

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

DEBORA SILVA GRAZIEL

FERNANDO MAIA DE ALMEIDA OLIVEIRA

**MODERNIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE SINALIZAÇÃO FERROVIÁRIA**

VOLTA REDONDA – RJ

2020

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**MODERNIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE SINALIZAÇÃO FERROVIÁRIA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Discente:

Debora Silva Graziel

Fernando Maia de Almeida Oliveira

Orientador:

Prof.M.Sc. Cláudio Márcio de  
Freitas da Sil

VOLTA REDONDA – RJ

2020

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Esp. Aloano Régio de Almeida Pereira

---

Prof. M.SC Edson de Paula de Carvalho

---

Prof. M.SC Cláudio Marcio de Freitas da Silva

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, por me darem todo o suporte necessário, e terem me ajudado em todos os momentos em que precisei.

Agradeço a todos os meus companheiros de trabalho que já passaram pela minha carreira profissional, pelas inúmeras vezes que supriram minha ausência, principalmente nas épocas das avaliações.

Agradeço aos meus amigos, por todos os ótimos momentos que me proporcionaram durante todos esses anos.

## RESUMO

O trabalho a ser apresentado, tem como objetivo mostrar uma análise técnica do processo modernização de um sistema de sinalização ferroviária. Com pretensão de mostrar CTC (controle de tráfego centralizado), abrangendo seu funcionamento na área de circuitos elétricos, sinalização e comunicação de dados, que por sua vez foi substituído pelo CBTC (por sua sigla do inglês *Communications-Based Train Control*), em português sistema de Controle de Trens Baseado em Comunicação. Serão mostradas as vantagens com o controle e monitoramento da movimentação dos trens através de uma rede de comunicação, com seu funcionamento nas áreas de energia, comunicação de dados, sinalização e automação. Com essa mudança é possível: trazer maior segurança na circulação de trens, reduzir procedimentos operacionais baseados unicamente em atuações humanas sujeitas a erros e enganos, aumentar a confiabilidade do transporte ferroviário, permitir o aumento de velocidades dos trens, reduzir custos, permitir melhor planejamento, controle e acompanhamento de toda operação ferroviária, atender as necessidades atuais do mercado consumidor cada vez mais exigente no que diz respeito à qualidade, tempo e custo benefício. Com essa modernização, é possível obter ganhos de produtividade e sustentabilidade em toda malha ferroviária.

## ABSTRACT

*The present work aims to show a technical analysis of the modernization process of a railway signaling system. With the intention of showing CTC (centralized traffic control), covering its operation in the area of electrical circuits, signaling and data communication, which was replaced by CBTC (for its English acronym Communications-Based Train Control), or translated for the Portuguese, Controle de Trens Baseado em Comunicação. It will be showing the advantages of controlling and monitoring the movement of trains through a communication network, as well as their operation in the areas of energy, data communication, signaling and automation. With this change it will be possible to bring larger security in train circulation, reduce operational procedures based on human actions (which is due to errors and mistakes), increase the reliability of rail transport, increase the speed of trains, reduce costs, to made possible better planning, control and monitoring of the entire railway operation, meeting the actual needs of the increasingly demanding consumer market focusing in quality, time and cost benefit. With this modernization, it will be possible to obtain productivity gain and sustainability of the entire railway network.*

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	15
1.1	Generalidades.....	15
1.2	Motivação, importância e justificativa.....	15
1.3	Contribuições .....	15
1.4	Sequência Metodológica.....	16
2	Definições e Fundamentos Teóricos .....	16
2.1	Sistema Elétrico Ferroviário .....	16
2.2	Alimentação pela concessionária.....	18
2.3	Subestações .....	19
2.3.1	Transformadores .....	19
2.3.2	Geradores.....	20
2.4	Alimentadores .....	23
2.5	Chaves telecomandadas .....	26
2.6	Dispositivos de Proteção .....	29
2.7	Automação Industrial .....	32
3	Controle de Tráfego Centralizado (CTC).....	32
3.1	Definição de circuito de via .....	34
3.2	Circuito de via – caso geral.....	34
3.3	Elementos do circuito de via .....	36
3.4	Sinaleiros .....	36
3.4.1	Funcionamento do sinal unifocal .....	37
3.5	Sistema de intertravamento .....	38
3.6	Sistema de bloqueio .....	39
3.6.1	Tipo de sistemas de bloqueio .....	40
3.7	Transmissão de dados CCO e campo .....	41
4	Controle de Trens Baseado em Comunicação (CTBC) .....	41
4.1	Definição do Sistema .....	41
4.2	Subsistemas do CBTC.....	42
4.2.1	Centro de Controle Operacional .....	42
4.2.2	Sistema Supervisório.....	44
4.2.3	Sinalização .....	46

4.2.4	Sistema de telecomunicação ferroviária (Telecom) .....	46
4.2.5	Sistema de bordo.....	49
4.3	Controlador – Descrição Geral.....	51
4.3.1	Funcionamento Básico .....	53
5	Análise geral da modernização .....	56
5.1	Análise em relação à mudança na Parte de Sinaleiros.....	56
5.2	Análise em relação à Informações ao Maquinista.....	57
5.3	Análise em relação à mudança na Parte de Telecomunicação. ....	58
5.4	Análise em relação à mudança na parte do circuito de via .....	59
5.5	Análise geral .....	59
5.6	Resultados.....	59
6	Considerações finais e conclusão.....	60
	Referências Bibliográficas .....	62

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Linha do sistema elétrico ferroviário paralela aos trilhos.....	17
Figura 2 - Diagrama simplificado da redundância entre subestações.....	18
Figura 3 – Diagrama interno da subestação.....	20
Figura 4 – Gerador de emergência .....	21
Figura 5 – Unidade de supervisão de corrente alternada.....	22
Figura 6 – Diagrama interno de subestação.....	23
Figura 7 – Alimentador de distribuição ferroviário bifásico .....	24
Figura 8 – Alimentador de distribuição trifásico.....	25
Figura 9 – Alimentadores bifásicos .....	26
Figura 10 – Chave telecomandada .....	27
Figura 11 – Abrigo de locação das baterias para as chaves telecomandadas.....	28
Figura 12 – Circuito de intertravamento da chave telecomandada .....	28
Figura 13 – Diagrama unifilar das subestações com representação da proteção .....	29
Figura 14 – Diagrama unifilar das demais SE's da FA.....	30
Figura 15 – Relé GE Multilin F650 .....	31
Figura 16 – Relé Pextron 1439.....	31
Figura 17 – Diagrama de sinalização .....	33
Figura 18 – Elementos básicos de um circuito de via .....	35
Figura 19 – Circuito de via ocupado por um trem.....	35
Figura 20 – Circuito de via aberto devido a trilho partido .....	36
Figura 21 – Sinal unifocal.....	38
Figura 22 – Sistema de intertravamento .....	39
Figura 23 – Funcionamento do sistema de bloqueio.....	40
Figura 24 – Controladores de tráfego.....	43
Figura 25 – CCO com controladores em atividade.....	43
Figura 26 – Telas do sistema supervisão .....	45
Figura 27 – Visão geral do sistema de sinalização .....	46
Figura 28 – Arquitetura de rede Telecom.....	47
Figura 29 – Comunicação com o CCO.....	49
Figura 30 – Tela de operação do sistema de bordo .....	50
Figura 31 – Chassi do EletroLogIXS EC5 .....	52
Figura 32 – Exemplo de controle de trem EletroLogIXS .....	55

Figura 33 – EletroLogIXS em um dos abrigos do trecho .....57

## LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

BOS- Back Office Server- Servidor do CCO

CA- Corrente Alternada

CBTC- Controle de Trens Baseado em Comunicação

CC- Corrente Continua

CCM- Centro de Controle de Manutenção

CCO- Centro de Controle Operacional

CDU- Tela de Operação do Sistema

CLP – Controlador Lógico Programável

CP- Controladores Programáveis

CPU-Unidade de Processamento Central

CTC- Controle de Tráfego Centralizado

GIS- Sistema de Informação Geográfica

GPS- Sistema de Posicionamento Global

IED- Dispositivo Eletrônico Inteligente

I-ETMS- Sistema de Controle de Bordo

PCR- Relé de Controle de Potência

PID- Proporcional Integral e Derivativo

PTC- possível controle de trem

SCADA- Controle de Supervisão e Aquisição de Dados

SDCD- Sistema Digital de Controle Distribuído

THP- Trem Hora Parado

TMC -Computador de Gerenciamento de Trem

TMDS- Sistema de Gerenciamento de Despacho de Trem

UAC- Unidade de Aquisição e Controle

UTR - Unidades Terminais Remotas

VHF- Frequência Muito Alta

WIFI- Rede local Sem Fio

WIU- Equipamento de Interface Com Equipamento de Via

## JUSTIFICATIVA

Com a necessidade de expandir o volume, produtividade e segurança na circulação de trens houve uma necessidade de modernização no que se refere a sinalização ferroviária. Com o passar do tempo tornou-se imprescindível aumentar o fluxo ferroviário, com isso também houve uma maior necessidade de segurança durante a locomoção destes veículos. Devido a essa demanda na malha ferroviária, este trabalho justifica-se por meio de uma análise técnica de dois sistemas de sinalização, sendo um não automatizado e outro automatizado.

No final de 2008 houve uma grave colisão nos Estados Unidos (California) envolvendo um trem de carga e um trem de passageiros. Em resposta a esse acidente, o governo americano definiu como padrão a ser adotado pelas ferrovias um novo modelo de sinalização e controle de tráfego de trens denominado *PTC (Positive Train Control)*. O sistema a ser apresentado, *CBTC (Control of trains based on communication)*, se baseia na estrutura do *PTC*, pois tem o mesmo fundamento tecnológico.

Buscou-se reunir dados e informações, com o intuito de apresentar uma análise visando quais são as desvantagens de um sistema de sinalização ferroviária não automatizado em relação a um sistema automatizado, mostrando os possíveis pontos de falhas de manutenção e operação.

## OBJETIVO GERAL

Em resposta a expansão do setor ferroviário houve uma necessidade de melhoria no sistema de sinalização e controle, uma vez que o fluxo no transporte de carga e passageiros tem aumentado significativamente.

O presente trabalho tem como objetivo geral demonstrar quais são as vantagens de um sistema de sinalização ferroviária automatizado em relação a um sistema não automatizado, no que se refere ao controle de tráfego de trens nas ferrovias, com a finalidade de demonstrar as melhorias adquiridas por meio dessa modernização, no que se refere à segurança, custo, volume transportado, manutenção e operação.

## METODOLOGIA

Esse estudo tem por finalidade evidenciar os ganhos provenientes de um sistema automatizado de sinalização ferroviária.

Assim, para um melhor tratamento dos objetivos desta pesquisa, observou-se que ela é classificada como pesquisa exploratória. Uma vez que se fez uso de materiais já elaborados, como por exemplo: livros, artigos científicos, revistas, documentos eletrônicos, e anotações técnicas de colaboradores ferroviários na busca de conhecimento necessário para a modernização no controle de tráfego de uma rede ferroviária, correlacionando tal conhecimento com abordagens já trabalhadas por outras análises.

A coleta de dados da pesquisa será bibliográfica, uma vez que implica em dados e informações obtidos a partir do conhecimento e análises de outros autores.

## **1 Introdução**

### **1.1 Generalidades**

Ao se tratar de uma ferrovia de carga, associa-se há um objetivo: o transporte rápido, eficiente e de melhor custo-benefício. O sistema CBTC tem como intuito atender a todos esses requisitos, aumentando a segurança do transporte, produção e a confiabilidade com os clientes.

Este trabalho faz uma análise técnica do processo de modernização do sistema de sinalização ferroviária com a substituição do (CTC) pelo sistema (CBTC). Assim, proporcionando um aumento na capacidade de circulação de trens, através de um sistema integrado de sinalização e comunicação, obedecendo às regras de operação ferroviária. Garantindo maior eficiência e maior segurança

### **1.2 Motivação, importância e justificativa.**

Atualmente há uma imensa necessidade de inovação para garantir as necessidades do mercado consumidor. No setor ferroviário não é diferente, há uma exigência cada vez maior no quando o assunto é a qualidade dos transportes ferroviários.

O desenvolvimento deste projeto se encaixa neste cenário, visto que irá permitir uma melhoria na visão sobre equipamentos, segurança e rapidez.

### **1.3 Contribuições**

Este trabalho pretende deixar como contribuição estudos sobre diversas áreas relacionadas ao setor ferroviário, como: distribuição de energia, circuitos elétricos, automação, redes de comunicação.

## 1.4 Sequência Metodológica

O trabalho, aqui relatado, foi realizado dentro da seguinte sequência metodológica:

- Estudos e análise técnica do sistema a ser substituído (CTC);
- Estudos e análise técnica do novo sistema de sinalização (CBTC);
- Análise comparativa entre os dois sistemas.

## 2 Definições e Fundamentos Teóricos

### 2.1 Sistema Elétrico Ferroviário

O sistema elétrico de alimentação ferroviária tem como objetivo fornecer energia elétrica para os equipamentos do sistema ferroviário, por exemplo, de segurança, de comunicação, de tráfego de trens e de sinalização ferroviária. Os alimentadores do sistema são bifásicos (sem cabo neutro) e são paralelos aos trilhos conforme apresentado na Figura 1 podendo estender-se por vários quilômetros. Estes alimentadores fornecem energia para diversos equipamentos instalados nas proximidades dos trilhos. Os equipamentos possuem tensão nominal de 120V, alimentados através de transformadores abaixadores de 13,8KV ou 4,4KV para 0,12KV, sendo que esses transformadores possuem potência nominal variando de 1,5KVa até 3KVa. A potência dos transformadores de distribuição do sistema, por trecho e por subestação, tem seu limite em 75KVa, demonstrando a baixa densidade de carga. O alimentador do sistema compreendido entre uma subestação e uma chave telecomandada é denominado trecho.



Figura 1 – Linha do sistema elétrico ferroviário paralela aos trilhos  
Fonte: (Própria, 2020)

Os principais equipamentos elétricos do sistema ferroviário são: os sinais luminosos/sonoros, cancelas, aparelhos de medição de temperatura de rodas e rolamentos, detectores de descarrilamento, aparelho de mudanças de vias, e *houses* (estações abrigadas de equipamentos).

O sistema elétrico ferroviário tem configuração de um sistema isolado, isto é, um sistema desprovido de corrente de retorno por terra devido à ausência de fechamento da fonte para a terra. Uma das vantagens provenientes dessa configuração é a corrente de curto reduzida, entretanto, há uma dificuldade de proteção em caso de falta fase-terra, pois havendo esta falha o cabo poderá ficar energizado permanentemente no chão, e essa corrente ser “interpretada” pela fonte como “carga”.

O sistema elétrico ferroviário é feito para oferecer redundâncias elétricas para os equipamentos ferroviários de sinalização, monitoramento, controle e comunicação. Para este sistema é imprescindível a existência de baterias internas, e a possibilidade de alimentação por duas subestações adjacentes. Usualmente esta operação de alimentação redundante é realizada através de manobras e chaves telecomandadas (indicadas com M na Figura 2) com operação remota ou local. Estas chaves, em

condições normais de operação, estão na posição normalmente aberta. Cada subestação, se alimentada pela concessionária, tem capacidade de alimentar os dois trechos do sistema elétrico que em operação normal estão conectados a ela. Em emergências, caso ocorra a falha total de uma subestação adjacente é possível alimentar as cargas transferidas para outra subestação e seus trechos adjacentes. Vale ressaltar que o sistema de alimentação é bifásico e isolado, e que as subestações não trabalham em paralelo.

A transferência de carga é feita pela chave telecomandada (M), mas neste caso o disjuntor (DJ) da subestação no qual a carga está sendo alimentada deve ser aberto antes, desenergizando temporariamente o trecho. O intertravamento impossibilita a operação em paralelo.

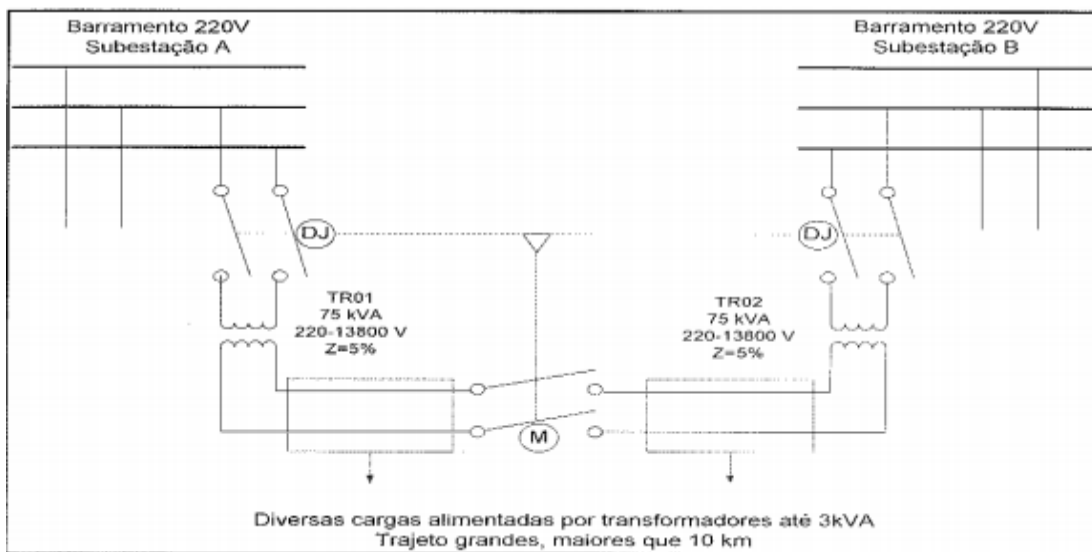


Figura 2 - Diagrama simplificado da redundância entre subestações.  
Fonte: (CARVALHO; RUFATO, 2010)

## 2.2 Alimentação pela concessionária

Os sistemas ferroviários são alimentados pela concessionária local em média tensão (13,8KV), mas logo após a conexão com a concessionária o nível de tensão é abaixado para 220V, onde é feita a conexão do gerador e a medição.

A proteção do alimentador e a redundância das fontes de alimentação (realizada através do gerador) são feitas na baixa tensão. Há um sistema de monitoramento responsável pelo acionamento do gerador em caso de falha. O mesmo é responsável pelo desligamento do gerador após a normalização do fornecimento de energia.

## **2.3 Subestações**

Pode se definir como subestação um local onde há um conjunto de máquinas e equipamentos que têm como função transformar e regular as tensões que são geradas ou transportadas, possibilitando segurança nas operações das partes do sistema, reduzindo ou eliminando as possíveis anomalias, permitindo o suprimento de energia elétrica.

### **2.3.1 Transformadores**

Transformador é um dispositivo elétrico que funciona com CA, que tem a capacidade de alterar (aumentar ou diminuir) o valor da tensão elétrica em um determinado circuito, através de bobinas acopladas em um núcleo ferromagnético. O transformador se baseia em princípios eletromagnéticos presentes na Lei de Faraday e Lei de Lenz.

Ao se tratar de uma subestação de alimentação ferroviária, a mesma é conectada à concessionária local por um transformador abaixador trifásico de 150KVa instalado em poste externo à subestação. Na Figura 3 é apresentado um transformador na saída da subestação.



Figura 3 – Transformador na saída da subestação  
Fonte: (Própria, 2020)

### 2.3.2 Geradores

Gerador é um dispositivo elétrico que é capaz de converter diversas formas de energia, como por exemplo, energia mecânica, energia química e energia solar, em energia elétrica. O princípio de funcionamento dos geradores normalmente é baseado na indução eletromagnética.

O gerador apresentado na Figura 4, definido para geração de emergência, é constituído de um motor a diesel como máquina acionadora, acoplado a um gerador síncrono trifásico, com tensão nominal de 220V, sendo montado sobre uma base comum para instalação fixa em local abrigado.



Figura 4 – Gerador de emergência  
Fonte: (MEGAGEN, 2020)

O painel elétrico do gerador é instalado na sala que abriga a subestação. As opções de partida e parada, podem ser de forma manual ou automática. Seu gerenciamento também é feito pelo analisador de energia, Figura 5, sendo responsável pelo seu acionamento em casos de falta de energia elétrica provinda da concessionária.

Este analisador também é responsável pelo controle, supervisão e comando das transferências entre o gerador e a concessionária. Seu circuito lógico é alimentado pelo sistema de suprimento CC (fonte externa), com o intuito de manter sua alimentação ininterrupta, permitindo que a unidade faça o monitoramento das fontes CA.



Figura 5 – Unidade de supervisão de corrente alternada  
Fonte: (LOVATO ELETRIC, 2004)

Em caso de falta de energia elétrica proveniente da concessionária, ou um baixo valor de tensão, o relé de subtensão (ANSI 27) no F650(1) será sensibilizado, que por sua vez, irá temporizar a detecção da subtensão para aguardar o tempo de religamento da concessionária ou mesmo uma condição de oscilação da rede.

Depois de terminada a temporização e ainda a condição de subtensão, o relé F650(1) abrirá D1, assim informando o CLP que a condição de subtensão é real. O CLP encaminhará a informação para o supervisor juntamente com um comando de abertura do contator K1. A unidade de análise de energia por sua vez, perceberá a subtensão e acionará o gerador, e posteriormente o CLP comandará o fechamento do contator K2.

Para ocorrer a reconexão com a concessionária, é necessário que a tensão proveniente dela permaneça acima de 200V por um período maior do que 15 segundos, deste modo, a unidade de análise de energia enviará um comando de desligamento para o gerador. Após 3 minutos, o CLP enviará um comando de abertura do contator K2 e um comando de fechamento do contator K1, normalizando então a alimentação vinda da concessionária. Com a detecção da presença de tensão à montante do disjuntor D1, a proteção de subtensão 27 no relé de entrada será rearmada e o disjuntor será fechado automaticamente.

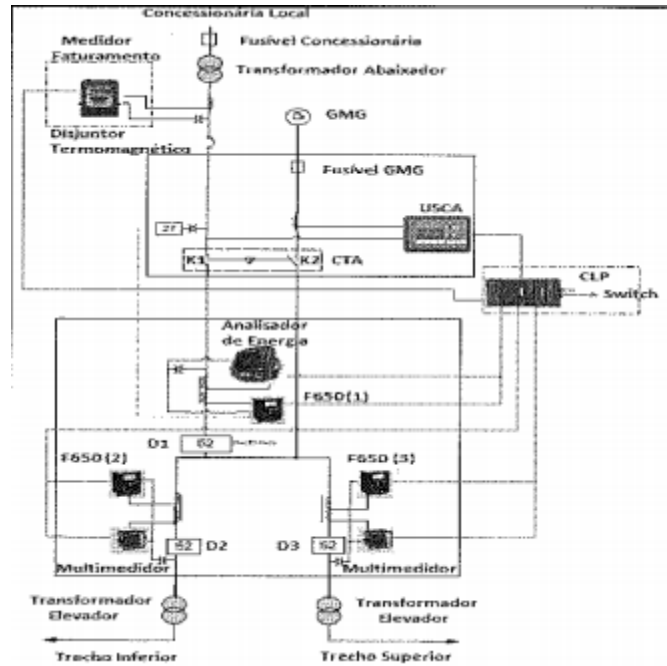


Figura 6 – Diagrama interno da subestação  
 Fonte: (CARVALHO; RUFATO, 2010)

## 2.4 Alimentadores

As redes do sistema elétrico ferroviário apresentam características particulares em relação aos sistemas trifásicos que são comumente utilizados na distribuição urbana. O sistema de alimentação das redes ferroviárias é isolado, ou seja, não possuem o condutor neutro e não são aterrados, para que não causem interferências no sistema de sinalização ferroviária através da corrente de retorno, algo que poderia ocorrer em um sistema de alimentação aterrado. Para reduzir o custo de instalação são utilizados circuitos bifásicos, pois as cargas possuem baixa demanda, com densidade de carga de aproximadamente 0,30KVa/km. A padronização da tensão de distribuição em 13,8kV ocorreu devido as longas distancias das cargas, em função da distância da ferrovia.

A título de comparação, na Figura 7 é apresentado um alimentador bifásico utilizado no sistema elétrico das ferrovias, e na Figura 8 é apresentado um alimentador trifásico que é bastante utilizado em redes de distribuição urbana.

Existem diferenças entre essas duas redes de distribuição (bifásica x trifásica). Nas características da configuração física na estrutura de sustentação de uma rede

trifásica existe a possibilidade da transposição de fases para equilibrar a impedância, o que não é possível em redes com o sistema bifásico, além de existir desequilíbrio de carga, sendo que na bifásica, essa questão pode ser mais acentuada, pois a alimentação das subestações é proveniente da concessionária (alimentação trifásica).



Figura 7 – Alimentador de distribuição ferroviária bifásico  
Fonte: (Própria, 2020)



Figura 8 – Alimentador de distribuição trifásico  
Fonte: (Própria, 2020)

Na rede bifásica do sistema ferroviário, os fenômenos de desequilíbrio e sobre tensões são agravados em função da baixa carga e alta capacitância, características deste tipo de rede.

O alimentador bifásico possui em suas estruturas, isoladores tipo pino, que conseguem isolar até 15kV. O cabo utilizado, é um cabo 4 CAA protegido (não isolado, utilizados apenas para evitar desligamentos causados por toques de galhos). No interior dos túneis, os condutores são acondicionados dentro de eletrodutos, com cabos isolados fixados na parede dos túneis, sendo a distância média entre fases de aproximadamente 3 centímetros. A distância média entre os cabos e a parede do túnel é de 5 centímetros e ambos distam aproximadamente 5 metros do chão. (Figura 9)



Figura 9 – Alimentadores bifásicos  
Fonte: (Própria, 2020)

## 2.5 Chaves telecomandadas

Conforme pode ser observado na Figura 10, entre as subestações adjacentes, é instalada uma chave telecomandada, cujo objetivo principal é fornecer energia para alimentação do sistema elétrico ferroviário. Em condições normais de operação (sem falha) esta chave fica em estado aberto.

Apesar de ser um sistema bifásico, as chaves telecomandadas são trifásicas, podendo ser controladas e comandadas localmente ou remotamente. Em casos de emergência ou falta de energia proveniente de uma das subestações, essa chave pode ser seccionada por operadores treinados, com o auxílio de uma vara de manobra. Sua classe de tensão é 15kV com corrente máxima de interrupção de 900A e NBI (nível básico de isolamento) de 110kV, sendo projetada para uso externo com

indicação da posição dos contatos, com possibilidade de abertura em carga. No sistema elétrico ferroviário apenas dois polos são utilizados por ser uma rede bifásica. Não necessariamente as mesmas fases são conectadas nos polos da chave, tendo em vista que elas nunca trabalham em paralelo.



Figura 10 – Chave telecomandada  
Fonte: (Própria, 2020)

O motor que aciona os comandos para essa chave, é alimentado por um transformador abaixador que é instalado em um poste adjacente ao poste que está situada a chave. O equipamento também possui um conjunto de baterias para acionamento da chave em caso de faltas de energia, como ilustrado na Figura 11.



Figura 11 – Abrigos de locação das baterias para as chaves telecomandadas  
Fonte: (Própria, 2020)

Na Figura 12 é mostrado o circuito esquemático do intertravamento da chave com as subestações adjacentes, onde os TP's estão ligados fase-fase e existe um TP em cada lado da chave com o objetivo de monitorar a tensão em ambos os lados da chave, cujo os dados são transmitidos para o CLP através de uma rede, que tem como seu meio físico, fibra óptica.

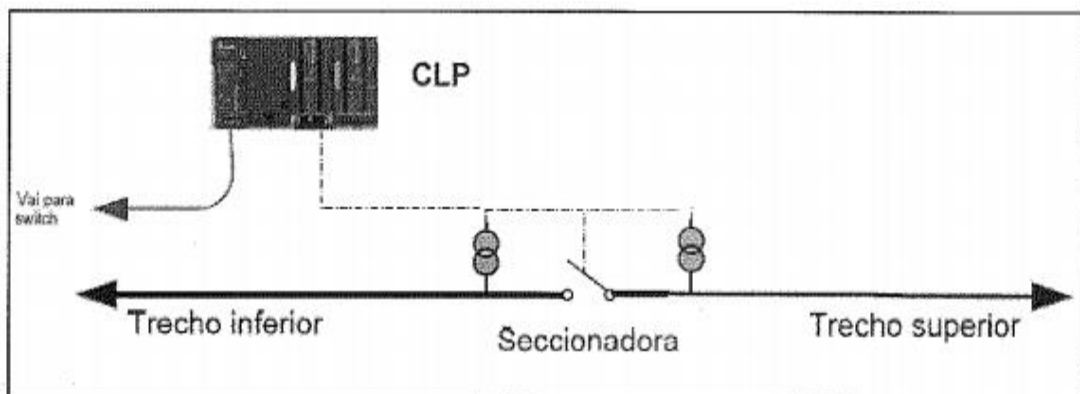


Figura 12 – Circuito de intertravamento da chave telecomandada  
Fonte: (CARVALHO; RUFATO, 2010)

## 2.6 Dispositivos de Proteção

O diagrama unifilar simplificado dos dispositivos de proteção das subestações é apresentado na Figura 13 e na Figura 14. Neste caso, o gerador não foi representado.

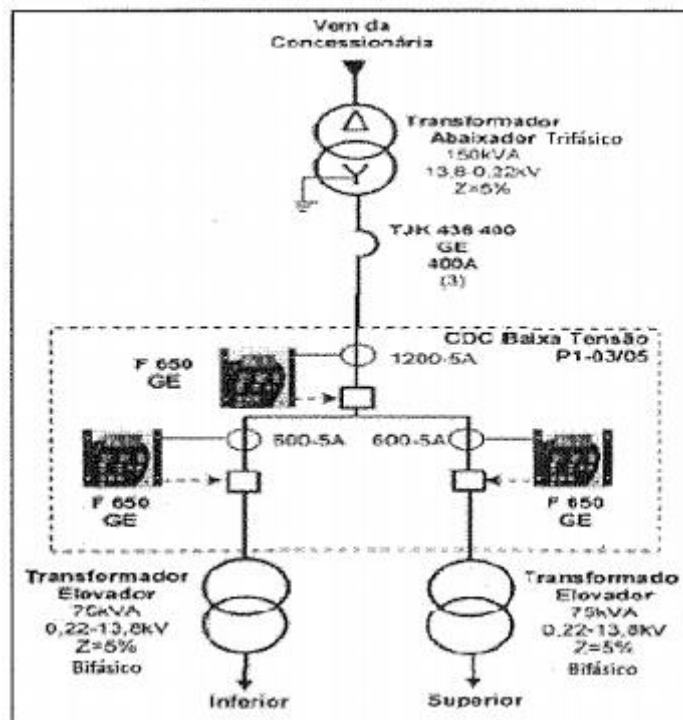


Figura 13 – Diagrama Unifilar das subestações com representação da proteção  
Fonte: (CARVALHO; RUFATO, 2010)

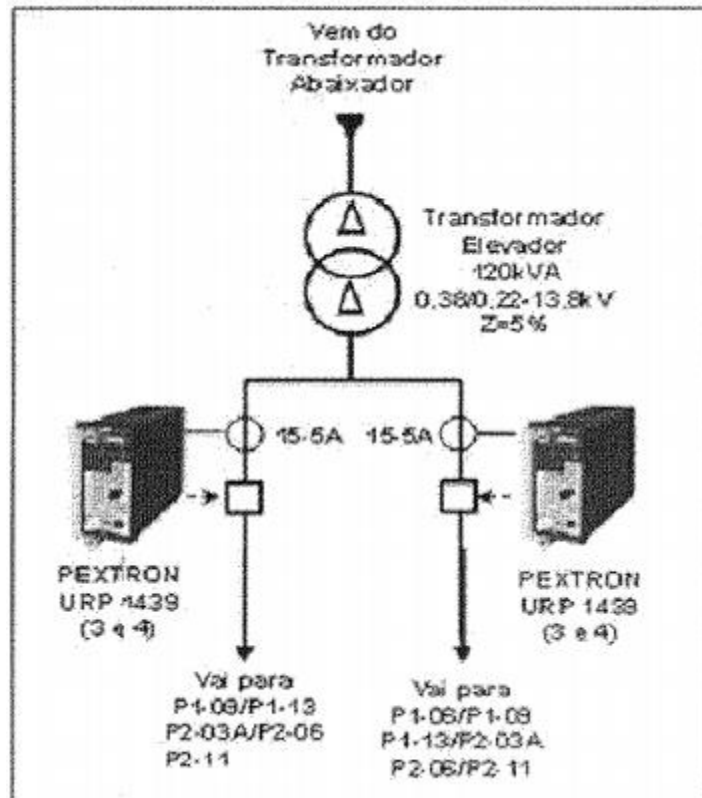


Figura 14 – Diagrama unifilar das demais SE's da FA  
Fonte: (CARVALHO; RUFATO, 2010)

A proteção de cada subestação é composta por três relés de proteção GE Multilin F650 (Figura 15) e Pextron 1439 (Figura 16) e um disjuntor termomagnético. As funções ativadas em cada relé de proteção são sobrecorrente instantâneo (ANSI 50), sobrecorrente temporizada (ANSI 51), subtensão (ANSI 27) e sobretensão (ANSI 59).



Figura 15 – Relé GE Multilin F650  
Fonte: (GE, 2020)



Figura 16 – Relé Pextron 1439  
Fonte: (REGLER, 2020)

Conforme descrito anteriormente, todos os transformadores elevadores do sistema são bifásicos sem neutro, deste modo, o nível de curto-circuito fase-terra é muito pequeno, limitados pelas reatâncias capacitivas do alimentador e dos equipamentos. Desta forma, não é possível garantir a detecção deste tipo de problema. Ressalta-se que estudos de proteção contra curto-circuito não são o escopo dessa dissertação e não serão abordados em detalhes.

## **2.7 Automação Industrial**

Um dispositivo automático, é um dispositivo que tem um mecanismo que atua por conta própria, que realiza uma determinada ação em função de parâmetros lógicos previamente programados. (RIBEIRO, 2003).

Pode-se dizer que um sistema de automação, como a origem da palavra sugere, é um conjunto de equipamentos, atrelados a uma tecnologia externa, que são capazes de fazer que uma determinada sequência ou um determinado processo trabalhe de forma automática, ou seja, com a menor intervenção humana possível, trabalhando de acordo com os padrões desejados, provenientes de parâmetros pré-determinados.

A automação tem como sua principal função, trazer diversos benefícios, como o aumento na velocidade da produção, redução de espaço físico, menor consumo de energia elétrica, o controle de qualidade do produto, medidas de segurança e confiabilidade, redução da mão de obra humana, diminuindo conseqüentemente o fator de risco sobre as atividades do processo.

## **3 Controle de Tráfego Centralizado (CTC)**

O sistema de controle de tráfego centralizado, ou mais conhecido como CTC, promove ao CCO (Centro de controle operacional) a supervisão dos elementos de sinalização da ferrovia, através de uma unidade de controle, denominada painel mímico ou console. O CTC permite ao operador do CCO, operações em toda malha

ferroviária, como mudança nos aspectos dos sinais, posicionamentos das chaves (normal ou reversa), licenciamento de trens, entre outras.

Este sistema é formado por: circuitos de via, máquina de chave (equipamento que permite que os trens possam mudar de linha), sinaleiros, sistema de intertravamento, sistema de bloqueio e sistema de transmissão de dados.

Ao longo de toda malha ferroviária, há estruturas paralelas aos trilhos, que são responsáveis pela alimentação de um determinado trecho. Essas estruturas podem ser chamadas de abrigo, caixa de locação ou até mesmo *house*. Não é possível determinar precisamente quantos quilômetros cada fonte de alimentação irá alimentar, pois cada trecho tem suas particularidades. Pode-se dizer que a distância entre cada um desses abrigos varia de acordo com os componentes e equipamentos de via presentes em cada trecho.

Neste sistema as operações ferroviárias são feitas através de relés, como por exemplo, mudar o posicionamento das máquinas de chaves, contagem de tempo, operações de sinais. Essa dinâmica acontece através de um comando vindo da central de controle operacional, esse comando passa pelo local onde ficam os relés (abrigo) e então através dos contatos dos relés acontecem as alterações no campo. Para realizar a comunicação entre os abrigos e o campo, utiliza-se cabo 50 pares, que passam por debaixo dos trilhos, e cada par de cabo tem uma determinada função.

Assim, com o CTC, todas as operações são realizadas de forma puramente elétrica, o que se torna um grande ponto de falha. Com esse sistema há um volume menor no transporte de carga, pois ele exige, como meio de segurança, que haja blocos de distância entre um trem e outro (conforme Figura 17) isso devido a toda comunicação do maquinista, durante o deslocamento, ser realizada através da sinalização de campo.



Figura 17 – Diagrama de sinalização  
Fonte: (BRANDI, 2007)

Como pode ser visto na Figura 17, há um trem ocupando os blocos 4 e 5 simultaneamente, com isso o bloco 3 indica restrição para o maquinista (sinal aspecto amarelo), ou seja, este bloco ainda não está livre para circular pois há uma ocupação no bloco subsequente. Devido a isso quando um maquinista se depara com sinal de restrição, o mesmo deve iniciar processo de frenagem, uma vez que dependendo da carga e velocidade ele levará alguns metros ou quilômetros para conseguir frear totalmente.

### **3.1 Definição de circuito de via**

A AAR (Association of American Railroads) definiu circuito de via como o circuito elétrico do qual os trilhos de um dado trecho de linha fazem parte. Tem como função detectar tem, veículo de linha na via ou trilho partido.

### **3.2 Circuito de via – caso geral**

O circuito de via é o elemento básico de quase todos os sistemas de sinalização existentes. É o meio pelo qual os trens são detectados e, a partir desta informação, são criadas as lógicas de controle e intertravamento que garantem a segurança da circulação dos trens.

Existem vários tipos de circuitos de via, cada qual com sua aplicação, vantagens e desvantagens. As Figura 18, 19 e 20 mostram casos gerais que podem ocorrer no circuito de via (no caso um circuito de via de corrente contínua).

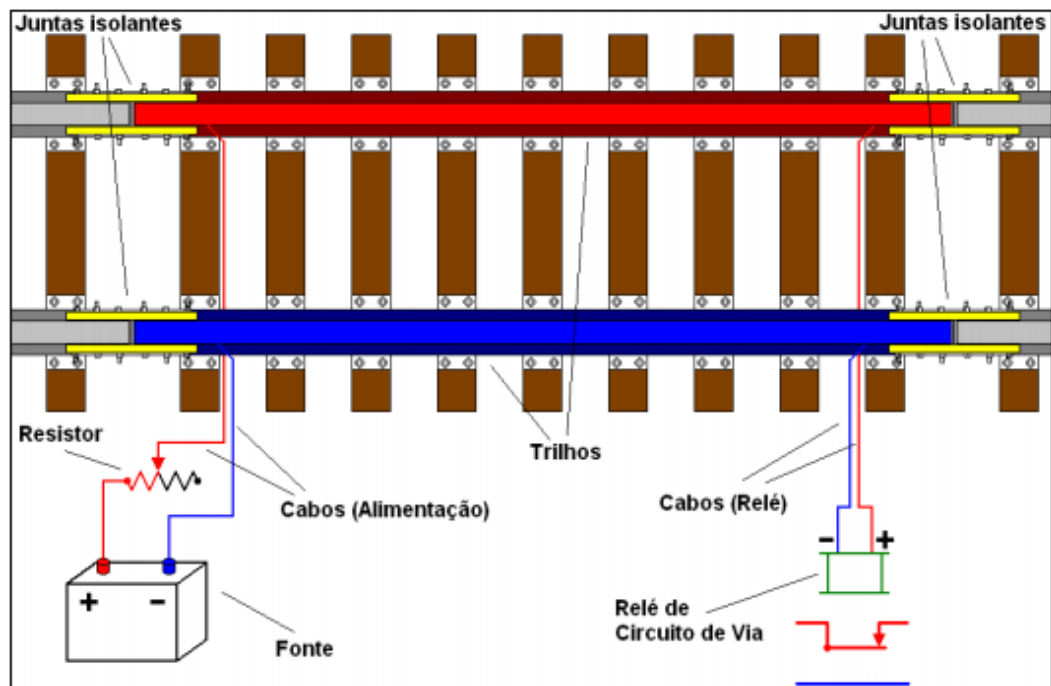


Figura 18 – Elementos básicos de um circuito de via  
Fonte: (BRANDI, 2007)

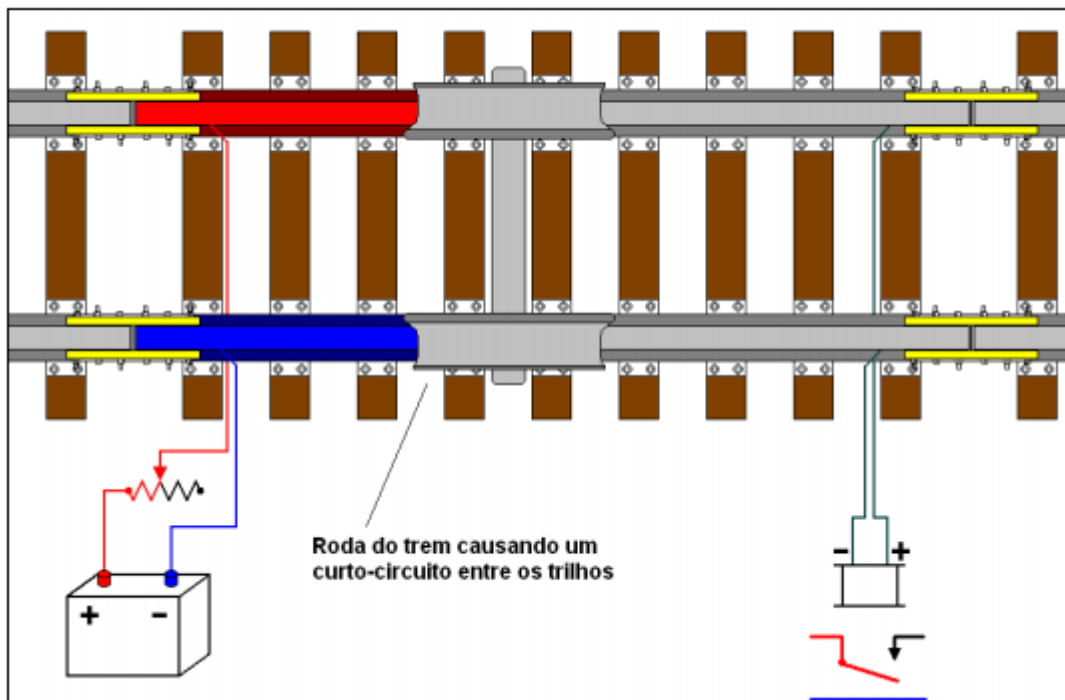


Figura 19 – Circuito de via ocupado por um trem  
Fonte: (BRANDI, 2007)

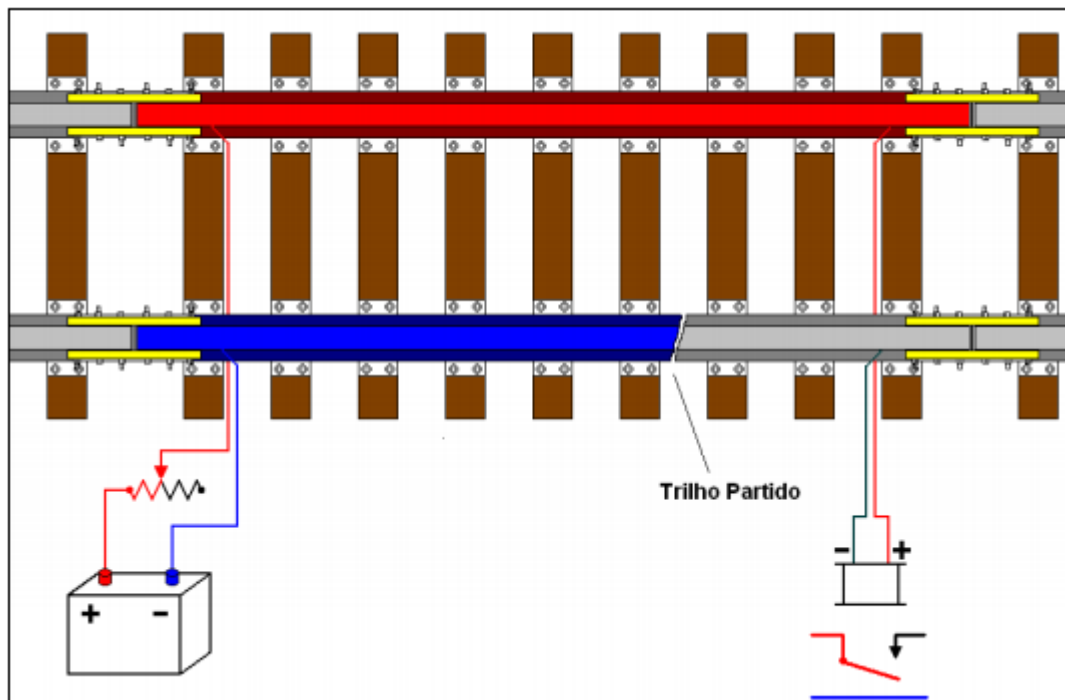


Figura 20 – Circuito de via aberto devido a trilho partido  
Fonte: (BRANDI, 2007)

### 3.3 Elementos do circuito de via

A Figura 18 mostra os elementos básicos de um circuito de via existentes, composto de uma fonte de alimentação ligada aos trilhos, passando por um resistor (normalmente variável). Os trilhos, isolados eletricamente dos trilhos adjacentes através de juntas isolantes, servem de condutores elétricos até o lado do relé. Esses relés são fabricados especialmente para a finalidade a que se destinam, ou seja, detectar trens, trilho partido e defeitos no circuito elétrico.

### 3.4 Sinaleiros

Define a associação brasileira de normas técnicas (ABNT) o sinal como sendo o meio de informação que transmite ao condutor de veículo ferroviário, instruções referentes ao movimento do trem.

Os sinais possuem dois conceitos associados: aspecto e significação.

Aspecto do sinal são a aparência do sinal do ponto de vista da cor e a posição relativa no sinal e do tipo de sinal (alto ou anão).

O sistema de sinais unifocal é o mais usado no CTC que consiste em ter os três aspectos em uma única unidade. Usando um conjunto ótico de lentes convexas combinadas que permite a lente interna ter pequena distância focal, possibilitando assim, que uma lâmpada seja colocada bem próxima a lente, fazendo com que se concentre grande parte da energia luminosa gerada pela lâmpada, exemplo visto na Figura 21

O sistema unifocal utiliza o princípio da elipse que consistem em ter dois pontos focais, assim uma lâmpada é colocada na unidade do sinal, e o refletor elipsoidal, faz com que grande parte de energia luminosa produzida passe pelo ponto focal externo do refletor.

Com isso os sinais podem ser considerados de longo alcance que possibilita ser visualizado em até 1500 metros e de curto alcance que possibilita ser visto em até 750 metros

### **3.4.1 Funcionamento do sinal unifocal**

O sinal unifocal utiliza um relé especial chamado de H2 que fica acondicionado dentro da caixa metálica montada na Figura 21. Este relé H2 utiliza uma lâmpada incandescente com fonte luminosa e move um leque com três discos coloridos, cada disco com uma cor diferente (verde, amarelo e vermelho), assim com o conjunto de lentes ele projeta os respectivos sinais.

A parte elétrica dos sinais consiste em duas alimentações distintas uma alimentação AC que varia de 9v a 12v fixa que é responsável por proporciona o acendimento das lâmpadas e a alimentação do rele H2 que tem uma alimentação DC que varia de 9v a 14v hora presente, hora não, hora polarizada e hora inversamente polarizada com isso a imantação do relé fazendo a mudança do aspecto do sinal.

A alimentação DC do relé é proporcionada pelo pedido do controlador que vem através da transferência de dados, passando pelo sistema lógico de bloqueio e pelo

sistema de intertravamento, assim possibilitando uma alimentação local fazer o acionamento do H2.



Figura 21 – Sinal unifocal  
Fonte: (Própria, 2020)

### 3.5 Sistema de intertravamento

O sistema de intertravamento na sinalização é responsável pela garantia da segurança nas operações dos equipamentos que definem rotas e licenciam trens.

Existem alguns tipos de sistemas utilizados em ferrovia o intertravamento mecânico a relé e o eletrônico.

Os sistemas de intertravamento também podem ser classificados entre sistemas distribuídos e sistemas centralizados.

Os distribuídos estão localizados ao longo da via e os centralizados estão localizados no centro de controle conforme Figura 22.

Com a interdependência entre controles, e circuitos elétricos de comando de diferentes aparelhos, chaves, sinal e outros dispositivos, tornando impossível qualquer simultaneidade de posições incompatíveis com a segurança. (NBR7635). O sistema de intertravamento é então, aquele que baseado nas informações básicas dos elementos de via (circuito de via, máquina de chave e sinais principalmente) é através de lógicas baseadas em contatos de bobinas de relés irá criticarem e aprovar, as condições de trafego, garantindo segurança nas rotas e velocidades para os trens.

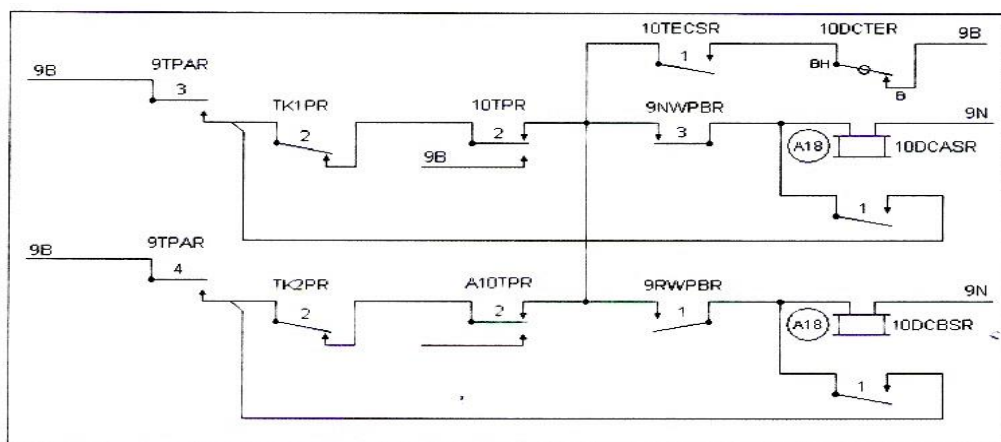


Figura 22 – Sistema de intertravamento  
Fonte: (BRANDI, 2007)

### 3.6 Sistema de bloqueio

Trecho de linha com limite bem definido, cuja utilização por trens é governado por licença via rádio, via satélite ou via sinais de bloqueio ou cabina no qual pode haver apenas um trem ao mesmo tempo. Esta condição é demonstrada na Figura 23.

O sistema de bloqueio é um conjunto de equipamentos e recursos que são utilizados de forma a garantir a ocupação de uma seção de bloqueio por um único trem trafegando com velocidade e segurança.

O sistema de bloqueio é responsável pela transmissão de dados vitais entre as estações de forma a interligar os sistemas de intertravamento com informações das estações adjacentes.

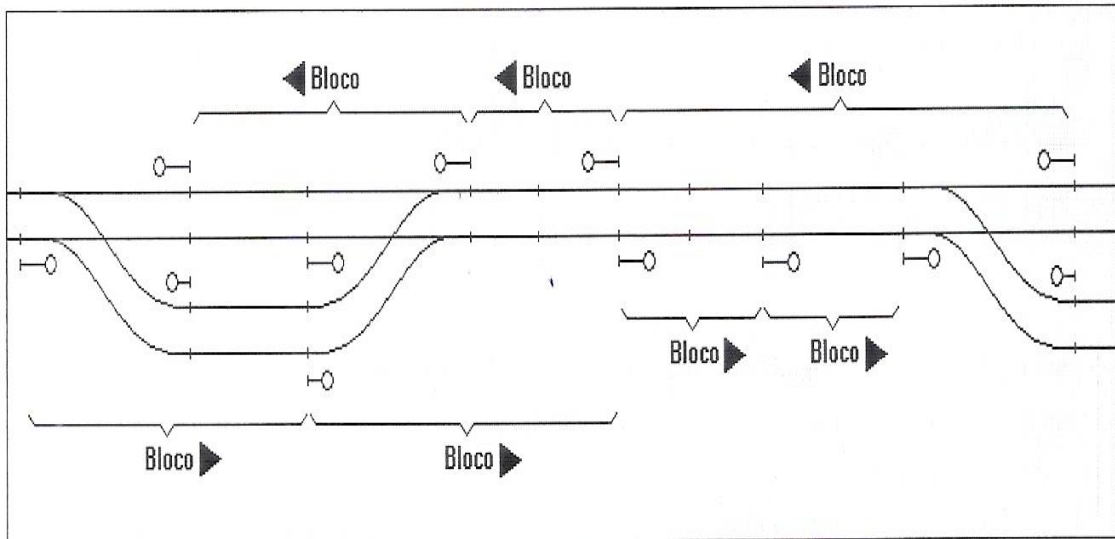


Figura 23 – Funcionamento do sistema de bloqueio  
 Fonte: (BRANDI, 2007)

### 3.6.1 Tipo de sistemas de bloqueio

O bloqueio pode ser feito através de cabos metálicos aéreos, cabos metálicos subterrâneos, utilizando fibra óptica, utilizando rádios ou mesmo utilizando os próprios trilhos. As informações que trafegam pelo sistema de bloqueio são normalmente com que aspecto sinal deve estar (vermelho, vermelho pisca, amarelo, amarelo pisca ou verde) e informação quando ocupação de circuito de via. A ferrovia utiliza em sua sinalização, basicamente 2 tipos de sistema de bloqueio:

O primeiro baseado na transmissão de informação através de corrente contínua utilizando cabo de controle como meio de transmissão. Este sistema é utilizado em quase todo trecho com intertravamento.

O segundo baseado na transmissão de informação através de frequência utilizando cabos de pares trançados.

Este sistema é chamado de RE-ED FDM. Ele transmite um número de sinal AC sobre um caminho de transmissão comum, usando uma frequência diferente para cada sinal. As frequências de sinal são selecionadas dentro do aspecto de 350-1000 HZ.

### 3.7 Transmissão de dados CCO e campo

O sistema de transmissão de dados é responsável por apresentar aos elementos de campo de sinalização, o comando digitado pelo controlador e de ler as informações de campo e apresentadas ao controlador no (CCO). Os sistemas de transmissão de dados mais antigos utilizam-se normalmente de pulsos de tensão DC em um par de condutores metálico, são as chamadas linhas de código. Os sistemas mais atuais utilizam canais de comunicação, multiplexados ou não, com protocolos proprietários ou de mercado.

## 4 Controle de Trens Baseado em Comunicação (CTBC)

### 4.1 Definição do Sistema

O Controle de Trens Baseado em Comunicação, em inglês, *Communications-Based Train Control (CBTC)* é uma tecnologia de última geração e muito moderna. Sua finalidade é garantir que os trens circulem de forma segura, com muito mais controle e qualidade de serviço. Dessa forma, o *CBTC* foi projetado com as seguintes finalidades:

- Impedir colisões entre os trens;
- Impedir avanços de sinais;
- Impedir excessos de velocidade;
- Impedir circulação não licenciada ou não autorizada pelo CCO.

Para garantir segurança na circulação, o equipamento de bordo, embarcado, deve possuir autonomia de aplicação de freio e corte de força tratora do veículo, independente da atuação do condutor. Esse recurso será utilizado sempre que o sistema detectar qualquer situação de risco, como por exemplo, excesso de velocidade, risco de colisão ou risco de avanço de sinal.

Outra característica do *CBTC* é realizar o cruzamento das informações do sensor de velocidade dos veículos e do sistema de GPS de bordo, conseguindo uma alta precisão na identificação do posicionamento do trem. Além disso, o sistema se baseia em uma moderna rede de comunicação, através da qual, a todo instante, são trocadas várias mensagens entre o sistema de bordo e o CCO. Dessa forma, o sistema consegue identificar o posicionamento dos trens e realizar o licenciamento sempre de forma eficiente e segura.

## **4.2 Subsistemas do *CBTC***

O sistema *CBTC* se divide em basicamente em 4 subsistemas, conforme a seguir:

- Centro de Controle Operacional (CCO);
- Sinalização;
- Sistema de telecomunicação ferroviária (Telecom);
- Sistema de bordo;

A seguir serão detalhados cada um dos quatro subsistemas que compõem o sistema *CBTC*.

### **4.2.1 Centro de Controle Operacional**

É através desse subsistema que o operador de controle (controlador) concede todas as licenças de circulação para os diversos veículos ao longo da ferrovia. Ele é composto pelo painel de despacho, vários outros componentes e por um sistema supervisorio. Através destes, o controlador consegue verificar a localização, exata e precisa, do veículo e a sua velocidade de circulação, além de outras diversas informações. A Figura 24 e 25 demonstram controladores de tráfego ferroviário em um CCO.



Figura 24 – Controladores de tráfego  
Fonte: (Própria, 2020)



Figura 25 – CCO com controladores em atividade  
Fonte: (Própria, 2020)

## 4.2.2 Sistema Supervisório

O objetivo principal do sistema de tela supervisão é propiciar uma interface de alto nível do controlador do CCO, informando em tempo real, de todos os eventos de importância da planta, visto no sistema de tela supervisão ilustrado na Figura 26.

O sistema de supervisão oferece três funções básicas:

- Supervisão: inclui todas as funções de monitoramento do processo tais como: sinóticos animados, gráficos de tendência de variáveis analógicas e digitais, relatórios em vídeo e impressos etc.;
- Operação: inclui ligar e desligar equipamentos e sequência de equipamentos, mudança de modo de operação de equipamentos etc.
- Controle: o Controle DDC ("*Digital Direct Control*") – todas as operações de entrada e saída são executadas diretamente através de cartões de I/O ligados diretamente ao barramento do micro, ou por remotas mais simples.

O sistema supervisório também tem a finalidade de receber informações de mudanças de estados do sistema elétrico, de falhas, atuações de equipamentos, dispositivos de proteção e controle da subestação, tais como atuação das funções de proteção, estado dos disjuntores, falhas de relés e disjuntores etc. A partir das informações recebidas, os operadores realizam os diagnósticos das ocorrências no sistema elétrico.

### 4.2.2.1 SCADA

O termo SCADA (em inglês: Supervisory Control And Data Acquisition) dentro da automação, se refere a sistemas de supervisão, controle e obtenção de dados constituído por um ou mais computadores ligados em uma rede, executando softwares de monitoramento e controle de processos.

O SCADA cumpre o papel de receber as informações das mudanças de estados do sistema elétrico, de suas falhas e atuações de equipamentos, dispositivos de proteção e controle da subestação, tais como atuação das funções de proteção,

estado dos dispositivos (disjuntores e chaves seccionadoras), falhas de relés etc. A partir das informações recebidas, os operadores fazem os diagnósticos das ocorrências e aplicam as medidas necessárias de operação para o funcionamento da planta. (RIBEIRO, 2005)

Nesta arquitetura as informações obtidas pelo controlador são colocadas na rede de comunicação, deixando os dados disponíveis a todos os dispositivos da rede, onde um servidor de banco de dados será responsável pelo armazenamento, gerenciamento das informações. A interação do operador com o sistema se faz por meio dos servidores, utilizando clientes de interface homem máquina (IHM) e a comunicação e distribuição dos dados, tanto com os equipamentos de campo, quanto com os níveis hierárquicos superiores, são efetuados pelo servidor de comunicação. Dependendo da sua aplicação, esses módulos podem ou não ser redundantes ou ainda ter suas funções concentradas num único ou então em diversos hardwares. (RIBEIRO, 2005)

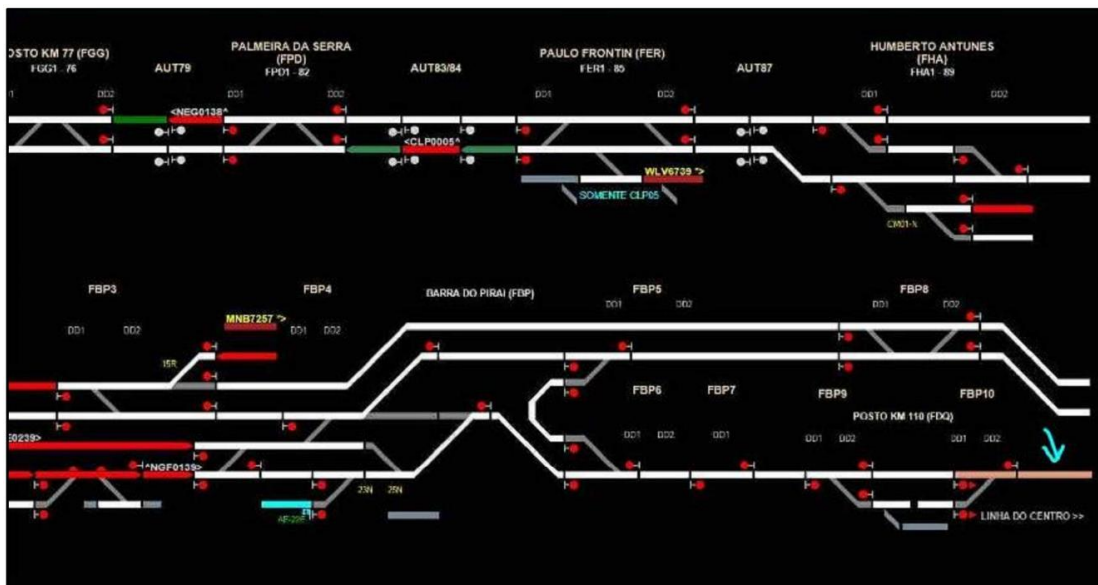


Figura 26 – Telas do sistema supervisório  
Fonte: (SAMPAIO, 2018)

### 4.2.3 Sinalização

O subsistema de sinalização é composto pelos circuitos de via, sinais, máquinas de chaves e outros componentes que são responsáveis por permitir que o CCO licencie, monitore e controle de forma segura a movimentação e circulação dos trens sobre as vias. Os componentes desse sistema estão distribuídos ao longo de toda malha viária (trecho). A Figura 27 mostra a visão geral do sistema de sinalização.

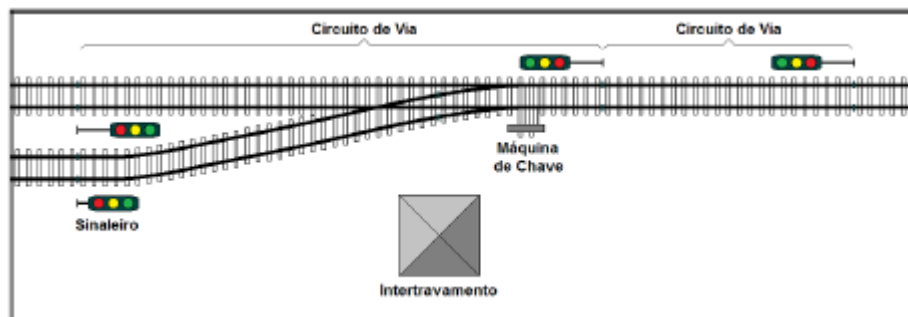


Figura 27 – Visão geral do sistema de sinalização  
Fonte: (SAMPAIO, 2018)

Outra característica desse subsistema, é que ele se comunica diretamente com o CCO e com o subsistema de Bordo. Para poder se comunicar diretamente com o sistema de Bordo, foi desenvolvida uma camada de rede denominada WIU, exclusiva para reportar aos veículos e locomotivas os aspectos dos sinais e a posição das máquinas de chave. Assim, os equipamentos de Bordo confirmam a todo tempo o instante que a condição para circulação está favorável e segura, dando permissão para o trem movimentar.

### 4.2.4 Sistema de telecomunicação ferroviária (Telecom)

O subsistema de telecomunicação, denominado Telecom, é uma parte primordial no *CBTC*. Sua função é transportar todos os pacotes de dados entre todos os subsistemas e seus seguimentos, integrando-os de forma segura e robusta,

possibilitando a operação de todo sistema *CBTC*. A rede de dados é composta por três modalidades:

- WiFi 802.11;
- Telefonia celular GSM;
- VHF 256MHz

Dessa forma, cada modalidade possui sua finalidade específica e transportará determinados tipos de pacotes. A Figura 28 mostra a arquitetura de rede de comunicação ferroviária (Telecom).

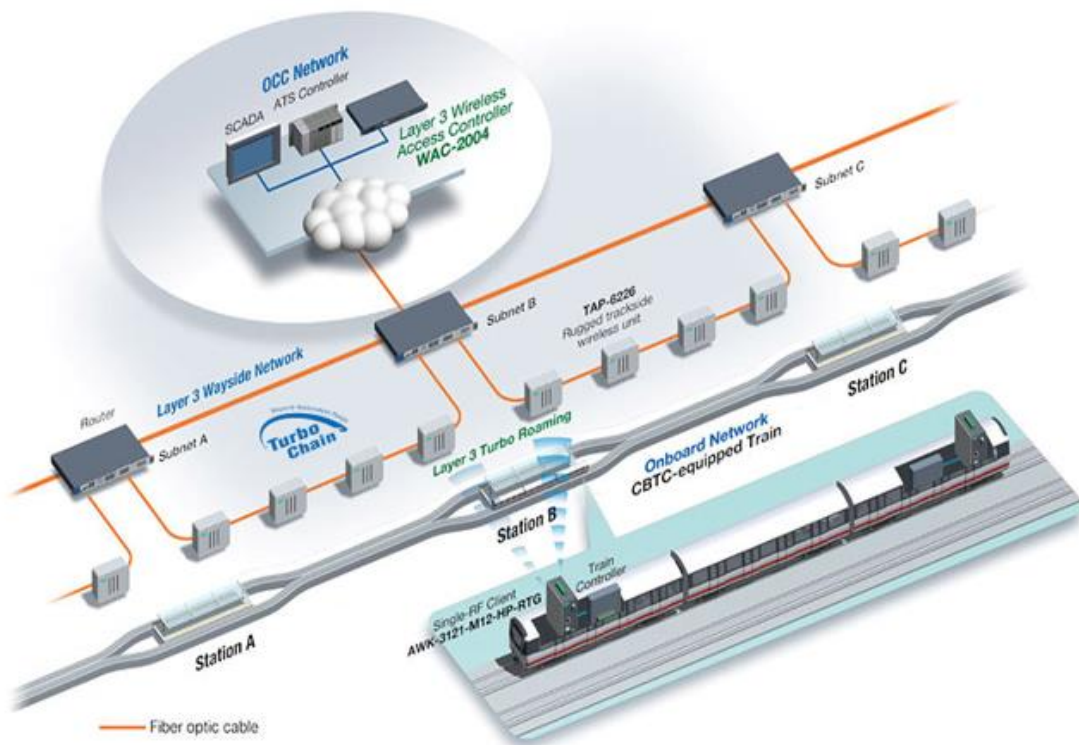


Figura 28 – Arquitetura de rede Telecom  
Fonte: (SPHINX, 2004)

A rede WiFi é responsável por fornecer os serviços de:

0Atualização do software por aplicativo dos Bordos;

- Atualização dos pacotes de configuração dos Bordos;
- Atualização dos mapas das ferrovias para os Bordos;
- Download dos logs dos equipamentos de Bordo;
- Download dos dados das caixas pretas das locomotivas;

- Acesso remoto (CCM) aos equipamentos de Bordo.

Já a rede VHF 256MHz é responsável por fornecer os serviços de:

- Licenciamento dos trens (CCO e Bordo);
- Transmitir mensagens WIU da Sinalização para o Bordo;
- Transmitir mensagens de texto entre CCO e Bordo.

Na interligação entre o CCO e o campo o meio físico atribuído para comunicação é a fibra óptica.

#### **4.2.4.1 Fibra Óptica**

A fibra óptica disponibiliza como meio físico, a transmissão de pacote de dados ao longo da malha, garantindo a integração e gestão dos novos sistemas em local único. Integrado a rede de dados, é disponibilizado canais de voz nestes locais com foco na melhoria da comunicação das equipes de campo com as demais áreas.

Nessa transmissão de dados, é utilizado o tipo de fibra monomodo, em função das seguintes características:

- Maior qualidade do sinal;
- Menor interferência nos dados transmitidos;
- Maior distância percorrida pela luz.

O projeto de rede de dados desenvolvido na gerência geral de projetos especiais, junto à gerência de infraestrutura de TI, disponibilizará toda essa infraestrutura de dados para comunicação de forma a integrar o centro de controle operacional e os sistemas de sinalização, bordo, telecomunicações e energia.

Na Figura 29, pode-se observar como, simplificada, é feita a comunicação entre CCO e o campo

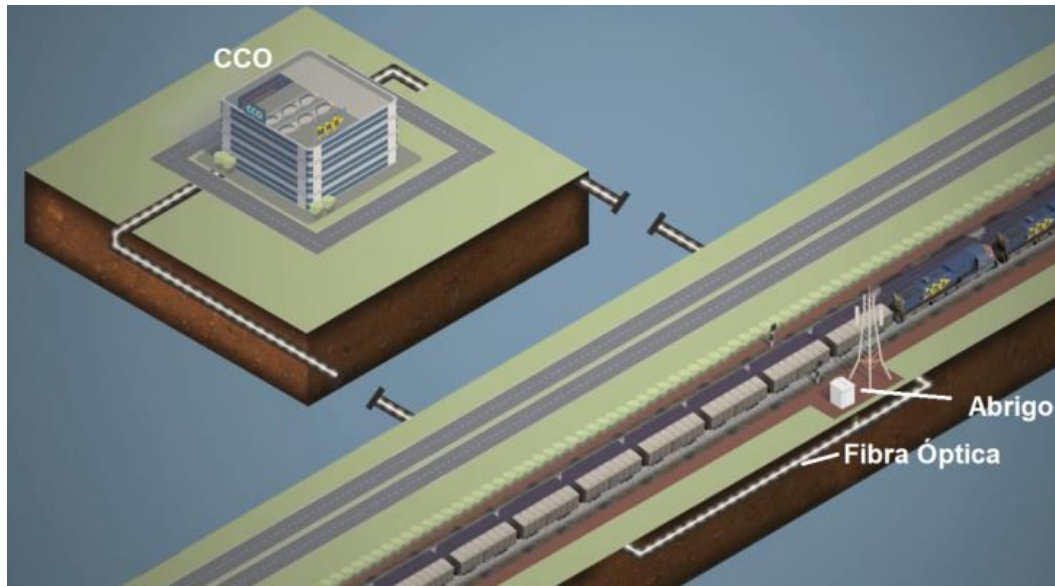


Figura 29 – Comunicação com o CCO  
Fonte: (MRS, 2015)

#### 4.2.5 Sistema de bordo

O subsistema de bordo é composto pelos equipamentos que estão localizados nos veículos de via, que na maioria das vezes são locomotivas. Sua finalidade é controlar de forma segura, a circulação dos veículos. Dessa forma, para movimentar, é necessário que o veículo esteja licenciado pelo CCO e que as condições do subsistema de sinalizações sejam favoráveis.

Para realizar sua função, o sistema de bordo possui autonomia para acionar automaticamente os freios do veículo, através de um comando de aplicação de penalidade. Sempre que o bordo aplicar uma penalidade, os freios serão aplicados e a aceleração será cortada, exceto em situações específicas de trecho rodoferroviários, que tecnicamente não é recomendando cortar a força tratora da locomotiva.

O sistema de bordo é muito importante dentro do sistema *CBTC*. Ele recebe, processa e exibe ao operador do veículo (se tratando de locomotivas: maquinistas) as licenças de circulação que foram emitidas pelo CCO. Além disso, ele supervisiona os limites de velocidade para cada trecho específico, garantindo que o veículo circule apenas dentro dos limites de velocidade permitido. Ele também supervisiona os limites da licença e confere se a condição dos sinais e máquinas de chave à frente do trem

está favorável para circulação. A Figura 30 exibe a tela de operação de bordo, localizada na cabine do operador da locomotiva.



Figura 30 – Tela de operação do sistema bordo  
Fonte: (SAMPAIO, 2018)

Uma importante característica do sistema de Bordo é o cálculo da curva de frenagem, ou seja, a distância que o veículo ainda percorrerá após uma aplicação de penalidade pelo Bordo (travamento da força de tração das rodas).

Esse cálculo é realizado a todo instante e é exibido ao condutor para que este conduza a locomotiva sempre dentro das condições permitidas e seguras. A distância de parada do veículo é calculada com base nos seguintes fatores:

- Curva de frenagem do veículo;
- Velocidade de circulação;
- Perfil da via.

A fim de controlar de forma segura a circulação, o sistema de bordo também se baseia em um arquivo de banco de dados da ferrovia. Esse arquivo de banco contém coordenadas geográficas, marcos de KM, posição de sinais, máquinas de chave, passagens de nível, áreas de sombra do sistema de Telecom, padrão de licenciamento a ser aplicado, as velocidades permitidas para circulação e outras informações. É com base nesses dados que o Bordo exibe o mapa virtual na tela de

operação, e toma as decisões e ações necessárias para supervisionar a condução do trem.

Outra função do sistema de bordo é realizar interface com o veículo para leituras de sentido de circulação, detecção de freio aplicado, corte de tração, acionamento de marcha a ré e outros. Todas essas informações são utilizadas pelo próprio sistema de bordo para supervisionar a circulação do trem.

#### **4.2.5.1 GPS**

O Bordo utiliza dados de GPS combinados com sinal de radar para calcular a velocidade de navegação e determinar o posicionamento do veículo na ferrovia. Esse processo garante a confiabilidade e precisão do sistema de posicionamento

O GPS (*Global Positioning System*) é um sistema de rádio navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA, com a intenção inicial de ser um sistema de navegação para o exército americano.

Esse sistema é programado para fornecer coordenadas bi ou tridimensionais de pontos no terreno, bem como a velocidade e direção conforme o deslocamento entre determinados pontos.

O GPS tem como objetivo principal auxiliar as atividades de navegação O sistema funciona de forma ininterruptamente e independentemente das condições meteorológicas, embora essas interferências no tempo podem causar alguns problemas referentes à estabilidade da conexão.

### **4.3 Controlador – Descrição Geral**

O controlador utilizado nas malhas de controle ferroviário é o EletroLogIXS EC5, pertencente a empresa General Electric. O controlador ElectroLogIXS EC5 é utilizado para os sistemas de controle de trens. A concepção modular do ElectroLogIXS EC5 permite que ele seja configurado para dar suporte a uma ampla

variedade de aplicações. As possibilidades incluem: detecção de fuga à terra, detecção de trem, detecção de trilho partido, proteção para Lâmpada queimada, controle de luzes de aproximação, detecção de interrupção de alimentação de CA (corrente alternada), proteção para entradas a dois fios para controlador vital circuitos de máquina de chave, e acionamento de relés para liberação do travamento de aparelhos de manobra elétricos.

O ElectroLogIXS EC5 consiste em um chassi, placa mãe, módulos plug in, uma CDU (Unidade de Controle e Visualização) e módulo de personalidade com blocos terminais para conectar fiação externa de relés, detectores de perigos e aspecto de sinaleiros (conforme ilustrado na Figura 31). Todos os módulos têm um painel frontal com indicadores que mostram o estado de funcionamento e monitoram os sinais E/S ativos. A CDU serve como interface homem/máquina para configuração (setup) do sistema, e depois de instalada, serve para testes e resolução de problemas em campo.



Figura 31 – Chassi do EletroLogIXS EC5  
Fonte: (GE, 2007)

### 4.3.1 Funcionamento Básico

O ElectroLogIXS EC5 envia e recebe pulsos codificados transmitidos pelos trilhos. São usados circuitos de via em CC para injetar e extrair pulsos codificados, de e para os trilhos. Usando os trilhos como detectores é possível detectar trens oferecer proteção contra trilho partido e eliminar a necessidade de circuitos com fios externos. Os pulsos codificados são usados para estabelecer o protocolo de reconhecimento (hand shaking) entre ElectroLogIXS's EC5 e permitir a sincronização entre os sistemas ElectroLogIXS de modo a alternar envio e recebimento de dados em ambas as direções. São empregados proteção de hardware e esquemas de detecção por softwares para garantir comunicação fail-safe (falha segura) e sistema de sinalização. Blocos de controle adjacentes são alimentados por correntes de polaridade invertida de modo a impedir que ocorra detecção de códigos do bloco adjacente. Os pulsos de sincronização e a decodificação de pulsos codificados fornecem a informação vital necessária à operação do sinal do sistema. O ElectroLogIXS EC5 determina a presença de trem detectando a ausência de códigos de trilho, mantém a distância entre trens que seja necessária para frenagem e impede de modo positivo as rotas conflitantes.

As entradas no ElectroLogIXS EC5 incluem sinais codificados de trilho, entradas de contatos de relés e de outros dispositivos de estado sólido com saídas digitais. As entradas são lidas em modo de falha segura e processadas vitalmente em modo de falha segura por múltiplos processadores de modo a fornecer saídas em modo de falha segura. As saídas consistem em códigos de trilho, sinais de acionamento de lâmpadas, habilitação de sinais "Cab", tensões de acionamento de dispositivos vitais em CC. Portas E/S seriais vitais possibilitam a comunicação do ElectroLogIXS

#### 4.3.1.1 Exemplo de Controle de Trem

Examina-se a seguir exemplo de como o ElectroLogIXS EC5 é usado para controlar trens que seguem um ao outro entre pontos de controle. O ElectroLogIXS EC5 permite a maior velocidade segura enquanto mantém distância segura entre os trens.

O ElectroLogIXS EC5 (e equipamentos associados instalados ao longo da via) formam um sistema integrado de controle e sinalização de trem. Códigos de via em CC são transmitidos através das vias. Eles enviam e recebem informações de status e aspecto de sinaleiros de controle (códigos de via). As informações de status incluem presença de trem, localização, integridade do circuito de via (detecção de trilho partido) ocupação do bloco, e informações de manutenção, tais como lâmpada apagada.

Com respeito à sinalização ferroviária: -

- Aspecto = o que é mostrador pelo sinaleiro (vermelho, amarelo, verde)
- Indicação = o que o aspecto significa (sua definição).
- Nome = como o aspecto é chamado.

Para nosso exemplo, a tabela abaixo define os aspectos:

Definições de Aspectos		
Indicação	Aspecto	Nome
Prossiga na velocidade máxima autorizada	Verde	Prossiga
Prossiga, preparado para parar no próximo sinal	Amarelo	Aproximação
Prossiga, preparado para parar no segundo sinal à frente	Amarelo piscante	Aproximação à frente
Pare	Vermelho	Pare

A Figura 32 mostra um exemplo de quatro blocos de via e dois trens.

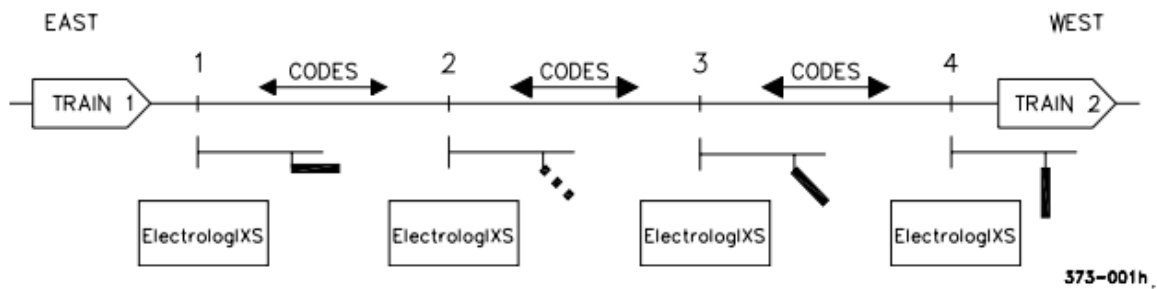


Figura 32 – Exemplo de controle de trem ElectroLogIXS  
Fonte: (GE, 2007)

Este exemplo mostra como o ElectroLogIXS EC5 é usado para diminuir a distância entre os trens para a mínima distância segura de dois blocos. Isto aumenta o fluxo de tráfego e a capacidade da via.

A demonstração abaixo acompanha o Trem 1 e o Trem 2 através de diferentes condições e mostra como o ElectroLogIXS EC5 controla os trens. O sistema sempre mantém a distância de segurança atrás do trem.

Primeiro caso:

- Trem 2 para no Bloco 2.
- Não há trens entre os Blocos 1 e 3.
- O aspecto do Bloco 1 é verde.
- Os aspectos nos Blocos 2, 3 e 4 são, respectivamente, amarelos piscando, amarelo e vermelho.

Segundo caso:

- Trem 1 entra no Bloco 1
- O ElectroLogIXS no Bloco 1 estabelece o aspecto atrás do Trem 1 em Vermelho.

Terceiro Caso:

- Trem 1 entra no Bloco 2 em velocidade adequada para parar no segundo sinaleiro à frente
- O ElectroLogIXS do Bloco 2 estabelece aspecto Vermelho no Bloco 2.
- O ElectroLogIXS do Bloco 1 estabelece aspecto Amarelo no Bloco 1.

Quarto caso:

- Trem 1 entra no Bloco 3 em velocidade adequada para parar no próximo sinaleiro.
- É estabelecido aspecto Vermelho no Bloco 3.
- É estabelecido aspecto Amarelo no Bloco 2.
- É estabelecido aspecto Amarelo piscante no Bloco 1.

Na Figura 35 é possível ver o controlador ElectroLogIXS EC5 instalado em um dos abrigos situados durante o trecho.



Figura 33 – EletroLogIXS EC5 em um dos abrigos do trecho  
Fonte: (PRÓPRIA, 2020)

## 5 Análise geral da modernização

### 5.1 Análise em relação à mudança na Parte de Sinaleiros

Verificou-se uma grande diferença na parte de sinalização de campo, os sinais deixaram de ser unifocais e passaram a ser multifocais, com isso, deixou de ser

utilizado o relé H2, que era um grande ponto de defeito (como resistência de contato e defeito no sistema eletromecânico).

Outra mudança que também trouxe grande melhoria foi a troca das lâmpadas incandescentes por lâmpadas de LED que tem maior vida útil, com isso obteve-se uma diminuição na manutenção e proporcionou aos maquinistas maior visibilidade.

O novo sistema de sinalização conta com o sistema de acendimento por aproximação de trens, que tira as informações do circuito de via, com isso tem se uma economia de energia e na vida útil do equipamento.

Com a instalação de *no breaks* em pontos que possuem alto índice de falta de energia, deixou o sistema mais confiável. Em caso de possível falta, o sistema não entra em falha. Já no CTC com a falta, todo o sistema entra em falha, deixando toda a movimentação de trens feita através rádio de comunicação.

Em alguns trechos onde a distância entre sinaleiros era superior a 3 km, foram instalados novos sinais que passaram a ter a distância de 3 km no máximo entre eles, levando mais informação aos maquinistas, maior opção de rota ao controlador e trazendo mais segurança ao sistema.

## **5.2 Análise em relação à Informações ao Maquinista**

O sistema de bordo vem proporcionando uma melhoria significativa. No sistema CTC o maquinista conta somente com os sinais de campo instalados as margens da ferrovia e com informações transmitidas pelo controlador através de rádio em caso de defeito na sinalização. Com o sistema CBTC de bordo o maquinista tem todas as informações necessárias na tela de seu computador, como:

- Informação da sua velocidade;
- Velocidade máxima permitida no trecho;
- Rota determinada pelo controlador no CCO;
- Geografia das linhas;
- Status e posicionamento dos equipamentos de via;
- Informação em caso de penalidade ou acidente.

Com essas informações consegue-se ter mais segurança, precisão e velocidade, tudo calculado através de GPS, que está ligado ao subsistema de bordo, como já explicado anteriormente.

### **5.3 Análise em relação à mudança na Parte de Telecomunicação.**

Houve toda a troca do sistema de comunicação, passando de um sistema puramente elétrico, para um sistema digital de comunicação, com switches, antenas de transmissão de dados, fibra óptica etc., tendo melhora expressiva na parte de comunicação de campo com o CCO.

O sistema conta com a instalação de novas repetidoras para diminuir cada vez mais os pontos de sobra que havia em alguns pontos da ferrovia.

O sistema de energia teve grandes implantações como instalações de novas subestações, que permitiram:

- Reduzir trecho sem monitoramento;
- Distribuir melhor seu sistema;
- Aumentar seus pontos de possíveis remanejamentos;
- Possibilitar mais condições de manobra;

Instalação de chaves motorizada ao longo do trecho que possibilita ao controlador do CCM fazer a abertura e o fechamento delas remotamente. Já no sistema CTC necessitaria da equipe de campo para fazer essas intervenções.

O sistema de tele supervisão da toda visão e controle da planta ao controlador do CCM, tudo em tempo real.

Através dele pode-se:

- Executar manobras de energia;
- Remanejar cargas;
- Isolar defeitos;
- Interditar trecho para equipe de manutenção;
- Ter leitura de todas as grandezas elétrica do sistema.

#### **5.4 Análise em relação à mudança na parte do circuito de via**

Os circuitos de via tiveram grande modificação estrutural. No CTC havia circuitos que chegavam a 15 km, com o novo sistema, os circuitos diminuíram para 3 km, com essa modificação possibilitou ao controlador:

- Ter uma localização mais precisa;
- Criar melhor suas rotas;
- Ter maior proximidade entre trens;
- Ter maior número de composição circulando em sua malha;
- Diminuir o tempo em suas viagens.

#### **5.5 Análise geral**

Com essa análise podemos ver que o CTC é um sistema muito limitado para os dias de hoje. Um sistema que possui informações para o maquinista somente através de sinais de campo e através de rádio de comunicação, em trechos que devem manter distância de 15 km e de 30 a 40 minutos de diferença entre trens, para poderem circular com segurança.

Como o CBTC o maquinista terá todas as informações necessárias na tela do computador de bordo, sistema de penalidade em caso de sinistro, melhoria na informação de campo através dos novos sinaleiros e melhoria no sistema de comunicação. Com essa mudança está sendo possível aumentar a velocidade dos trens, diminuir a distância entre eles, trazer mais segurança para os maquinistas, equipes de manutenção e as comunidades ao redor da ferrovia, podendo alcançar seus objetivos de segurança, produtividade e sustentabilidade.

#### **5.6 Resultados**

Com o novo sistema, foi possível atingir:

- Aumento da velocidade dos trens;
- Aumento significativo na quantidade de toneladas/ano transportadas;
- Diminuição do THP (trem hora parado);
- Reduzir as distâncias entre trens;
- Melhorar a comunicação entre trens e CCO através de rede de dados dedicada;
- Cumprimento de regras operacionais garantida pelo sistema;
- Maquinista visualiza entende em quais condições está operando;
- Sinalização lateral a cada 3 km como forma de operação contingencial;
- Melhoria na operação dos pátios;
- O aumento da capacidade dos pátios com o acréscimo de linhas, travessões e máquinas de chave.

## **6 Considerações finais e conclusão.**

O presente trabalho teve por objetivo apresentar uma análise técnica da modernização de um sistema de sinalização ferroviária. Da modernização do sistema de controle e monitoramento do movimento dos trens através de rede dedicada de comunicação, interligada com a solução de intertravamento no campo, com sua automatização, mudança para nova tecnologia.

O principal motivo deste trabalho foi mostrar a mudança do CTC para o CBTC que tem como objetivo trazer um aumento expressivo da segurança operacional, maquinistas, comunidades, equipes de campo e meio ambiente. E para atender a necessidade do mercado consumidor que cresce a cada dia.

Com essa mudança possibilitará mais velocidades dos trens, menor distância entre eles e redução do THP (trem hora parado).

Com este trabalho foi possível visualizar o funcionamento de um sistema de sinalização e conhecer novas tecnologias na área de automação, transmissão de dados, monitoramento de sistema de energia e conhecimento sobre intertravamento. Com isso poder ter uma melhoria contínua na área da sinalização ferroviária.

Como sugestão para trabalhos futuros nesta mesma modalidade de tema, pode-se citar o desenvolvimento de projetos relacionados à melhoria no sistema de energia, estudos na área da telecomunicação e automação.

## Referências Bibliográficas

SILVA, M. E. **Controladores Lógicos Programáveis: Ladder**. Piracicaba: Escola de Engenharia de Piracicaba, 2007.

RIBEIRO, M. A. **Automação Industrial**. 4. Ed. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria Ltda. Salvador, 2001.

BRANDI, S. R. **Elementos de Sinalização Ferroviária**. Ver. 1.1. MRS Logística S.A. Juiz de Fora, 2007.

GE TRANSPORTATIONS SYSTEM. **ElectroLogIXS VLC, EC5 & XP4 Positive Train Control**: Quick Guide. 2010, 34p.

GE TRANSPORTATIONS SYSTEM. **Telecomunicações e Sinalização: Equipamento de detecção de trilhos de trens e trilhos partidos**. Tradução de CVRD; smz. 2007, 311p.

SAMPAIO, Eloíz. **Controle de Trens Baseado em Comunicação – CBTC**. MRS Logística S.A. Juiz de Fora, 2018.

CARVALHO, A. L.; RUFATO, R. S. **Aspectos Básicos do Sistema de Auxiliar de Energia – SAE**. Ver. 1.1. MRS Logística S.A. Juiz de Fora.

CARVALHO, A. E.; ARAUJO, P. C. **Noções básicas de sistema de posicionamento global GPS**. Universidade Federal da Paraíba. Paraíba, 2009. Disponível em: [http://www.ead.uepb.edu.br/arquivos/cursos/Geografia\\_PAR\\_UAB/Fasciculos%20-%20Material/Leituras\\_Cartograficas\\_II/Le\\_Ca\\_II\\_A08\\_MZ\\_GR\\_260809.pdf](http://www.ead.uepb.edu.br/arquivos/cursos/Geografia_PAR_UAB/Fasciculos%20-%20Material/Leituras_Cartograficas_II/Le_Ca_II_A08_MZ_GR_260809.pdf). Acesso em 21 de novembro de 2020.

Minimized Headways with Safe Operations for CBTC. **Sphinx Computers**. Disponível em: [https://www.sphinxcomputer.com/zeige\\_reddi\\_pdf.php?produkt\\_id=46](https://www.sphinxcomputer.com/zeige_reddi_pdf.php?produkt_id=46). Acesso em: 6 de agosto de 2020.

Fast Secure Handover on Layer 3 CBTC Networks. **Sphinx Computers**. Disponível em: [https://www.sphinxcomputer.com/zeige\\_reddi\\_pdf.php?produkt\\_id=47](https://www.sphinxcomputer.com/zeige_reddi_pdf.php?produkt_id=47). Acesso em: 7 de agosto de 2020.

RGK 60 Unidade de Comando e Supervisão para Geradores: Manual de Instalação. **Lovato Eletric**. 9 de outubro de 2004. Disponível em: [https://www.lovatoelectric.com/Download/I\\_PORT\\_RGK%2060.pdf](https://www.lovatoelectric.com/Download/I_PORT_RGK%2060.pdf). Acesso em: 25 de julho de 2020.

URP 1439TU. **Pextron**. Disponível em: <https://www.pextron.com/index.php/pt-br/solucoes-01/coluna-3/cabines-primarias-03/urp1439tu-01>. Acesso em: 01 de novembro de 2020.

Grupo Geradores. **Yanmar**. Disponível em: [https://www.yanmar.com/media/news/2019/09/12084345/ytfq\\_ytsg.pdf](https://www.yanmar.com/media/news/2019/09/12084345/ytfq_ytsg.pdf). Acesso em: 01 de novembro de 2020.

GE Grid Solutions: User Guide. **General Electric**. Junho de 2017. Disponível em: <https://www.gegridsolutions.com/products/manuals/f650/gek-113000af.pdf>. Acesso em: 10 de novembro de 2020.

MRS. Conheça o CBTC: *Communications-Based Train Control*. 2015. (8m05s). Disponível em: <https://youtu.be/BsPagFhv694>. Acesso em: 02 jan. 2018.