da linha. Assim como ocorrem na SER, nas SEA são denominados como média tensão os sistemas de recebimento de energia das SEP, e denominado como baixa tensão o sistema de conversão e retificação de energia para a alimentação de energia das estações de passageiros, pátio, vias e outras instalações auxiliares da linha.

No caso da CPTM, são adotadas arquiteturas diferentes para as subestações, onde há subestações que em uma mesma instalação física, adotam as funcionalidades da SEP, SER e SEA, e outras que adotam somente as funcionalidades de uma SER e SEA e são alimentadas por uma SEP.

A operação do sistema de energia do setor metroferroviário, precisa garantir o 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.

Dentro dos centros de controle, os operadores devem monitorar a geração e demanda de energia para as cargas dos sistemas, o controle de fluxo de potência nas redes e os níveis de tensão necessários, que possuem parâmetros e limites técnicos pré-estabelecidos para garantir uma operação satisfatória, onde na ocorrência de anormalidades, devem ser rapidamente normalizadas a fim de evitar perdas e panes no sistema que prejudicam o serviço da linha e geram prejuízos a companhia. É crucial portanto o planejamento da operação deste sistema a curto, médio e longo prazo, o qual visa principalmente determinar os parâmetros e limites técnicos que devem ser seguidos durante a operação diária das linhas, bem como a demanda de energia que é utilizada pelo sistema a fim de fornecer as informações necessárias sobre a demanda da linha para o contrato da energia com as concessionárias de energia elétrica, já que as demandas excedentes ao valor contratado de energia gera multas e penalidades a empresa. Além disso, para fins estatísticos, são realizados relatórios da operação, onde são feitos levantamentos referentes ao desempenho, falhas e distúrbios do sistema a fim de prover dados confiáveis para as etapas de planejamento e tomadas de decisões para a operação do sistema.

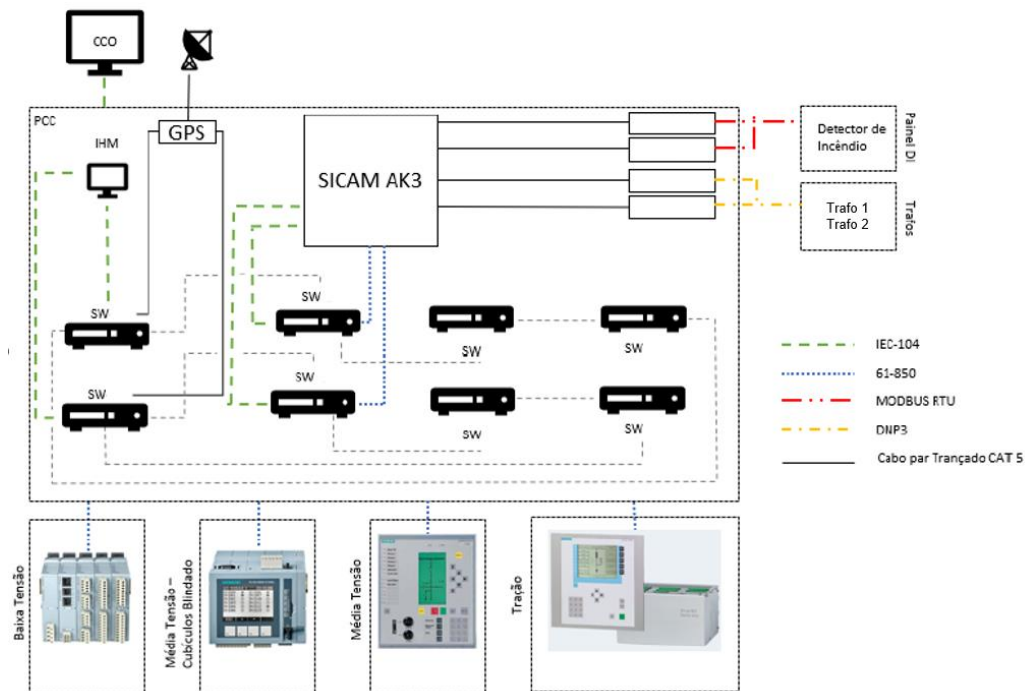
Neste contexto, é crucial a implementação da automação e supervisão dos sistemas de energia no setor metroferroviário, devido a todas as necessidades operativas incumbidas as empresas que gerem as linhas de trens e metrô.

Os sistemas de automação ao serem integrados com o sistema de energia de uma linha de trem ou metrô, compreenderá funções relativas à proteção, controle e supervisão das subestações primárias, retificadoras e auxiliares, e quando aplicado, também de cabines de seccionadoras.

A fim de facilitar a compreensão sobre a arquitetura de automação de subestações de energia e a implementação dos sistemas SCADA neste setor, será utilizada como referência uma subestação retificadora e auxiliar da CPTM e o sistema de telecomando de uma das linhas sob a responsabilidade da empresa. Os dados sensíveis relativos a esta subestação bem como do sistema de supervisão da linha, serão ocultados ou trocados por informações fictícias. Na Figura 14, é apresentada a arquitetura simplificada de uma subestação da CPTM.

No caso desta subestação, temos uma subestação retificadora e auxiliar em uma mesma instalação física, onde a partir da alimentação de uma subestação primária em 34,5kV, a energia é transformada em diferentes níveis de tensão, as quais são utilizadas nos sistemas de tração em 3kVcc, baixa tensão em 127Vcc/220Vcc e sinalização do tráfego de trens em 6,6kV.

Figura 14 – Arquitetura de Rede de uma Subestação da CPTM.



Fonte: Adaptado de CPTM (2019).

As seccionadoras de via da subestação são os equipamentos de manobra responsáveis pela energização ou desenergização dos trechos da via, e são protegidas por cubículos elétricos os quais são compostos por disjuntores, relés de proteção, IEDs, sensores, sinaleiras e botoeiras.

Em um cubículo, o IED é responsável pela proteção, controle e monitoramento dos estados dos equipamentos que pertencem ao painel, incluindo o seu disjuntor e respectiva chave seccionadora de via. Normalmente fica instalada no painel frontal do cubículo, e se torna a IHM entre os equipamentos do cubículo e o usuário. Através do IED, é possível controlar os equipamentos dos cubículos, bem como monitorar os estados e proteções através de sua interface IHM. Essa composição é amplamente utilizada nos sistemas de alta tensão, média tensão, baixa tensão e tração nas subestações do setor metroferroviário. Todos os IED são interligados através de switches e cabos de fibra ótica e em conjunto formam uma rede de comunicação de comando e aquisição de dados utilizando o protocolo IEC 61850. Os transformadores da subestação por sua vez, possuem equipamentos de medição interligados aos seus TCs e TPs, os quais realizam o monitoramento dos valores analógicos dos transformadores, e devido às especificações do fabricante deste equipamento, eles se conectam à rede de comunicação utilizando o protocolo MODBUS.

Além dos IEDs, na subestação temos a central de incêndio, que é composta por detectores de fumaça e acionadores manuais disposto de forma estratégica por toda instalação. Utiliza o protocolo de comunicação DPN3 para conectar à rede de comunicação, devido as especificações técnicas do fabricante.

A interligação entre os transformadores, central de incêndio e IED, que compreendem todos os equipamentos da subestação, é realizada no PCC – Painel de Controle e Comando, responsáveis pelo comando, controle, medição e aquisição de dados de toda a subestação. São compostos por switches, receptor GPS, IHM com software supervisor e a UTR.

Os switches conectam todas as redes de comunicação da subestação a remota, e realizam o direcionamento do fluxo de informações. São equipamentos que trabalham com redundância, sendo dispostas aos pares.

A antena e o receptor GPS são responsáveis pela sincronização dos dispositivos de proteção, e formam a rede de sincronização da subestação utilizando cabos de par trançado.

A UTR utilizada, é o conversor de protocolo SICAM AK3 da SIEMENS que atua como um dispositivo de aquisição de dados, centralizando todas as informações dos equipamentos da subestação transmitidas e recebidas pelas redes de comunicação, e como conversor de protocolo.

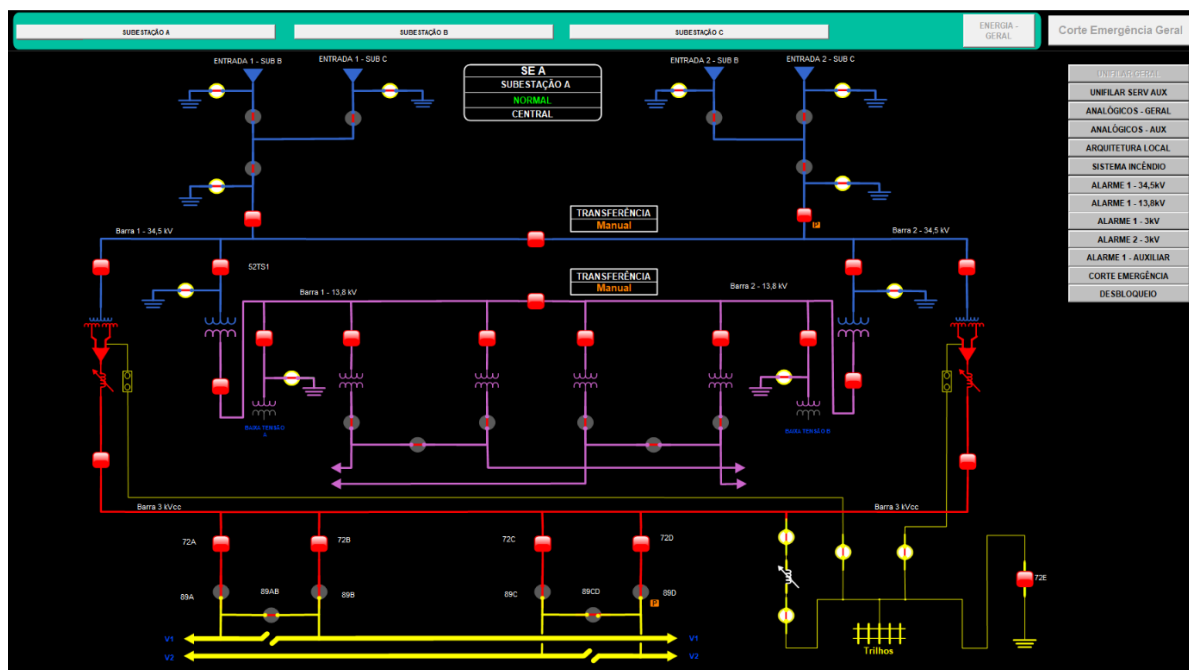
A partir dos dados fornecidos pela remota, a IHM com o software de supervisor local, exibe em uma interface de alto nível todas as informações referentes aos estados dos sistemas de média tensão, baixa tensão, e tração elétrica da subestação. Além disso, a remota também é conectada ao software do supervisor central localizado no CCO da CPTM, a qual apresenta as informações destas subestações e de todas as demais localidades que compõe a linha em uma interface amigável.

Nos softwares SCADA, há um menu de navegação inicial em sua interface a qual permite que o usuário selecione qual subsistema e localidade de uma determinada linha ele deseja visualizar, sendo que é possível que o SSC seja somente referente ao monitoramento de um único subsistema, ou de diversos subsistemas.

Para que diversas localidades sejam monitoradas pelo centro de controle operacional, é necessário que haja uma rede que interligue todas as remotas presentes na linha em cada uma das localidades que podem estar dispostas em diferentes tipos de topologias físicas, as quais normalmente são conectadas por cabos de fibras óticas em um sistema denominado como STO – Sistema de Transmissão Óptico, para então garantir a transmissão dos dados entre a central e as unidades monitoradas.

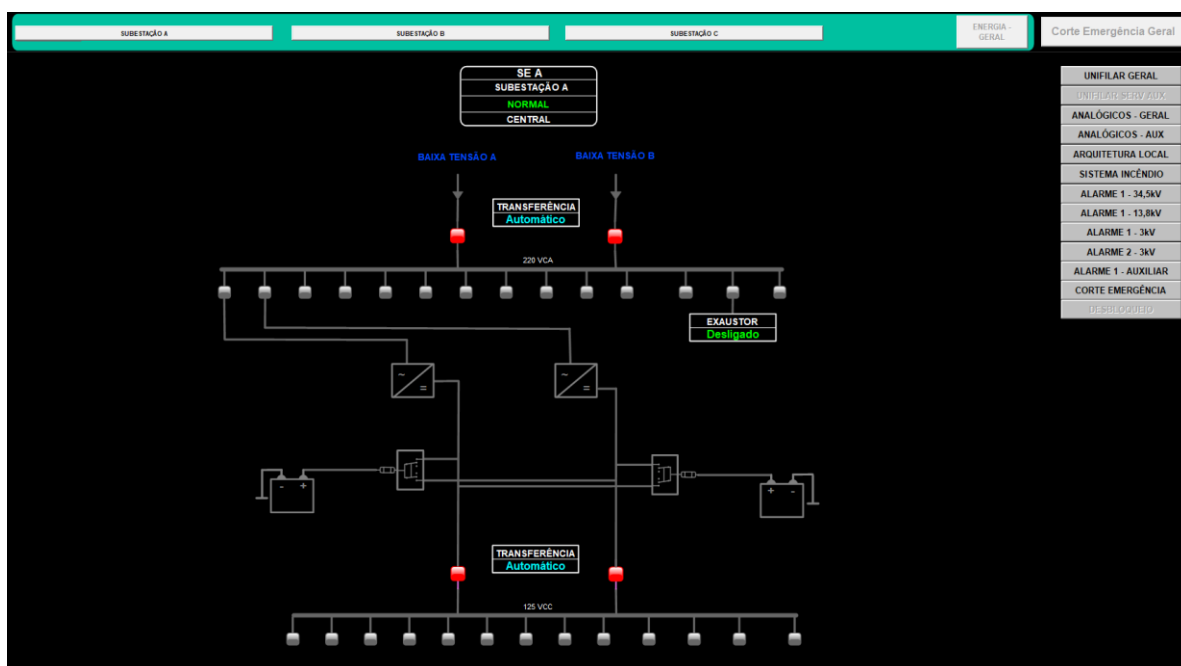
Nas Figuras 15 e 16, são apresentadas telas exemplo de uma típica arquitetura de uma subestação do setor metroferroviário.

Figura 15 – Tela do software SCADA do diagrama unifilar dos sistemas de média tensão e tração de uma subestação de uma linha de trem do sistema metroferroviário.



Fonte: Autoria própria.

Figura 16 - Tela do software SCADA do diagrama unifilar do sistema de baixa tensão de uma subestação de uma linha de trem do sistema metroferroviário.



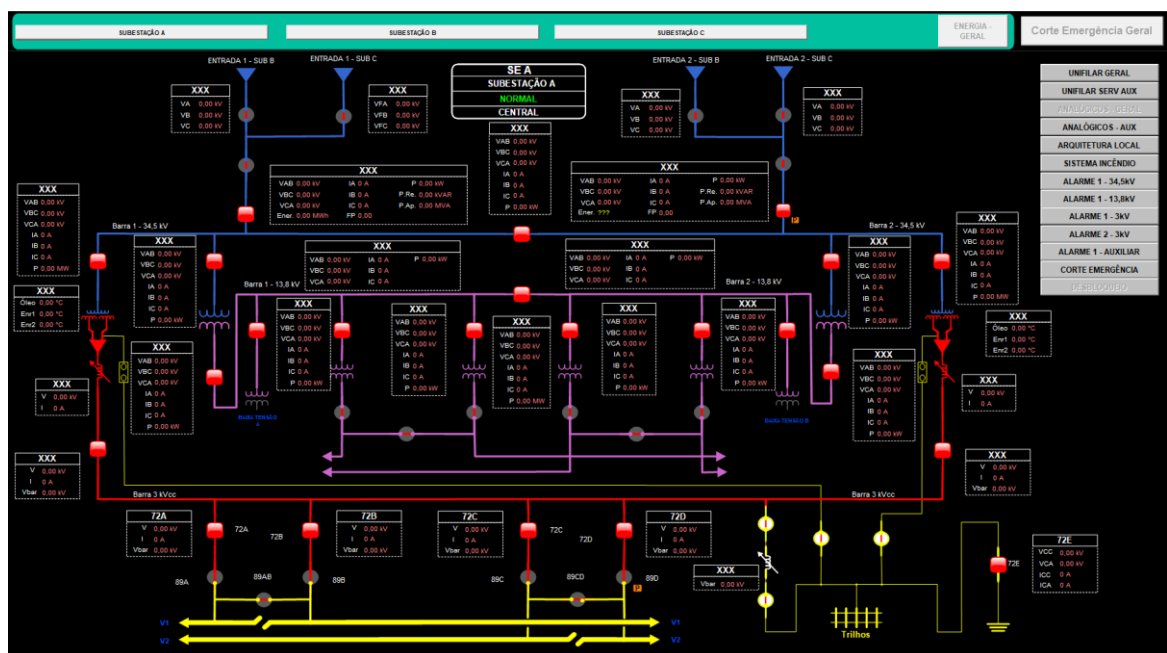
Fonte: Autoria própria.

Na subestação apresenta nas Figuras 15 e 16, observa-se todo o unifilar da subestação de energia em um supervisório SCADA central. Neste projeto, o SCC apenas monitora o subsistema de energia de algumas linhas de trens da CPTM. As entradas de alimentação são energizadas a partir de duas outras subestações da linha denominadas como subestações B e C, sendo que todos os diferentes níveis de tensão são representados por cores, que facilitam a identificação dos trechos energizados para os sistemas existentes. A representação de desenergizado, é identificado pela cor verde, sendo o nível de tensão de 34,5kV referente ao sistema de média tensão representado pela cor azul, o nível de tensão de 6,6kV o sistema de média tensão referente ao CTC – Controle de Tráfego Centralizado responsável pelo tráfego de trens representado pela cor roxa, o nível de tensão de 3kVcc do sistema de tração elétrica que alimenta as catenárias dos trens na cor vermelha, e os níveis de tensão de 220Vca/127Vcc do sistema de baixa tensão representado pela cor cinza. Os sistemas de aterramento e filtro de harmônicas, bem como as vias dos trens, não são monitorados e por isso são elementos estáticos representados pela cor amarela. Todas as seccionadoras e disjuntores são monitorados sendo possível visualizar na tela se o equipamento está aberto (sinalização verde), fechado (sinalização vermelha), inválido ou está em estado de transição entre o aberto e fechado ou vice-versa (sinalização amarela). Além disso, ao clicar em um disjuntor ou seccionadora, é possível monitor o estado do equipamento, bem como enviar comandos quando a lógica do software permitir. Os principais comandos possíveis nesta tela para estes equipamentos são de abertura e fechamento dos disjuntores e seccionadores, além de ser possível inserir o retirar cartões de impedimento nos equipamentos, que bloqueia no supervisório local e central a execução de manobras pelos softwares SCADA, sendo utilizado quando é necessário impedir e sinalizar na interface que não se deve realizar manobras no equipamento. Há diversas sinalizações que podem aparecer em cada um dos equipamentos da tela, como sinalizações de disjuntor extraído, de bloqueio ativo, de equipamento em estado local, de falha de comando, de falha de comunicação ou erro de varredura. Todas as sinalizações, bem como a possibilidade de realizar manobras remotamente, auxiliam os operadores do sistema presentes no CCO, ou na localidade em si, a compreenderem a situação atual da subestação para que as principais tomadas de decisões possam ser baseadas com uma visão total do sistema, facilitando o gerenciamento do sistema de energia da linha para a operação diária, planejamento da operação ou execução de manutenções quando necessário. No software, são implementadas diversas lógicas de intertravamento e de permissão de comando para que sejam evitadas manobras indevidas na subestação.

Pelo menu disponibilizado no painel superior, é possível navegar pelas telas de cada uma das subestações da linha, além de também ser possível visualizar o unifilar geral de toda a linha que apresenta em uma única tela todas as subestações e suas conexões. Além disso, também é possível executar o corte de emergência que irá desenergizar e impedir comandos da central ou do supervisório local de todos os sistemas de única subestação ou de todas as subestações da linha ao enviar de uma vez um comando que irá abrir todas as seccionadores e disjuntores de uma ou mais subestações em casos de emergência. Após a normalização da situação, fica então disponibilizado o botão de comando de desbloqueio do corte, que irá permitir que a subestação seja manobra novamente.

Pelo menu disponibilizado pelo painel lateral, é possível navegar pelas telas da subestação desejada. Além das telas apresentando o diagrama unifilar da subestação, também são disponibilizadas telas de monitoramento da arquitetura local, das medições analógicas e dos alarmes da subestação apresentadas nas Figuras 17, 18 e 19 respectivamente.

Figura 17 - Tela do software SCADA com as medições analógicas dos equipamentos presentes no diagrama unifilar da subestação.

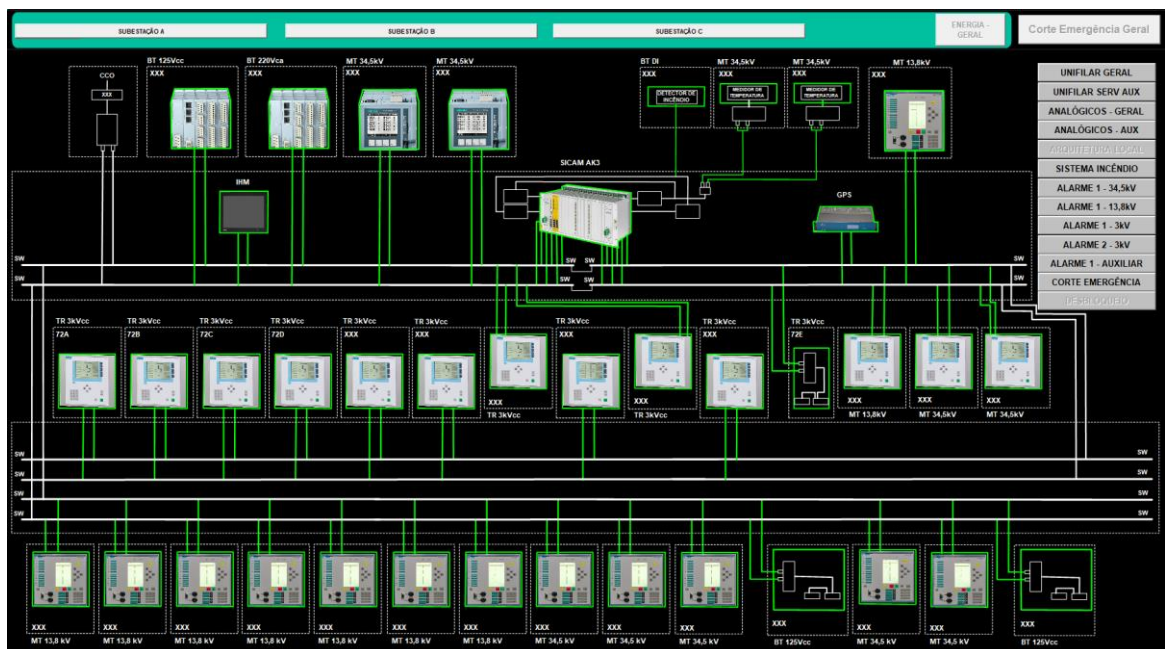


Fonte: Autoria própria.

Na tela de arquitetura, observamos com maior detalhamento toda a conexão entre todas as redes e equipamentos da subestação. Nesta tela são apresentadas sinalizações referentes aos estados de falha de comunicação dos IEDs e equipamentos como o sistema de incêndio, transformadores, GPS, IHM local e os módulos da remota.

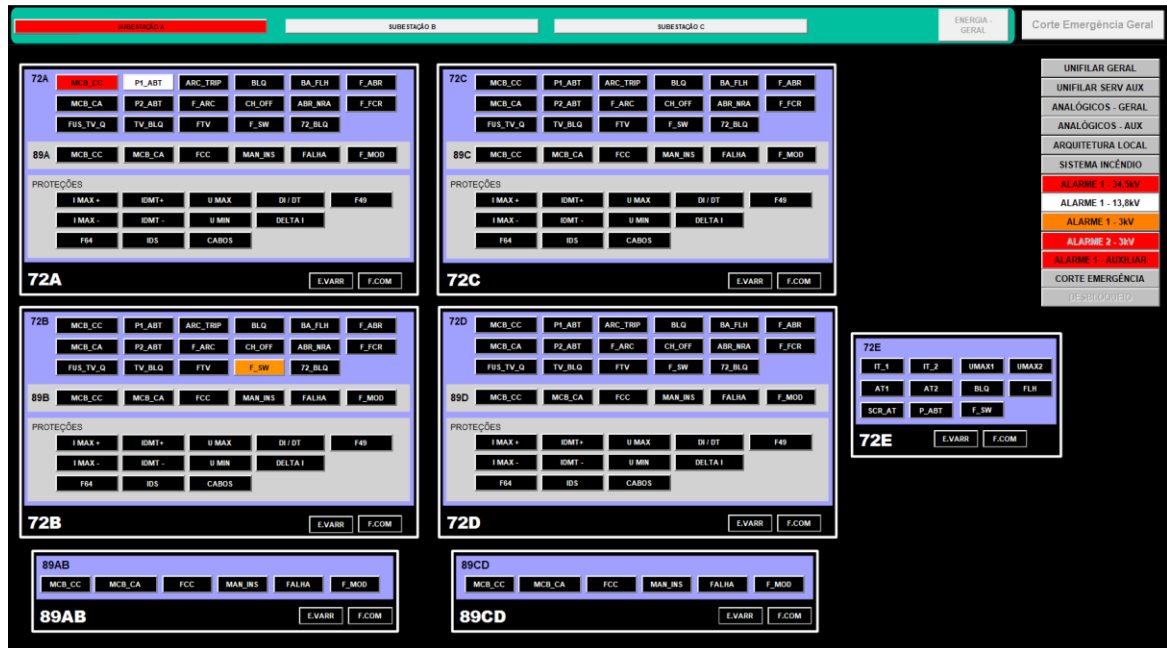
Na tela de alarme, são apresentados os alarmes monitorados para cada um dos equipamentos, sendo que quando um determinado alarme está ativo, ou então foi normalizado, são sinalizados no respectivo botão do alarme. Além de sinalizar no botão presente em tela, todos os alarmes também são registrados e apresentados no sumário de alarmes, presente na parte superior da interface. Portanto há dois sumários, um sumário de alarme rápidos onde são apresentados os alarmes ativos e normalizados em ordem de horário, e um sumário de alarme presente no botão lateral, que apresenta todos os alarmes de todas as localidades monitoradas, e que possui filtros específicos que facilitam a busca e visualizações das informações.

Figura 18 – Tela de Arquitetura Local da subestação.



Fonte: Autoria própria.

Figura 19 – Tela de alarmes dos equipamentos da subestação.



Fonte: Autoria própria.

Todas as ações realizadas pelo supervísório central e local, bem como todas as sinalizações existentes e eventos gerados, são armazenados no sumário de eventos que assim como o sumário de alarmes, possuem filtros específicos que facilitam a busca e visualizações das informações.

As informações armazenadas pelos bancos de dados são utilizadas na criação dos sumários, e para a elaboração automática de relatórios e gráficos do sistema.

Para a apresentação do supervísório local SCADA, é utilizado o estudo de caso da linha 4 do metrô de São Paulo. Este supervísório é responsável pelo monitoramento e execução de comandos dos subsistemas das estações Luz, República, Paulista, Faria Lima, Pinheiros, Fradique Coutinho e Butantã. (ELIPSE, 2015). Na Figura 20 é apresentado a tela de diagnostico geral do SCL.

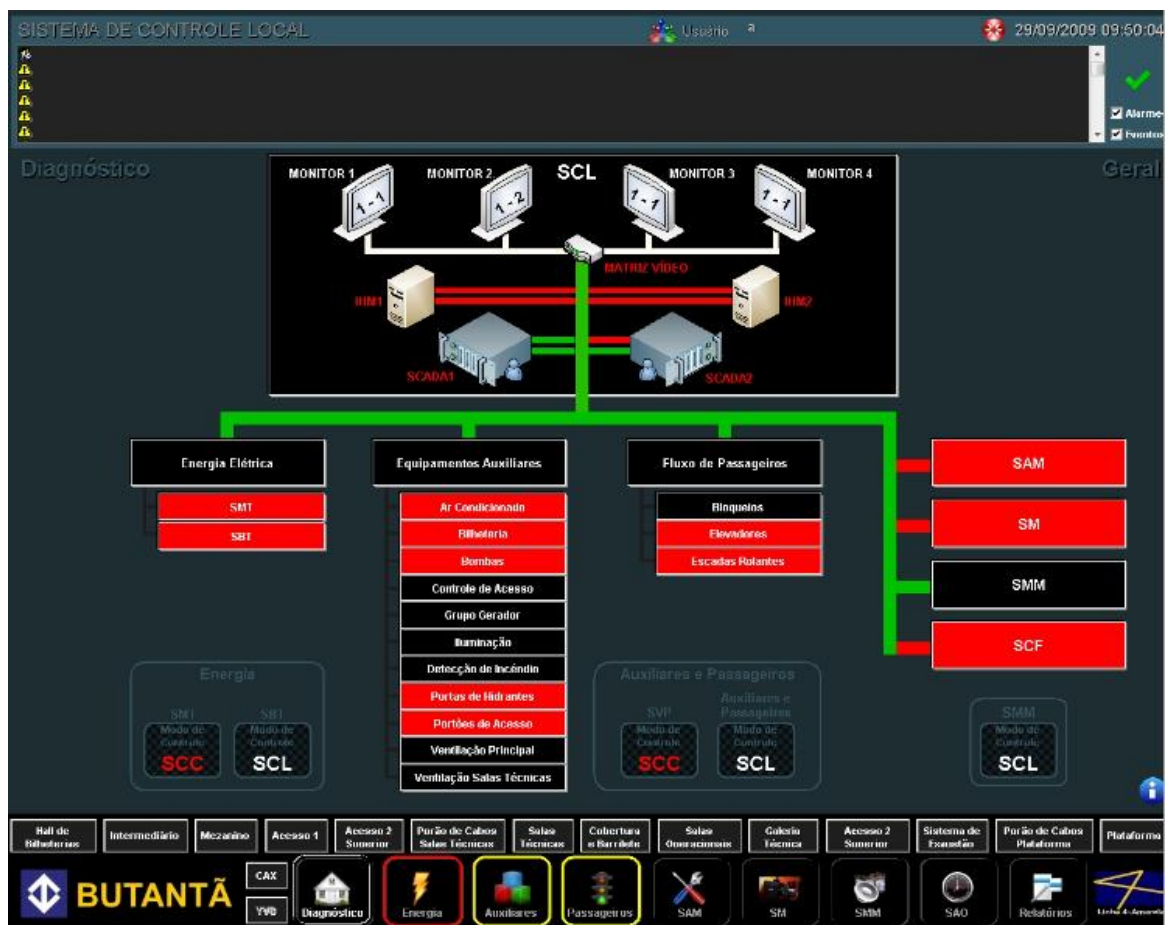
Este sistema SCADA, é composto de dois servidores do E3 interligados a dois servidores IHM, os quais em conjunto reúnem todos os dados e informações armazenados no CLP em quatro monitores. Os servidores operam em regime *Hot-Standby*, onde na ocorrência de eventuais falhas no servidor principal, o segundo servidor é acionado. A arquitetura básica do sistema é apresentada na parte superior da interface enquanto os subsistemas são apresentados na parte inferior em modo árvore. Ao clicar na opção “MATRIZ VÍDEO”, é disponibilizado na interface um *popup* a qual permite a seleção de quais imagens serão exibidas em cada um dos monitores, sendo possível que o operador comande e monitore até quatro telas distintas simultaneamente. (ELIPSE, 2015).

No caso deste supervisório, são utilizados CLPs em conjuntos com a UTR para concentrar os dados e enviar tanto para o SCL quanto para o SCC.

Na borda inferior das telas, se encontra o menu a qual disponibiliza por ícones opções de navegação entre os subsistemas. A sinalização ao redor de um determinado ícone de um subsistema indica a existência de um alarme ativo, onde a sua coloração representa a severidade do alarme. (vermelho = grave, amarelo = leve, piscante = ambos). (ELIPSE, 2015)

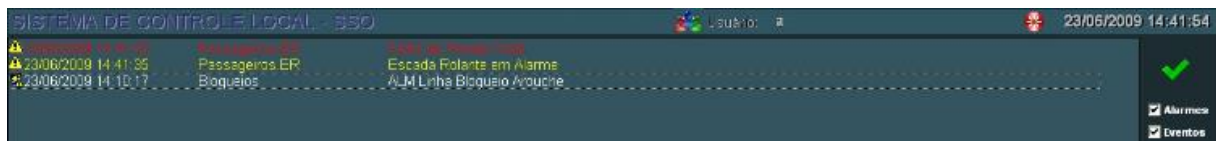
Na parte superior da tela, se encontra o sumário de alarmes o qual conta com a opção de reconhecimento, que permite que operador visualize com maiores detalhes alguma das ocorrências registradas. Neste sumário de alarme, as severidades são definidas com as cores: branco para alarmes reconhecidos, amarelo para alarmes de severidade leve, vermelho para alarmes de severidade grave. A Figura 21 apresenta o sumário de alarmes com um alarme reconhecido, e outros ativos. (ELIPSE, 2015)

Figura 20 – Tela de Diagnostico geral do SCL presente na estação Butantã da L4 – Amarela do metrô de São Paulo.



Fonte: Elipse (2015).

Figura 21 – Sumário de alarmes do SCL presente na estação Butantã da L4 – Amarela do metrô de São Paulo.

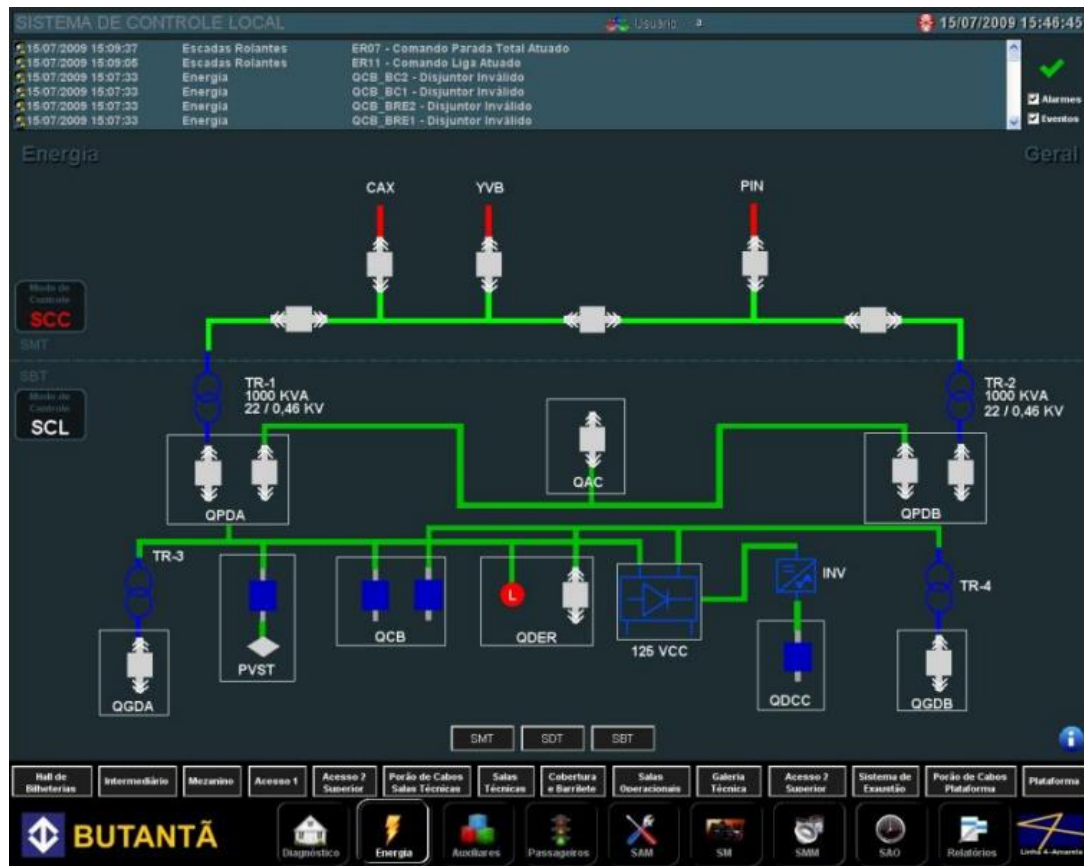


Fonte: Elipse (2015).

O sistema de energia monitorado pelo sistema é apresentado na Figura 22, onde ao clicar no ícone de energia presente no menu de navegação de subsistemas na parte inferior da tela, é exibido o unifilar geral separado em STM – Sistema de Média Tensão e o SBT – Sistema de Baixa Tensão presente na estação Butantã. Assim como no caso do SSC, nesta tela fica disponível ao operador a visualização dos equipamentos que compõe o sistema de energia e seus respectivos estados, como no caso do disjuntor, as sinalizações de disjuntor aberto (verde), fechado (vermelho), bloqueado, extraído, e com falhas. Também é possível executar comando de abertura ou fechamento dos equipamentos. O mesmo processo ocorre para as seccionadoras ou contadores. Neste sistema, assim como ocorre no SCADA da CPTM, os níveis de tensão nos barramentos são determinados por diferentes cores, sendo a sinalização verde o estado desenergizado das barras, e vermelho energizado.

No caso das medições analógicas dos equipamentos, neste sistema elas são apresentadas em uma *popup*, que é apresentada ao usuário quando ele clica sobre o equipamento desejado. A Figura 23 exhibe as medições analógicas de um retificador à diodo.

Figura 22 – Tela com os sistemas de média e baixa tensão da rede elétrica local.



Fonte: Elipse (2015).

Figura 23 – Tela exibindo as medições analógicas de um retificador à diodo.



Fonte: Elipse (2015).

5.2 CONTROLE DE TRÁFEGO DE TRENS

Os sistemas de sinalização, ou de controle de tráfego de trens, têm como principal objetivo realizar o transporte de pessoas (ou cargas) de forma segura e eficiente durante todo o deslocamento da locomotiva, desde sua origem até seu destino. (NUNES, 2012). Portanto, é essencial que sejam evitadas colisões entre as locomotivas, bem como atender a demanda e os horários de partida e chegada dos trens estipulados pelo planejamento, o qual é gerenciado pelo CCO. Neste contexto, surgem duas características importantes que precisam ser

ponderadas. A primeira é que devido à alta demanda de passageiros em determinados horários, é necessária uma maior circulação de trens com velocidade operacional maior, para assim evitar superlotações nas estações, e prover a população um transporte coletivo rápido e eficiente. A segunda, é relacionada ao baixo coeficiente de atrito entre as rodas e trilho, a que resulta em longas distâncias de frenagens que costumam ser maiores que o campo de visão do condutor. Portanto, surge a necessidade da utilização dos sistemas que indicam ao condutor quando ele deve prosseguir, parar, aumentar ou diminuir a velocidade da locomotiva. (RACHEL, 2006)

Nos sistemas de sinalização são implementados dois tipos de equipamentos: a sinalização de bordo, e a sinalização de vias.

A sinalização de bordo, que é composta pelos equipamentos de sinalização presente dentro dos trens, é encarregada de garantir movimentação dos trens que circulam em uma determinada linha de forma segura, impedindo que falhas humanas ou defeitos nos seus equipamentos resultam em acidentes e danos físicos aos usuários ou equipamentos. Para isso, a sinalização de bordo impede que os trens trafegam em velocidades acima da permitida pelos critérios estabelecidos em cada um dos trechos da via, que são definidos de acordo com o atual tráfego de trens em circulação na linha e características da via. (RACHEL, 2006)

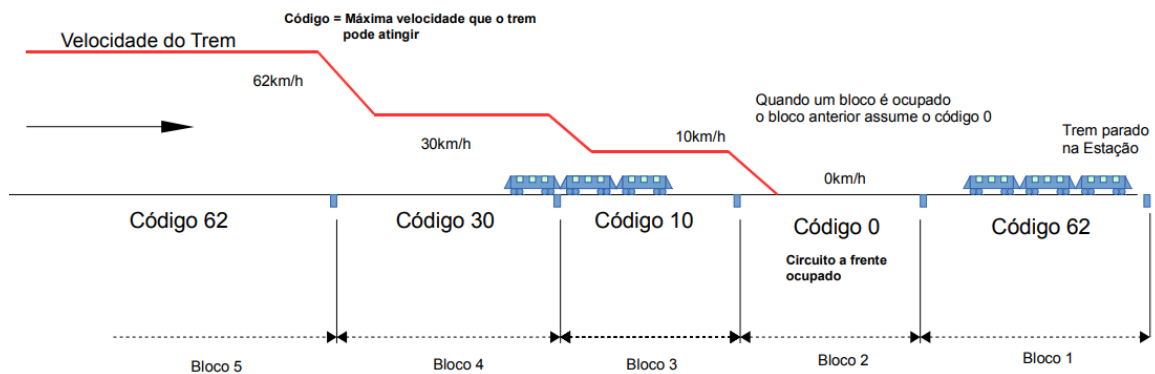
A sinalização de via por sua vez, sinalizam ao operador do trem as condições da via à sua frente, ou então controla a movimentação da locomotiva pelas vias utilizando lógicas codificadas baseadas no princípio da falha segura, a qual na ocorrência de uma eventual falha do sistema conduz a locomotiva a uma condição segura. (RACHEL, 2006)

Atualmente, todas as linhas de trens e metrô dispõem de tecnologias de sinalização que operam em algum grau com funções automáticas, sejam para funções destinadas a proteção e que auxiliam os maquinistas durante a operação do trem, ou para que as locomotivas circulem de forma automática sem a interferência humana. Para que seja possível o controle automático das funções dos trens, o sistema de sinalização de bordo deve estar interligado ao sistema de sinalização de vias e aos sistemas auxiliares do trem. Quando interligados, a sinalização da via envia ao sistema de controle de bordo comandos referentes a velocidade adequada para a locomotiva para que a circulação de trens seja segura. Segundo Rachel (2006), a partir dos comandos enviados pela sinalização de via que “os equipamentos de controle de bordo efetuam o controle dos sistemas auxiliares de propulsão e freio do trem, fazendo com que este se movimente de maneira segura”.

As vias permanentes, que são o conjunto de estruturas a qual orienta a passagem de trens, são divididas em trechos (ou blocos) com equipamentos denominados circuitos de via,

onde para cada circuito de via o sistema de sinalização especifica um código de via adequado para que o trem possa seguir de forma segura. Esse código de via se trata de um sinal, que é enviado para o trem quando ele ocupa um determinado trecho da via através de antenas receptoras e emissoras de códigos de via que ficam localizadas na infraestrutura inferior dos vagões da locomotiva. A Figura 24 exemplifica o conceito de circuito de via.

Figura 24 – Circuito de via com ocupação.



Fonte: Menezes (2015).

As principais tecnologias utilizadas para o controle automático de movimentação dos trens são definidas por quatros sistemas denominados como ATP, ATO, ATC e CBTC.

O ATP – Proteção Automática do Trem é constituído de todos os componentes que efetuam a proteção automática do trem, e atua realizando todo o processamento dos códigos de via para assim controlar a velocidade dos trens mantendo-a dentro dos valores especificados para cada trecho e possui medidas de proteção contra velocidades acima das determinadas. Além disso, a tecnologia também define os espaçamentos seguros entre trens, monitora a sua localização, e realiza o intertravamento de rotas. (RACHEL, 2006)

O ATO – Operação Automática do Trem, é constituído por equipamentos presentes a bordo, na via e nas estações. São responsáveis pela a movimentação do trem independente do operador, e determinam e realizam a aceleração e frenagem dos trens, controlando também o seu tempo de parada e de abertura e fechamento das portas dos vagões. Os equipamentos de ATO de bordo, recebem as informações do ATO de via e do ATO de estação, e executam as rotinas pré-programas pelo CCO. Também são implementados a definição de níveis de desempenho e potência do trem, que normalmente possuem em três principais modos de operação segundo Nunes (2012): “Melhor desempenho (percurso em menos tempo), economia de energia e baixa aderência (para dias de chuva, por exemplo)”. A definição das

velocidades e das curvas de frenagem deste sistema, são obtidos através de um sistema ATP. (NUNES, 2012).

O ATC – Controle Automático do Trem é constituído pelos sistemas ATP e ATO e tem a função de permitir o funcionamento automático do trem na operação comercial. Dependendo do nível de supervisão e integração com os outros sistemas e equipamentos presentes nas estações, torna a necessidade de ter um maquinista de trem opcional.

CBTC – Controle de Trens Baseado em Comunicações são sistemas semelhantes ao ATC, porém permitem a comunicação entre os trens, de forma que a localização das locomotivas móveis e informações referentes a velocidade e sentido de tráfego são compartilhadas entre os trens. A distância entre as locomotivas com esse sistema pode ser diminuída de forma segura já que são definidas com base nas suas velocidades relativas, e permite que todos os trens que circulam na linha andem uma velocidade maior. Nos outros sistemas como o ATP, ATO e ATC, a localização dos trens que circulam na linhas são obtidas pelo sistema de supervisão e controle presente no CCO através das ocupações no circuito de via, e com o CBTC além do circuito de via, a antena faz também essa troca de informação com comunicação via rádio, o que garante o correto posicionamento do trem, e confere ao sistema uma maior segurança, rapidez e confiabilidade na troca de dados entre trens, estação e centro de controle operacional criando o que é conhecido como sistemas *driverless*, o qual não necessita de maquinista em sua operação.

Todos os sistemas de sinalizações implementados atualmente nas linhas de trens e metros, são supervisionados e controlados remotamente pelo seu respectivo CCO.

Os sistemas de CTC – Controle de Tráfego Centralizado são implementados com o objetivo de supervisionar e controlar o tráfego de trens a partir dos dados recebidos ou enviados pelo campo, e atuam diretamente nos trens através dos equipamentos de sinalização de bordo e equipamentos de sinalização de vias. O controle e manipulação do tráfego emitem as permissões de movimentação dos trens e são gerenciados de acordo com regras e prioridades de circulações definidos pelo CCO, enquanto a supervisão é encarregada pela avaliação do sistema, a qual visa garantir que as variáveis dos sistemas permaneçam dentro dos limites pré-estabelecidos para um tráfego de trens seguro. (NUNES, 2012 e RACHEL, 2006)

Cada sistema de supervisão possui recursos limitados a capacidade definida pelo sistema de sinalização implementado na linha, os quais definem quais serão os protocolos utilizados na comunicação entre a central e os elementos presentes nas estações, vias e a bordo do trem. (NUNES, 2012)

O CTC faz parte do sistema de sinalização, não havendo separação entre os sistemas presentes no campo e os presentes na central controle operacional. Portanto, o CCO é o centralizador de todas as informações relacionadas ao tráfego de trens da linha, e dentro dele são realizadas as tomadas de decisões e ações referente a operação e manutenção do sistema. O SCADA central localizado no CCO estão presentes nos postos de monitoramento e no painel sinótico de supervisão global do tráfego de trens, e segundo Sirineu (2016) permite “monitorar as condições de tráfego, comandar e acionar os equipamentos de campo, monitorar as irregularidades operacionais e sistemas, regulação do tráfego (fazer com que a operação realizada seja igual a programada), controlar as ocorrências e interagir com as estações”. Na Figura 25, é apresentado os postos de monitoramento e o painel sinótico do CCO da CPTM que monitoram o sistema de sinalização de suas linhas.

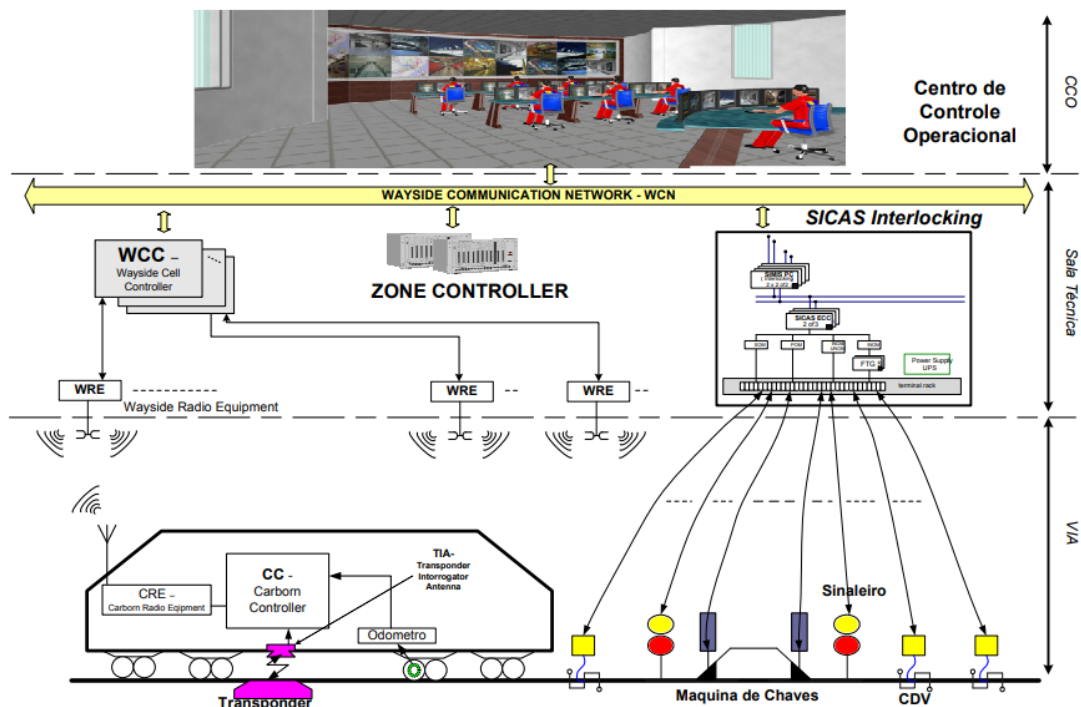
Figura 25 – Postos de monitoramento e painel sinótico de supervisão global dos sistemas de sinalização.



Fonte: Lessa (2013).

A arquitetura de rede presente no CCO é apresentada na Figura 10, e a arquitetura de rede dos dispositivos presente nas estações, vias e a bordo é apresentada na Figura 26.

Figura 26 - Arquitetura de rede de um sistema de sinalização com tecnologia CBTC.



Fonte: Secall (2008).

Dentre os principais equipamentos dos sistemas de sinalização monitorados pelo SCADA, temos os denominados como *wayside*, que são compostos pelos equipamentos de sinalização de via, e os *onboard* que são compostos pelos equipamentos a bordo do trem. São eles:

MCH - Máquina de Chave: Equipamento de Mudança de via, dependendo da rota do trem e das condições da via, as MCH direcionam o trem para o sentido selecionado. Como escolher se um trem vai para a esquerda ou para a direita (normal ou reverso).

Sinaleiro - Para transporte de massa no geral são dois aspectos: Amarelo/Verde(seguir) e Vermelho(parar).

CDV - Circuito de Via: Dispositivo elétrico usados para monitorar a ausência ou presença de um trem nos trilhos.

Antenas - As antenas são paras os sistemas CBTC que se comunicam com as antenas embarcadas nos trens e trocam informações com o CCO.

OBCU - *Onboard Control Unit*: Computador embarcado. Em alguns sistemas (ATP e ATO) ele somente recebe informações enviadas pela via e executa as ações solicitadas. Em sistemas ATC e CBTC ele troca informações com o CCO informando o estado de operação do trem e de todos os sistemas auxiliares como a tração elétrica, a frenagem, a quilometragem, o desgaste etc.

Nas estações, localizado dentro das salas técnicas, estão os equipamentos concentradores de dados que enviam ou recebem sinais elétricos dos equipamentos de sinalização de via, sinalização a bordo, e os equipamentos que realizam as lógicas de intertravamento dos equipamentos de sinalização de vias. A conexão existente entre os equipamentos de via, a bordo, e os equipamentos concentradores de dados compõe a rede local do sistema de sinalização. A partir das informações obtidas pelos os equipamentos concentradores de dados das estações que supervisionam e controlam os sistemas de sinalização de trens, os supervisórios locais e os supervisórios centrais localizado no CCO exibem aos operadores os estados atuais sobre o sistema em uma interface amigável e permitem o controle do sistema através de comandos. Para estabelecer a comunicação entre equipamentos presentes nas salas técnicas de cada estação da linha até o CCO, são utilizadas rede de comunicação com cabos de fibra ótica que são compostas de duas conexões independentes e redundantes, onde em casos de falhas na comunicação em uma das conexões, os dados são transmitidos pela conexão secundária.

No software SCADA são monitorados e exibidos em tela os estados referentes aos equipamentos e sistemas essenciais do tráfego trem, como a ocupação de trens sinalizados pelos circuitos de via (Vermelho = trecho ocupado, Verde = trecho livre, Amarelo = trecho em análise ou com problemas técnicos), a posição das máquinas de chaves (Normal ou reverso), os aspectos dos sinaleiros (Vermelho = trecho ocupado, velocidade restritiva; Verde = trecho livre, velocidade máxima autorizada; Amarelo = Trecho a frente ocupado, velocidade limitada), o estado de operação de cada trem e entre outros. A Figura 27, apresenta uma tela do SCADA do sistema de sinalização exibida no painel sinótico de um CCO. Já a Figura 28, apresenta outra tela do SCADA do sistema de sinalização, onde segundo Sirineu (2016) é possível monitorar as URs - Unidades Remotas, diagnósticos dos servidores, consoles de operação, elementos de comunicação, interfaces de comunicação FEC – *Front End Communication*, relatórios de alarmes e eventos, dentre outras ferramentas”. Além das sinalizações, o software também possui opções para envio de comandos referente ao travamento de rotas, energizar ou desenergizar a alimentação de trens, ligar ou desligar os trens, abertura ou fechamento das portas dos vagões de passageiros, estabelecer a rota do trem, e entre outras possibilidades.

Com a implementação dos controles de tráfego centralizado, temos o aumento da segurança, melhoria da capacidade de operação e eficiência do transporte ferroviário, diminuição de atrasos e interrupções no tráfego, e maior precisão na coordenação de movimentos de trens. Além disso, os sistemas de sinalização ferroviária modernos também

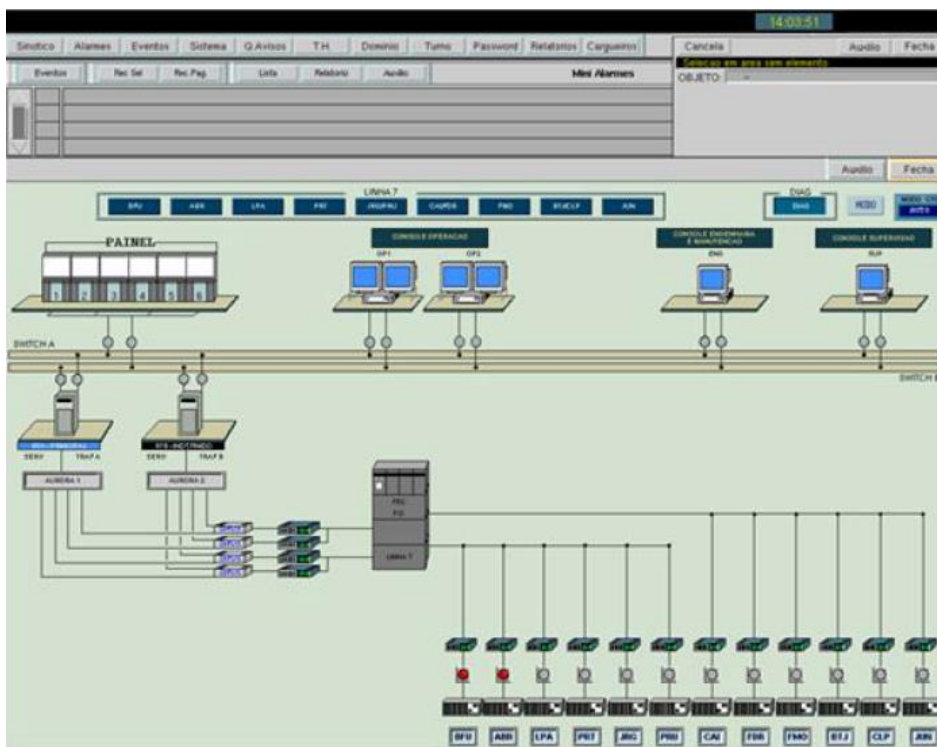
podem fornecer informações aos passageiros, como horários de chegada e partida e estado atual do tráfego.

Figura 27 – Painel sinótico do CCO exibindo SCADA do sistema de sinalização de trens.



Fonte: Bazani (2017).

Figura 28 – Tela SCADA do sistema de sinalizações de trens mostrando o diagnóstico dos equipamentos.



Fonte: Sirineu (2016).

5.3 SUBSISTEMA DE CONTROLE DE FLUXO DE PASSAGEIROS

O subsistema de controle de fluxo de passageiros é responsável pelo deslocamento seguro dos usuários dentro da estação. Portanto, neste subsistema são monitorados e controlados os elevadores, bloqueios, câmeras de segurança, escadas e esteiras rolantes de uma estação, visando bloquear ou permitir determinadas a passagem, permitir o deslocamento vertical dos passageiros, monitoramento por câmeras de segurança visando garantir a segurança dos passageiros, bem como dos equipamentos e rotas dos trens da estação.

Os bloqueios, também conhecido como catracas, são os equipamentos que controlam o acesso dos passageiros as plataformas de embarque e desembarque das estações. Possuem display gráfico e LED indicativos, e são implementados de forma a operar em conjunto com o SCAP – Sistema de Controle de Arrecadação e de Passageiros. Com o monitoramento deste sistema, é possível gerar estatísticas referente ao fluxo de passageiros em um determinado período os quais auxiliam no planejamento da operação de trens, bem como contabilizar a arrecadação monetária de uma estação. No software SCADA, é possível visualizar o estado atual de cada bloqueio por meio das sinalizações da tela, além de enviar comandos que determina o sentido dos bloqueios e tipos de operações (Normal, sob controle, livre, especial, simulada ou fora de serviço). As eventuais falhas destes equipamentos, como falhas de comunicação, operacionais, e de comando, são apresentadas no sumário de alarmes, e sinalizadas em tela no objeto do bloqueio e nos botões de navegação de telas respectivos ao subsistema e localidade em cor vermelha ou amarela piscante de acordo com a severidade (Grave = Vermelha, Leve = Amarela), até que ele normalize.

Os elevadores disponibilizados nas estações, são os equipamentos de transporte os quais realizam o deslocamento vertical de pessoas em uma estação, sendo essenciais para a acessibilidade de passageiros com dificuldade de locomoção. No software SCADA, é possível visualizar o estado atual do elevador, bem como saber em qual plataforma atual ele se encontra e qual o sentido do seu deslocamento por meio das sinalizações em tela. Também podem ser enviados comandos aos elevadores via tela do software, como ligar, desligar, ativar o modo bombeiro (rotina que leva o elevador até o andar mais próximo da saída em caso de emergências), e escolher em qual andar deseja-se que o elevador se desloque. As eventuais falhas destes equipamentos, como falhas de comunicação, operacionais, técnicas e de comando, são apresentadas no sumário de alarmes, e sinalizadas em tela no o objeto do

elevador e nos botões de navegação de telas respectivos ao subsistema e localidade em cor vermelha ou amarela piscante de acordo com a severidade (Grave = Vermelha, Leve = Amarela), até que ele normalize. Os estados atuais dos equipamentos são monitorados, e salvos como eventos nos bancos de dados (como por exemplo o evento de elevador 01 desligado da estação Butantã). No caso dos elevadores, há um intertravamento o qual não permite manobras pelo SCL e pelo SCC caso o equipamento esteja em modo local, sendo que no objeto do equipamento há sinalizações que indicam o atual modo de operação do elevador (modo local ou remoto) e salva este evento no banco de dados.

As escadas e esteiras rolantes das estações são equipamentos voltado para o transporte vertical de passageiros, que possibilitam o acesso aos diferentes níveis presentes na estação, e principalmente o acesso as plataformas de embarque e desembarque de passageiros. No software SCADA, é possível saber o estado atual da escada ou esteira rolante, e qual o sentido do seu deslocamento por meio de sinalizações em tela. Também podem ser enviados comandos a estes equipamentos, como ligar, parar, e definir se a escada será para subida ou descida. As eventuais falhas destes equipamentos, como falhas de comunicação, operacionais, técnicas e de comando, são apresentadas no sumário de alarmes, e sinalizadas em tela no o objeto da escada ou esteira rolante e nos botões de navegação de telas respectivos ao subsistema e localidade em cor vermelha ou amarela piscante de acordo com a severidade (Grave = Vermelha, Leve = Amarela), até que ele normalize. Os estados atuais dos equipamentos são monitorados, e salvos como eventos nos bancos de dados (como por exemplo o evento de escada rolante 01 ligada e descendo da estação Butantã). No caso das escadas e esteiras rolantes, há um intertravamento o qual não permite manobras pelo SCL e pelo SCC caso o equipamento esteja em modo local, sendo que no objeto do equipamento há sinalizações que indicam o atual modo de operação do elevador (modo local ou remoto) e salva este evento no banco de dados.

Nos supervisórios local e central, temos a visualização das telas com uma visão geral da estação, e com visão exclusiva para cada um dos níveis das estações.

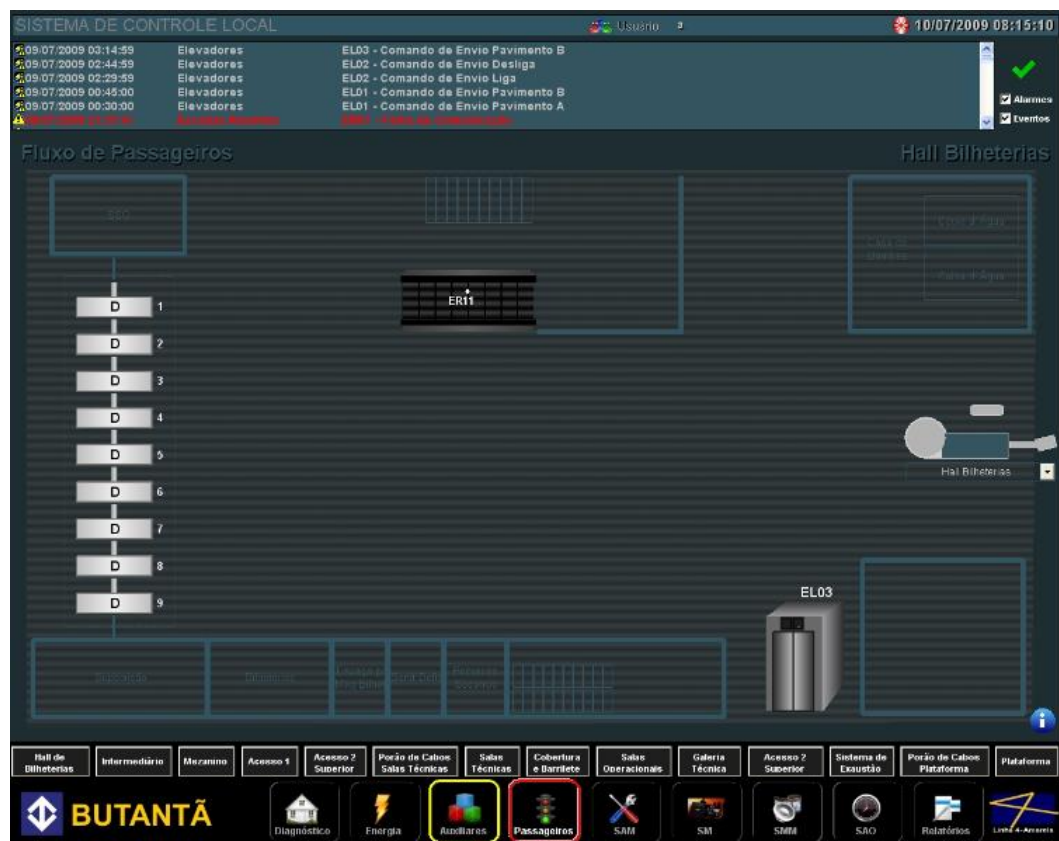
Outras funcionalidades implementadas pelo software são o controle de informação de destino e horários dos trens, a seleção de imagens dos CFTV – Circuito Fechado de TV, alarme de evacuação, e comunicações audiovisuais que permitem que os operadores se comuniquem por mensagens escritas e de voz.

Além disso, também são configuradas telas com alarmes que alertam os operadores quando há passageiros portadores de necessidades especiais chegando na estação ou em embarque.

Na Figura 29, é apresentado o supervisório local da estação Butantã, o qual exibe o hall de bilheterias, e permite o controle dos bloqueios, elevadores, escadas e esteiras rolantes. A arquitetura física deste supervisório bem como as funcionalidades comuns a todos os subsistemas foi apresentada na Seção 5.1, e nas Figuras 20 e 21. Para que seja possível a implementação do SCADA, todos os equipamentos em campo devem possuir tecnologias próprias ou acopladas (como transdutores), que permitam o monitoramento e comando destes equipamentos, bem como meios de comunicações que permitam que eles se comuniquem com o CLP ou UTR.

No caso do SSC, este subsistema conta com um menu de navegação com todas as localidades da linha que são monitoradas pelo SCADA, com todas as funcionalidades descritas para cada uma das estações. O sumário de alarmes deste subsistema para o SCC, conta com todos os alarmes gerados para todas as estações, bem como a emissão de relatórios e sumários de eventos, enquanto no SCL possui somente os alarmes, eventos, e relatórios com informações pertinentes a uma única localidade a qual este supervisória monitora. Contudo, as interfaces de ambos são semelhantes.

Figura 29 – Supervisório Local da estação Butantã na tela de hall de bilheterias do subsistema de fluxo e controle de passageiros.



Fonte: Elipse (2015).

Para o caso das câmeras de segurança, o supervisório local possui um botão no menu exclusivo no SCL, e é tratado como um subsistema separado, denominado como SM - Sistema de Monitoramento. Ele permite o acesso a todas as telas as quais mostram uma visão exclusiva de cada um dos níveis da estação, apresentado a localização geográfica de todas as câmeras de segurança presentes no local. Ao clicar em uma determinada câmera, é exibido em tela a sua imagem em tela cheia, sendo disponibilizado as opções de enviar imagem ou configurar a exibição, sendo possível configurar até nove câmeras e realizar comandos de zoom, movimentar e aumentar a velocidade da câmera. (Elipse, 2015). A Figura 30, apresenta o SCL da estação Butantã em uma tela do sistema de monitoramento.

Além disso, no SCL também é disponibilizado o SMM - Sistema de Multimídia, o qual permite o envio de mensagens de dados e de voz para diversos ambientes da estação monitoradas pelo SCADA. (Elipse, 2015)

Figura 30 - Supervisório Local da estação Butantã exibindo a tela do sistema de monitoramento da plataforma.



Fonte: Elipse (2015).

5.4 SUBSISTEMA DE CONTROLE DE EQUIPAMENTOS AUXILIARES

O subsistema de controle de equipamentos auxiliares é responsável pelo supervisionamento e controle de todos os equipamentos de serviços auxiliares, como os equipamentos da ventilação, dos ares-condicionados, dos hidrantes, das bombas, da iluminação e do SDAI - Sistema de Detecção e Alarme de Incêndios.

Os hidrantes das estações são implementados com o objetivo de combater incêndios e proteger as pessoas e patrimônios em casos de emergências. Estes equipamentos assim como o SDAI e bombas, fazem parte do sistema de combate a incêndio, que são exigidos por normas e leis, e são atestados pelo Corpo de Bombeiros Militar. No software SCADA é possível saber o estado atual de cada hidrante, sendo que os objetos do hidrante com sinalização verde significam que o equipamento está em condições normais, enquanto a sinalização vermelha significa que o equipamento está em com o alarme acionado, o qual ocorre devido a abertura da porta do hidrante ou quando há falha de comunicação com o equipamento, mas neste caso a porta do hidrante permanece com a sinalização de fechada. Os estados atuais dos equipamentos são monitorados, e salvos como eventos nos bancos de dados (como por exemplo o evento de Hidrante 01 com porta aberta da estação Butantã).

A Figura 31, apresenta o SCL da estação Butantã com visão de todos os hidrantes presentes na estação.

Figura 31 – Supervisório Local da estação Butantã exibindo a tela com os hidrantes monitorados pelo SCADA.



Fonte: Elipse (2015).

As bombas de água das estações são implementadas com o objetivo de distribuir a água presentes nos reservatórios para toda a estação, onde será utilizada para o consumo, nos hidrantes, no esgoto e entre outros. No software SCADA é possível saber o nível de água presente em cada reservatório por meio de animações e sinalizações na tela, sendo que os objetos das bombas com sinalização verde significam que o equipamento está desligado, enquanto a sinalização vermelha significa que o equipamento está ligado, e a sinalização cinza quando o equipamento está com falha de comunicação. Além disso, os alarmes referentes a níveis de água críticos (água acima do máximo permitido ou abaixo do mínimo permitido), são sinalizados em tela por meio de animações. O sistema também monitora outros alarmes referentes a falhas técnicas e operacionais. Todas as falhas são apresentadas no sumário de alarmes, e sinalizam nos botões de navegação de telas respectivos ao subsistema e localidade em cor vermelha ou amarela piscante de acordo com a severidade (Grave = Vermelha, Leve = Amarela), até que ele normalize. Outra funcionalidade que também é sinalizada em tela, é a que determina o modo de operação das bombas em manual, ou automático, a qual estabelece se as bombas serão controladas pelos operadores manualmente ou seguindo a lógicas pré-estabelecidas. Os estados atuais dos equipamentos são monitorados, e salvos como eventos nos bancos de dados (como por exemplo o evento de bomba 01 de água para consumo ligada da estação Butantã). A Figura 32, apresenta o SCL da estação Butantã exibindo a tela do sistema de bombas e seus reservatórios.

Figura 32 - Supervisório Local da estação Butantã exibindo a tela com as bombas d'água monitorados pelo SCADA.

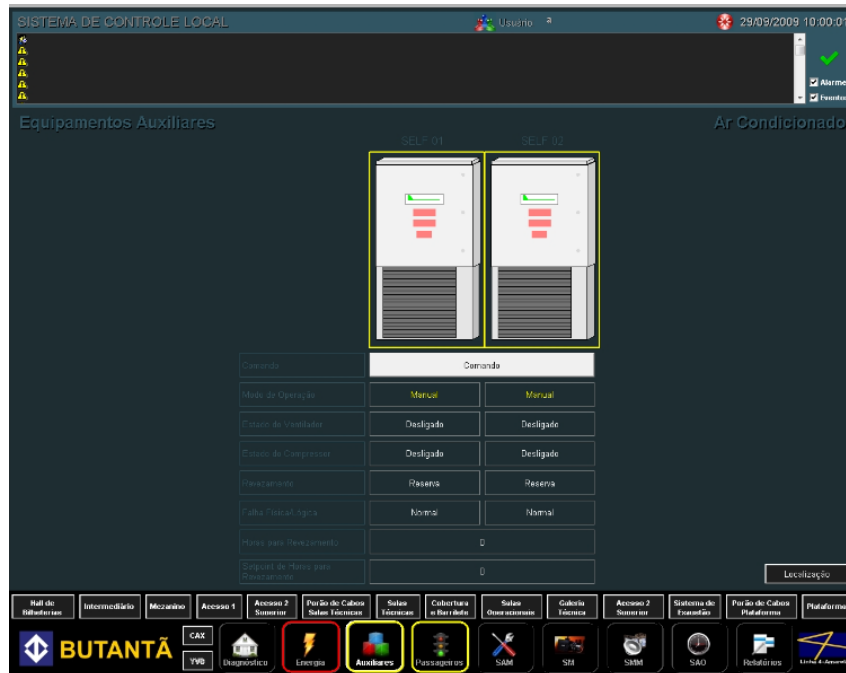


Fonte: Elipse (2015).

Os equipamentos de ar-condicionado disponibilizados nas salas técnicas (ou SEE - Salas de Equipamentos Eletrônicos) das estações, são implementados a fim de garantir o controle de temperatura e umidade do ar em ambientes que demandam exatidão na temperatura para o bom funcionamento dos equipamentos presentes neste ambiente, e são exigidos por normas técnicas. No software SCADA, é possível visualizar o estado atual dos ar-condicionados e seu modo de operação, onde no modo manual o operador fica responsável pelo controle do equipamento, e automático fica a cargo da lógica do sistema o controle do equipamento. Também podem ser enviados comandos aos equipamentos via tela do software, como ligar, desligar, ativar o modo manual ou automático, ligar ou desligar compressores, ventiladores ou acionar o ar-condicionado reserva. As eventuais falhas destes equipamentos, como falhas de comunicação, operacionais, técnicas e de comando, são apresentadas no sumário de alarmes, e sinalizadas em tela no o objeto do ar-condicionado, na tabela nos campos referente a Falha Física/Lógica, e nos botões de navegação de telas respectivos ao subsistema e localidade em cor vermelha ou amarela piscante de acordo com a severidade (Grave = Vermelha, Leve = Amarela), até que ele normalize. Os estados atuais dos equipamentos são monitorados, e salvos como eventos nos bancos de dados (como por

exemplo o evento de ar-condicionado SELF 01 desligado da estação Butantã). A Figura 33, apresenta o SCL da estação Butantã com visão dos ares-condicionados das salas técnicas.

Figura 33- Supervisório Local da estação Butantã exibindo a tela com os ares-condicionados monitorados pelo SCADA.



Fonte: Elipse (2015).

O SDAI – Sistema de Detecção e Alarme de Incêndio das estações são implementados com o objetivo de detectar inicialmente a ocorrência de um incêndio de modo que ele seja controlado e combatido de forma imediata para preservar vidas, o patrimônio e o meio ambiente, e são exigidos em toda a planta da estação do transporte coletivo por normas e leis. No software SCADA é possível saber o estado de cada um dos equipamentos do SDAI, que são compostos por DF - Detectores de Fumaça e AM - Acionadores Manuais, onde a sinalização verde significa que o equipamento está em condições normais, enquanto a sinalização vermelha significa que o equipamento está acionado. Como os DF e AM são posicionados geograficamente em todos os níveis da estação, o software dispõe de um menu de navegação de tela onde para cada localidade da estação é apresentado um botão que exibe a planta do local, e a distribuição geográfica dos DF e AM. O sistema também monitora os alarmes referentes a falhas de comunicações e quando o equipamento DF ou AM está acionado, as quais são apresentadas no sumário de alarmes, e sinalizam nos botões de navegação de telas respectivos ao subsistema e localidade em cor vermelha ou amarela piscante de acordo com a severidade (Grave = Vermelha, Leve = Amarela), até que ele normalize. Os estados atuais dos equipamentos são monitorados, e salvos como eventos nos

(Grave = Vermelha, Leve = Amarela), até que ele normalize. Os estados atuais dos equipamentos são monitorados, e salvos como eventos nos bancos de dados (como por exemplo o evento de escada rolante 01 ligada e descendo da estação Butantã).

Os sistemas de iluminação são controlados por painéis que comandam toda a iluminação interna da estação, e que é apresentado na tela de baixa tensão do sistema de energia, o qual permite monitorar os estados e sinalizações dos disjuntores e dos circuitos existentes.

No caso do SSC, há um menu de navegação com todas as localidades da linha que são monitoradas pelo SCADA, com todas as funcionalidades descritas para cada uma das estações. O sumário de alarmes, sumário de eventos e emissão de relatórios do SCC, conta com todos os alarmes e eventos gerados para todas as estações, enquanto no SCL possui somente os alarmes, eventos, e relatórios com informações pertinentes a uma única localidade a qual este supervisório monitora. Contudo, as interfaces de ambos são semelhantes.

Para que seja possível a implementação do SCADA, todos os equipamentos em campo devem possuir tecnologias próprias ou acopladas (como transdutores), que permitam o monitoramento e comando destes equipamentos, bem como meios de comunicações que permitam que eles se comuniquem com o CLP ou UTR. A arquitetura física deste supervisório bem como as funcionalidades comuns a todos os subsistemas foi apresentada na Seção 5.1, e nas Figuras 20 e 21.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os sistemas de supervisão no setor metroferroviário são implementados com o objetivo de monitorar e rastrear as informações de todos os equipamentos e sistemas que garantem a operação, funcionamento e gerenciamento adequados e satisfatórios de uma linha de trem ou metrô, onde suas instalações físicas e equipamentos se encontram distribuídos geometricamente em longas distancias.

Dentre os principais benefícios da implementação do SCADA dentro deste setor, podem ser mencionados a obtenção de informações confiáveis e precisas, o controle das principais variáveis dos sistemas afim de garantir o funcionamento correto dos equipamentos, o auxílio nas tomadas de decisões estratégicas e previsões de demandas futuras com base em dados, redução custos operacionais ao reduzir desperdícios e tempos de paradas, e um planejamento da operação comercial e alocação de recursos mais efetivo e preciso.

Frequentemente, o termo SCADA é atribuído unicamente ao software do supervisor, mas na realidade, o SCADA refere-se ao sistema como um todo, desde a sua IHM com o software SCADA embarcado, até os equipamentos dispostos no processo produtivo, incluindo as suas redes de comunicação. Portanto, é comum a comercialização do SCADA no setor estar atrelada a modernização dos sistemas presentes em campo os quais precisam ser compatíveis com o nível de automação que os supervisórios exigem, já que uma das premissas do SCADA é que os equipamentos em campo possuam tecnologias de automação que possibilitem o seu monitoramento e comando remoto. Então a implementação do SCADA impõe e impulsiona a modernização dos equipamentos e sistemas dos processos operacionais ao setor metroferroviário que em conjunto com a implementação do sistema de supervisão conferem uma maior eficiência e confiabilidade em sua operação através da automação, além de estimular o processo de inovação no setor.

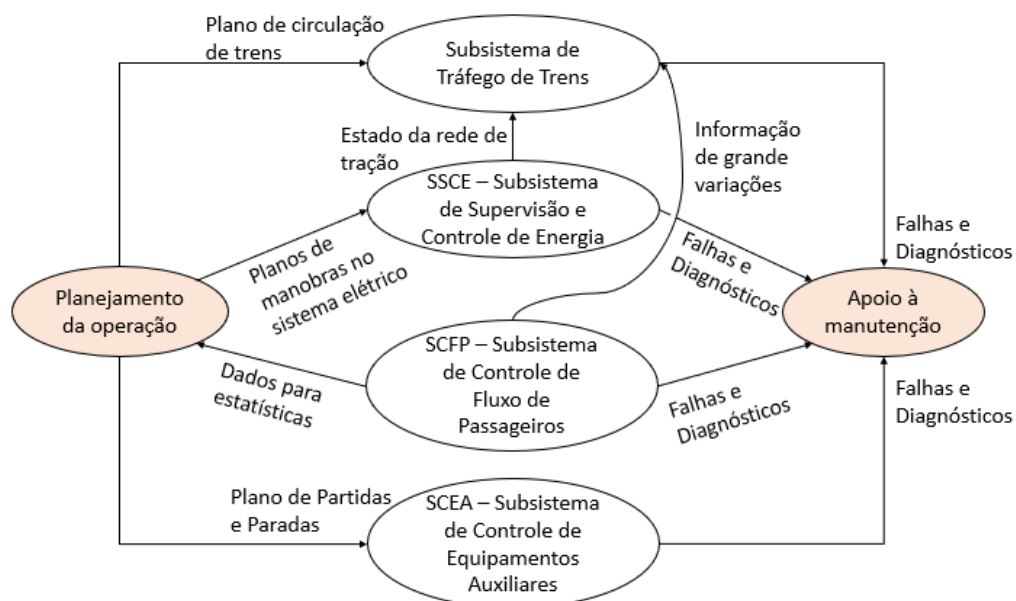
Os sistemas de supervisão de uma linha de trem ou metrô, costumam ser divididos entre subsistemas onde o monitoramento e controle são realizados em interfaces SCADA que são dispostas em instalações ao longo da linha e no seu CCO. A interface SCADA distribuída geograficamente pela planta da linha do trem ou metrô é denominado como SCL, enquanto a interface SCADA presente na central é denominada SCC.

Cada um dos subsistemas supervisionados possui funcionamento, equipamentos, arquiteturas, aplicabilidade e implementações diferentes entre si, além de cada um também possuir benefícios exclusivos advindos com a sua supervisão e controle.

Os principais sistemas e subsistemas monitorados são divididos em dois principais grupos, sendo o primeiro o controle de tráfego centralizado encarregado pelo controle e supervisão dos sistemas de sinalizações de trens e são implementados em redes de comunicação e servidores exclusivos dentro do CCO e no campo, e o segundo o sistema denominado SSC que monitora o controle de fluxo de passageiros nas estações, o sistema de suprimento de energia de toda a linha e suas instalações, e o sistema de equipamentos auxiliares onde todas as informações deste sistemas utilizam as mesmas redes de comunicações e servidores nos CCOs.

Todos os sistemas e subsistemas monitorados possuem um elevado grau de integração entre si, de forma que as informações obtidas por um subsistema referente aos estados em tempo real de um determinado processo da linha, são também apresentados aos demais subsistemas, onde isto ocorre principalmente no SCC, e pode ocorrer no SCL também. Exemplificando, as informações atualizadas referente aos estados dos disjuntores e seccionadores de vias os quais indicam quais das catenárias da rede área estão energizadas, são disponibilizadas para que os operadores do sistema de tráfego de trens, para que eles consigam fazer o planejamento da circulação dos trens. (SOUSA, 2010). Outras relações entre os subsistemas monitorados pelo SSC são apresentados na Figura 35 de forma simplificada. Além disso, o conceito do SSC em apresentar em uma mesma plataforma todos os subsistemas, auxilia na integração das informações e melhor compreensão dos estados atuais dos sistemas envolvidos na operação comercial da linha de trem.

Figura 35 – Interação entre os serviços do SCC.



Fonte: Sousa (2010).

Os subsistemas SCC e SCL podem ser desenvolvidos no mesmo software, como ocorre na linha 4 – Amarela do metrô de São Paulo, onde a plataforma IHM/SCADA utilizada foi o Eclipse E3. Desta forma, os processos de desenvolvimento e comissionamento do SCADA são facilitados, já que é possível padronizar os objetos que representam os equipamentos do processo operacional monitorados, e os designs de telas e funcionalidades implementadas podem ser reaproveitados.

Por mais que os subsistemas do SSC sejam apresentados no mesmo domínio da plataforma IHM/SCADA, cada um dos subsistemas é um módulo independente, não sendo necessário a implementação de todos simultaneamente. Isso confere aos sistemas de supervisão uma grande flexibilidade de implementação, a qual possibilita que as empresas que gerenciam as linhas priorizem a implementação do SCADA nos processos operacionais que são mais críticos. Além disso, essa flexibilidade também auxilia na expansão dos sistemas de supervisão, sendo possível a implementação de novos subsistemas de monitoramento sempre que surgir a necessidade.

Todos os sistemas SCADA apresentados no trabalho possuem arquitetura de implementação muito semelhante, a qual consiste em equipamentos que controlam algum processo operacional de uma linha que estão geograficamente distantes da central de controle, que são monitorados e controlados por dispositivos concentradores de dados que fazem a automação destes equipamentos, como CPL e UTR. A conexão entre esses equipamentos e os mecanismos concentradores de dados compõe a rede de controle dos equipamentos presente no campo. Os dispositivos concentradores de dados realizam a transferência de informações entre o campo a central por meio de sistemas de transmissões ópticos, e permite então a supervisão do processo operacional pelo CCO, o cérebro da operação comercial das linhas. No CCO, as informações advindas dos campos são apresentadas aos operadores em postos de monitoramento ou no painel sinótico, os quais auxiliam o CCO no gerenciamento da linha durante a sua operação comercial, na realização de manutenções, no planejamento de circulação de trens, na alocação de recursos e entre outros. Nesta arquitetura, também ocorre o caminho inverso, onde os comandos enviados remotamente pelo CCO, são transmitidos até os concentradores de dados, que por sua vez atuam executando as ações solicitadas nos equipamentos presentes no campo, permitindo então o controle dos processos operacionais pela central.

Devido a relevância e criticidade que os sistemas de controle de tráfego centralizados possuem na circulação dos trens da operação comercial, eles são implementados em redes,

servidores, e postos de monitoramento exclusivos, para evitar qualquer mínima possibilidade de interferência que os outros subsistemas possam ocasionar. Além disso, como o sistema de supervisão de tráfego de trens possuem alto nível de complexidade devido sua integração com os equipamentos de sinalização de bordo, e de sinalização de via, eles costumam ser desenvolvidos em plataformas exclusivas, que são destinadas unicamente para essa finalidade. Estão presentes em todos os CCOs e são os sistemas de maior destaque, sendo o primeiro sistema de supervisão a ser implementado, e além do acompanhamento realizado pelos postos de monitoramento, eles também são exibidos pelos painéis sinóticos (VideoWall). A sua implementação não é opcional, já que a supervisão e o sistema de sinalização são integrados, sendo impossível a operação do tráfego de trens sem o seu sistema SCADA central. A operação dos trens ocorre de forma automática, e são programadas e planejadas via interface SCADA pelos operadores de tráfegos presente no CCO. Todas as intervenções nas operações também são feitas pelos operadores no CCO via software, como inserção ou recolhimento de trem, acompanhamento do nível de lotação, paradas ou acelerações, energização ou desenergização de trens, travamento de rotas e entre outros. Portanto, a supervisão deste sistema aumenta a segurança dos passageiros e equipamentos, melhora a capacidade de operação e eficiência do transporte, diminui atrasos e interrupções no tráfego, aumenta a precisão na coordenação no movimento de trens, e em sistemas de sinalizações modernos, também é possível fornecer informações aos passageiros, como horários de chegada e partida dos trens nas estações. Além disso, a operação adequada na operação comercial de circulação de trens melhora o atendimento ao público e satisfação dos passageiros ao diminuir o intervalo de tempo entre trens e aumentar a velocidade das locomotivas. A má administração e baixa qualidade no fornecimento deste serviço podem implicar em multas pela STM - Secretaria de Transporte Metropolitanos, como ocorreu com a empresa Via Mobilidade, que foi multada em aproximadamente R\$8 milhões por falhas, descumprimentos de procedimentos operacionais e interrompimento na prestação de serviços das linhas 8 – Diamante e 9 – Esmeraldo no período entre março e maio de 2022. (CUT, 2022).

O sistema de suprimento de energia fornece energia elétrica para todas as instalações da linha e alimentam os trens. O interrompimento no fornecimento energia devido a falhas no sistema ocasionam grandes transtornos na operação comercial e podem danificar patrimônio, interromper a circulação dos trens, e colocar em risco a vida dos funcionários e passageiros. A rápida atuação para a normalização de falhas no setor de energia das linhas trens é essencial, e com o subsistema de supervisão e controle de energia é possível mapear com precisão qual dos equipamentos da subestação ou cabine seccionadora está com problemas, e qual a falha

está afetando o sistema, devido ao monitoramento de todas as proteções dos cubículos serem monitorados e sinalizarem na telas de diagnósticos como alarmes, o qual ajuda na identificação do defeito e possibilita que o CCO acione a equipe de manutenção com repasse de informações exatas. Com isso, a equipe de manutenção consegue rapidamente se deslocar até o local da ocorrência, e alocar a equipe correta com os materiais e ferramentas apropriados para atuar precisamente no incidente. Com isso, são economizados tempo com deslocamento, na avaliação da falha e atuação na causa do problema, e evita danos significativos aos equipamentos e sistemas das subestações, e auxilia no retorno das atividades comerciais.

Além disso, a supervisão do sistema de energia pelo CCO permite que as subestações sejam operadas remotamente, não sendo necessário funcionários presentes nestas localidades. Manobras nos equipamentos de energia presentes nas subestações são comuns pois corriqueiramente é necessário que algum trecho da via seja energizado ou desenergizado, seja para alimentar as catenárias dos trens, isolar trechos para a realização de manutenção dos sistemas e execução de obras. Outro aspecto importante é o monitoramento das variáveis críticas do sistema como por exemplo, acompanhamento dos valores de temperatura dos transformadores e de tensão e corrente nos barramentos do sistema de tração elétrica, os quais podem indicar sérios problemas nos equipamentos. As empresas que gerenciam linhas de trens que não possuem sistemas de supervisão e controle em suas subestações, precisam contratar funcionários ou empresas terceiras que realizem esta função, como ocorreu com a CPTM em novembro de 2022, a qual precisou recorrer a um aditivo contratual com uma empresa terceira para realizar vistorias periódicas por trinta meses em 35 subestações de energia divididas em cinco linhas de trens, o qual gerou um custo de R\$38,2 milhões. (MOREIRA, 2022).

Pelos sistemas de supervisão também é possível monitorar a demanda de energia e o fator de potência das subestações da linha, para que os valores de energia contratados não excedam os limites de demanda contratada e energia reativa excedente os quais implicar em cobranças de multas pela concessionária de energia em valores de duas vezes a demanda ultrapassada, ou de uma determinada porcentagem do valor da conta. (TAB, 2021 e ENETEC, 2020)

O sistema SCADA local de energia também é uma alternativa para operadores que eventualmente estejam na subestação, onde a sua interface IHM/SCADA normalmente fica instalada no painel de baixa tensão, onde o usuário também consegue realizar manobras e análises do sistema pela interface, não sendo necessário então realizar manobras nos disjuntores ou chaves seccionadoras inserindo manivelas ou apertando botões que fazem

contato direto com o sistema de alta tensão. Além disso, durante o desenvolvimento do software são definidos intertravamentos para que sejam evitadas manobras indevidas nos sistemas, e sua visão geral do unifilar da subestação, tela de alarmes e diagnósticos dos sistemas, e de sua arquitetura de rede permite que o usuário consiga checar e compreender todos os estados, alarmes, e proteções atuadas dos equipamentos e sistemas da subestação de forma rápida e intuitiva.

Portanto os subsistemas de supervisão e controle de energia presentes no CCO e nas subestações, reduzem custos com operação, aumentam a segurança dos operadores durante a execução de atividades e manutenção nos sistemas de alta tensão, e evitam que seus equipamentos sejam danificados por manobras indevidas, aumentando assim a confiabilidade do sistema.

Os subsistemas de controle de fluxo de passageiros, auxiliam na detecção de falhas no funcionamento dos equipamentos presentes nas estações de passageiros e no controle do seu fluxo diário de passageiros. Este subsistema permite que o CCO identifique rapidamente as falhas nos equipamentos de fluxo de passageiros de todas as estações, conseguindo então acionar a manutenções com informações sobre qual equipamento está com mal funcionamento e a sua localidade, permitindo que a atuação da equipe técnica seja precisa e rápida, evitando ou minimizando o impacto desta incidência nos deslocamentos dos passageiros na estação.

A supervisão dos bloqueios realiza o controle de arrecadações de passagens, o qual permite a mensuração do faturamento da companhia com a venda de bilhetes, além de ser possível a elaboração relatórios estatísticos com dados sobre a demanda dos passageiros nas estações nos diferentes horários e dias da semana, para que sejam realizados planejamentos assertivos para a alocações de trens de circulação de acordo com a demanda dos passageiros.

Também com base em dados sobre a demanda de passageiros, o CCO consegue configurar escadas e esteiras rolantes das estações com sentido de operação ao embarque de trens com destino ao centro ou com destino ao interior de acordo com horário operação, para que o fluxo de pessoas tenha maior vazão no deslocamento para a saída da estação, para as interconexões entre linhas ou sentido a plataforma de embarque de trens. O mesmo pode ser aplicado aos bloqueios, que podem ser configurados para o sentido de entrada ou saída das estações de acordo com a demanda de passageiros nos diferentes horários do dia.

O monitoramento dos elevadores garante o seu adequado funcionamento e a acessibilidade de pessoas com dificuldades de locomoção, evitando então penalidade devido à falta de acessibilidade nas estações o qual é previsto por lei. Em 2019, empresa SUPERVIA

foi condenada a indenizar um passageiro portador de deficiência devido à falta de acessibilidades para cadeirantes nas estações ferroviárias pelo TJRJ - Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro (TJRJ (Estado), 2019).

Os sistemas de câmeras são integrados ao software, e permite o monitoramento das estações e identificação de atos de vandalismo, o qual frequentemente ocorrem nas estações de trens.

Os subsistemas de controle de equipamentos auxiliares das estações, são vitais na preservação dos equipamentos das estações e do CCO, e no combate a eventuais incêndios.

No caso dos sistemas SDAI e Hidrantes, eles garantem que o CCO identifique princípios de incêndio nas vias e estações através dos monitoramentos dos equipamentos, e atue direcionando recursos ao local da ocorrência para evitar acidentes com aos passageiros, danos aos equipamentos e patrimônio, e minimizar o seu impacto na operação comercial de trens. Quando necessário o uso de algum hidrante, é possível através do controle remoto dos sistemas de bombas redirecionar a água dos reservatórios para o local do incidente. O CCO também consegue através do monitoramento, identificar falhas nos equipamentos, informar a equipe de manutenção que atuará no problema, para que todas as medidas de combate ao incêndio possam estar funcionando adequadamente no caso de focos de incêndio. Através da rápida identificação de acidentes e incêndios, a central também consegue realizar a alteração nas rotas da circulação de trens pelo supervisório de tráfego, bem como fazer desvios e paradas de emergência se necessário.

Os sistemas de ventilação principal além de manter a circulação de ar e temperatura dos túneis e estações, também podem ser utilizados no caso de incêndios dentro das estações e túneis, o qual o CCO consegue direcionar remotamente o fluxo de gases e fumaças tóxicas para o ambiente exterior através dos poços de ventilação.

Já o monitoramento dos equipamentos de ar-condicionado das salas técnicas das estações e do CCO, permite que o controle da temperatura destes ambientes evitando que servidores, *switches*, computadores, *no-breakers* e dentre outros dispositivos sejam danificados devido a umidade ou temperaturas elevadas, o qual ocasionaria na falha de todos os sistemas da empresa afetando a operação comercial.

Portanto a supervisão e controle dos equipamentos auxiliares, impactam diretamente na tomada de decisão do CCO na ocorrência de acidentes, e aumenta a segurança e preserva a integridade físicas dos passageiros, funcionários e patrimônio. Além disso, também contribui com uma boa prestação de serviço aos passageiros.

Com índices de satisfação maiores, o número de passageiros de uma determinada linha pode aumentar, já que em grandes regiões metropolitanas como o caso da cidade de São Paulo, os metrô e trens são a opção de transportes com maior velocidade de deslocamento quando comparados com os carros, permitindo que as pessoas evitem os congestionamentos presentes nas ruas e avenidas. O alto índice de pessoas diário nas estações trens, atraem empresas de publicidade e comerciantes gerando rendas não-tarifárias expressivas ao setor. A empresa Metrô no ano de 2006 por exemplo, possuía 76 lojas espalhadas em 18 estações, onde o comércio dentro das dependências da Companhia rendia R\$47 milhões de receita não-tarifária, o que correspondia a 5% da receita total do seu faturamento. (SÃO PAULO (Estado), 2006). Além disso, a empresa também fez a concessão de publicidade por R\$ 375 milhões a uma empresa multinacional em 2017, que envolvia a exploração de espaços publicitários de 52 estações das linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha por 30 anos. (Exame, 2017). Em 2022, as receitas extra tarifárias corresponderam por 20% da receita do Metrô, segundo o presidente da ABIFER – Associação Brasileira da Indústria Ferroviária. (SOARES, 2022)

Além disso, em todas as linhas do metrô de São Paulo que foram recentemente finalizadas como é o caso da Linha 4 – Amarela e Linha 5 – Lilás da região metropolitana de São Paulo, foram implementados o SCADA com a supervisão de todos os subsistemas apresentados no trabalho, devido a seu nível de importância no gerenciamento dos processos operacionais que uma linha de trem ou metrô demanda, e viabilidade de implementação em fase inicial de projeto, o qual em conjunto com um planejamento e projeto adequado, consegue definir quais serão todos os recursos necessários para a implantação do SCADA para todos os sistemas e subsistemas supervisionados. Além disso, a inclusão dos sistemas de supervisão nas etapas iniciais de planejamento e após a construção das linhas, permitem que o sistema seja implementado e comissionado de forma mais rápida e sem interferências na operação comercial dos trens, já que o comissionamento do SCADA exige a simulação real de todas as variáveis monitoradas dos sistemas e subsistemas, os quais exigem em muitos casos que a linha não esteja em operação. No caso de implementação do SCADA de sistemas e subsistemas de linhas que já possuem operação comercial, o seu comissionamento precisa ser realizado em períodos noturnos com limites de horários, os quais costumam nos intervalos entre 1h até as 4h da manhã onde a linha não está em operação. Mas isso não significa que a implementação do SCADA em linhas de trens que já possuem operação comercial não é viável, isso apenas afeta no período de comissionamento que se estende devido as limitações de horários para a execução de testes do sistema, já que sempre são evitados quaisquer transtornos que podem afetar a operação comercial dos trens e qualidade do serviço prestado.

O custo de implementação do SCADA varia de acordo com a sua aplicação, com as especificações dos clientes, e com a escolha dos equipamentos e softwares utilizados. Portanto não existem definidos valores padrões para os custos de implementação tanto para o SCC quanto para os sistemas de sinalização de trens. Além disso, para o SCC também existe a premissa de que os equipamentos que compõem os sistemas e subsistemas dos processos operacionais que se deseja monitorar precisam permitir que as variáveis do processo sejam supervisionadas e comandadas remotamente, além de também ser implementadas redes de comunicações confiáveis.

Na tabela 2 é apresentado uma estimativa de custos mínima de implementação do SCADA para SSC que engloba os subsistemas de supervisão e controle de energia, de controle de fluxo de passageiros e de controle de equipamentos auxiliares das estações para somente o supervisor central de uma linha com características semelhantes à da Linha 4 – Amarela, a qual possui 12,8 quilômetros de extensão e 11 estações em operação.

Tabela 2 – Estimativas de preços mínimas para a implementação do SSC.

Item	DESCRIÇÃO	Valor em R\$
1	Hardware e Software	R\$ 2.500.000,00
2	Cabeamento	R\$ 500.000,00
3	Licenças Elipse E3	R\$ 200.000,00
4	Preço de engenharia	R\$ 3.000.000,00
5	Segurança do Trabalho	R\$ 50.000,00
6	Sobressalentes de comissionamento	R\$ 100.000,00
TOTAL		R\$ 6.340.000,00

Fonte: Autoria própria.

Para a implementação dos sistemas SCADA no setor metroferroviários, as companhias responsáveis pelo gerenciamento das linhas costumam contratar empresas terceiras para a realização dos serviços, as quais não divulgam ao público a suas cotações de valores para a execução e instalação dos sistemas de supervisão. Portanto, a tabela 2 apresenta estimativas simples dos principais fatores que determinam o custo da implantação do SCADA. Ainda podem entrar nessa estimativa de custo valores referentes a garantia, soluções específicas requisitadas pelas companhias devido a particularidades das linhas, e a implementação de redes comunicação entre as estações e o CCO. Portanto estima-se que implementação do sistema SCADA para os três subsistemas em questão custe entre R\$6 milhões à R\$30 milhões.

Em relação a implementação dos sistemas de controle de tráfego de trem, a estimativa é que a sua implementação custe entre R\$150 milhões e R\$300 milhões para o caso de uma linha com características semelhantes à da L4 - Amarela, que varia de acordo com a tecnologia utilizada, e se o projeto será referente a modernização de sistemas, ou então implementação de um novo sistema de sinalização. A estimativa foi realizada com base no valor do contrato de modernização da sinalização CBTC e sua supervisão das linhas de trens 11 – Coral e 12 – Safira, que possuem juntas 89,5km de extensão e 29 estações em funcionamento. Os serviços foram avaliados em R\$949,76 milhões, segundo o relatório de empreendimentos da CPTM, divulgado em dezembro de 2022 em seu site oficial. (CPTM, 2022)

Portanto considerando uma linha nova de metrô, e estimando que a implementação do SCC custe por volta de R\$20 milhões, e que o sistema de sinalização seja composto por soluções modernas disponíveis no mercado custando R\$200 milhões, chega-se ao valor de implementação de aproximadamente R\$220 milhões em soluções de supervisionamento e controle de tráfego de trens. Segundo o demonstrativo financeiro de 2019 da concessionária da Linha 4 do Metrô de São Paulo S.A, divulgado em sua página oficial na internet, o seu lucro líquido foi de R\$194 milhões, sendo então necessário o período de aproximadamente um a dois anos para que os lucros da empresa cubram o valor inicialmente investido no cenário especulado. (ViaQuatro, 2019)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O transporte metroferroviário presente nas grandes regiões metropolitanas do país é essencial para a mobilidade dos brasileiros, impactando diretamente na qualidade de vida e otimização do tempo da população das grandes metrópoles. Contudo, o gerenciamento da operação comercial de trens de passageiros de uma linha de metrô envolve deveres e responsabilidades complexas, que exigem a implementação de sistemas de supervisão e controle em seus diversos níveis operacionais.

No CCO, são controlados e supervisionados através das plataformas IHM/SCADA os processos operacionais vitais para o funcionamento adequado de uma ou mais linhas de trens e suas estações, os quais envolvem a supervisão do controle do tráfego de trens, do suprimento de energia a todas estações e trens, do fluxo de passageiros e principais equipamentos auxiliares das estações. Como apresentado nos resultados, todos os sistemas SCADA presentes no CCO possuem um alto nível de integração entre si e contribuem ativamente nas principais tomadas de decisões estratégicas, minimizam as falhas humanas, reduzem custos operacionais e em conjunto são essenciais para sejam prestados à população serviços de qualidade com segurança, velocidade e eficiência. Além disso, quando analisados os custos de implementação dos sistemas de supervisão em relação aos seus benefícios, estes se mostram viáveis e seus investimentos justificáveis, sendo inclusive soluções que auxiliam este empreendimento a se tornarem mais lucrativos.

Portanto, é essencial o investimento em tecnologias de automação, controle e supervisão no setor por iniciativas públicas e privadas, para que a qualidade do serviço prestado a população melhore e incentive o uso de transportes coletivos em massa os quais impactam positivamente na sociedade brasileira, pois são soluções de mobilidade urbana que não congestionam as vias públicas, utilizam energia limpa para a alimentação de suas locomotivas, emitem menos poluições sonoras e gases de efeito estufa. Além disso, também é necessário investimentos para a expansão da cobertura da malha ferroviária para que a demanda de passageiros das grandes regiões metropolitanas seja atendida adequadamente.

Uma próxima perspectiva de estudo sobre o tema, é referente a novas tecnologias de automação, controle e supervisão dos sistemas operacionais de trens com custos de implementação menores, para impulsionar e incentivar o investimento no setor, e facilitar a adesão destas tecnologias pelas empresas.

Devido ao setor metroferroviário ser alvo de atos de vandalismo e roubo, as informações referentes aos aspectos técnicos de suas instalações físicas e principais soluções

adotadas para automação, controle e supervisão dos processos operacionais, são limitados ao público. Porém, foi possível com os conhecimentos e experiência da autora em conjunto com as informações presentes em literaturas acadêmicas, notícias, e sites das concessionárias e do governo, atingir ao nível de detalhamento esperado para o estudo das análises técnicas envolvidas na operação de trens, a qual viabilizou as discussões e levantamento sobre os benefícios advindos com a implementação dos sistemas de supervisão e controle dos processos operacionais do setor.

REFERÊNCIAS

- ACC ENGENHARIA DE MEDIÇÃO. **Entenda como funciona a cadeia de medição**. ACC engenharia de medição, [2019]. Disponível em: <https://accmetrologia.com.br/entenda-como-funciona-a-cadeia-de-medicao/>. Acesso em: 15 nov. 2022.
- ALOO TELECOM. **Fique por dentro dos tipos de rede de comunicação e de computadores existentes**. Aloo telecom, 2022. Disponível em: <https://blog.aloo.com.br/rede-de-comunicacao-e-de-computadores/>. Acesso em: 02 nov. 2022.
- ANPTRILHOS. **Balanco do setor metroferroviário de 2021 e 2022**. APNTrilhos, 2022. Disponível em: <https://anptrilhos.org.br/balanco-do-setor-2021-2022/>. Acesso em: 10 out. 2022.
- ASTRIX. **Conversor de protocolo**. Definirtec, [2022]. Disponível em: <https://definirtec.com/conversor-de-protocolo/>. Acesso em: 02 nov. 2022.
- BAY, E.; BLUNING. P. H. **Fundamentos de redes de computadores**. 2016. Indaial: UNIASSELVI, 2016.
- BAZANI, A. **Especial: direto do centro nevrálgico do metrô de São Paulo**. Diário Transporte, 2017. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2017/05/21/especial-direto-do-centro-nevralgico-do-metro-de-sao-paulo/>. Acesso em: 03 jan. 2023.
- CARDOSOS, W.; RODRIGUES, A. **Velocidade média do metrô é 4 vezes maior que a dos carros em SP**. Estadão, 2012. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/sao-paulo/velocidade-media-do-metro-e-4-vezes-maior-do-que-a-dos-carros-em-sp-imp-/>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- CARVALHO, A. **Centro de controle operacional acaba de comemorar 10 anos**. Mobilidade Sampa, 2016. Disponível em: <https://mobilidadesampa.com.br/2016/11/centro-de-controle-operacional-da-cptm-completa-10-anos/>. Acesso em: 11 out. 2022.
- CPTM. **Relatório de empreendimentos**. CPTM, 2022. Disponível em: <https://www.cptm.sp.gov.br/Transparencia/Pages/Expansao-e-Obras.aspx>. Acesso em: 18 jan. 2023.
- COELHO, M. S. **Sistemas supervisórios**. São Paulo, 2010. (Apostila).
- CONSELHO REGIONAL DOS TÉCNICOS INDUSTRIAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Redes de comunicação industrial: você sabe o que são?**. CRT-RJ, 2021. Disponível em: <https://old.crtrj.gov.br/redes-de-comunicacao-industrial-voce-sabe-o-que-sao/>. Acesso em: 27 nov. 2022.
- CONSTAIN, N. B. P. **Integração de sistemas SCADA com implementação de controle supervisório em CLP para sistemas de manufatura**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Automação e Sistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

CUT. **Concessionária ViaMobilidade é multada em R\$3,6 milhões por falhas em trens de SP.** CUT, 2022. Disponível em: <https://www.cut.org.br/noticias/concessionaria-via-mobilidade-e-multada-em-r-3-6-milhoes-por-falhas-em-trens-de-2e04>. Acesso em: 20 jan. 2023.

ELIPSE SOFTWARE. **Elipse E3: uma visão geral.** Elipse knowledgebase, 2019. Disponível em: <https://kb.elipse.com.br/elipse-e3-uma-visao-geral/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

ELIPSE SOFTWARE. **Elipse power.** Elipse software, [2015]. Disponível em: <https://www.elipse.com.br/produto/elipse-power/>. Acesso em: 23 nov. 2022.

ELIPSE SOFTWARE. **Manual do usuário do E3.** Elipse software, 2022. Disponível em: <https://www.elipse.com.br/downloads/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

ELIPSE SOFTWARE. **Elipse E3 agiliza a detecção de ocorrências que venham atingir a linha 4 do metrô de São Paulo.** Elipse software, 2013. Disponível em: <https://www.elipse.com.br/case/elipse-e3-agiliza-a-deteccao-de-ocorrencias-que-venham-a-atingir-a-linha-4-do-metro-de-sao-paulo/>. Acesso em: 27 dez. 2022.

ENETEC. **O que significa energia reativa excedente (EREX)?**. ENETEC, [2020]. Disponível em: <https://enetec.unb.br/blog/o-que-significa-energia-reativa-excedente-erex/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

EXAME. **Metrô de SP assina concessão de publicidade por R\$375 milhões.** Exame, 2017. Disponível em: <https://exame.com/negocios/metro-de-sp-assina-concessao-de-publicidade-por-r-375-milhoes/>. Acesso em: 18 jan. 2023.

HACK, V. M. **Sistema supervisório aplicado à automação industrial.** 2019. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, 2019.

IBGE. **Conheça o Brasil:** população rural e urbana. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html>. Acesso em: 16 out. 2022.

LESSA, A. **UOL acompanha manutenção da CPTM por duas noites.** UOL Notícias, 2013. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/album/mobile/2013/05/27/duas-noites-acompanhando-manutencao-da-cptm.htm#fotoNav=19>. Acesso em: 20 nov. 2022.

MENEZES, W. L.; ALVES, M. R. Modernização dos ATCS L/O para os trens das frotas K E L do metrô. In: SEMANA DA TECNOLOGIA METROFERROVIARIA, 21., 2015, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, SP: Centro de Convenções Frei Caneca, 2015. Disponível em: <https://www.aeamesp.org.br/21a-prov/>. Acesso em: 29 nov. 2022.

METROSPOFICIAL. **Descubra o metrô e o centro de controle operacional pela #LinhadaCultura.** Youtube, 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=FJKPadtzlUs>. Acesso em: 01 nov. 2022.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de automação industrial.** 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2007.

MOREIRA, W. **CPTM assina aditivo contratual para serviços especializados nas subestações de energia do sistema**. Diário Transporte, 2022. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2022/11/29/cptm-assina-aditivo-contratual-para-servicos-especializados-nas-subestacoes-de-energia-do-sistema/>. Acesso em: 05 jan. 2023.

NUNES, C. **Utilização de métodos de análise de falhas em um sistema de sinalização ferroviária**. 2012. Monografia (Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2012.

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, 2005.

RACHEL, F. M. **Proposta de um controlador automático de trens utilizando lógica nebulosa preditiva**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

RIO DE JANEIRO (Estado). Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro. **Por falta de acessibilidade, TJRJ condena Supervia a indenizar passageiro portador de deficiência**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.tjrj.jus.br/web/portal-conhecimento/noticias/noticia/-/visualizar-conteudo/5736540/6172793>. Acesso em: 14 jan. 2023.

SARAIVA, A. **ONU-Habitat: população mundial será 68% urbana até 2050**. Nações Unidas Brasil, 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-populacao-mundial-sera-68-urbana-ate-2050>. Acesso em: 12 nov. 2022.

SÃO PAULO (Estado). Governo do Estado de São Paulo. **Metrô: aberta a concorrência para exploração de lojas nas estações Brás, Penha e Carrão**. São Paulo, 2006. Disponível em: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/metro-aberta-concorrenci-para-exploracao-de-lojas-nas-estacoes-bras-penha-e-carrao/>. Acesso em: 15 jan. 2023.

SECALL, J. M. ViaQuatro – Sistema de sinalização da linha 4: (CBTC/UTO) – Como funciona?. In: SEMANA DA TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA, 14., 2008, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, SP: Centro de Convenções Frei Caneca, 2008. Disponível em: <https://www.aeamesp.org.br/blog/category/14a-semana-de-tecnologia-metroferroviaria/>. Acesso em: 08 nov. 2022.

SIRINEU, R. Estudo de caso do sistema de tráfego centralizado no CCO. In: SEMANA DA TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA. 22., 2016, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, SP: Centro de Convenções Frei Caneca, 2016. Disponível em: <https://www.aeamesp.org.br/22a-semana-de-tecnologia/>. Acesso em: 09 nov. 2022.

SOARES, R. **Metrô concedidos à iniciativa privada: os exemplos que deram certo ou não no país**. Jornal do Comércio, 2022. Disponível em: <https://jc.ne10.uol.com.br/colunas/mobilidade/2022/05/15006492-metros-concedidos-a-iniciativa-privada-os-exemplos-que-deram-certo-ou-nao-no-pais.html>. Acesso em: 22 jan. 2023.

SOUSA, C. A. **Proposta de integração do sistema de automação de subestações retificadores do sistema metrô-ferroviário brasileiro**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

TAB ENERGIA. **Multa por demanda contratada: como funciona?**. Tab Energia, 2021. Disponível em: <https://tabenergia.com.br/blog/multademandacontratada/#:~:text=Como%20funciona%20a%20multa%20por,a%20sua%20fatura%20de%20energia>. Acesso em: 13 jan. 2023.

TANENBAUM, A. S. **Redes de computadores**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

VIAQUATRO. **Relação com investidores: demonstrativos financeiros**. ViaQuatro, 2022. Disponível em: <https://www.viaquatro.com.br/relacao-com-investidores>. Acesso em: 20 jan. 2023.