



*Potenciais Aplicações dos Sistemas de Sinalização Ferroviária e Metroferroviária de passageiros: uma abordagem entre ETCS e CBTC*

**Rodrigo Bonette Klepa**

MBA em Engenharia Ferroviária - Instituto de Pós-Graduação

<http://lattes.cnpq.br/0627343674641232>

klepa17@hotmail.com

**Rogério Bonette Klepa**

Centro Universitário Fundação Santo André - FAENG - Faculdade de Engenharia

<https://orcid.org/0000-0002-6401-5696>

rogerio.klepa@fsa.br

## **Resumo**

O presente artigo buscou realizar uma pesquisa focando as características, vantagens, desvantagens, aplicações e principalmente sinalização e controle das tecnologias ETCS e CBTC em sistemas ferroviários e metroferroviários voltado para passageiros.

**Palavras-chave:** Sinalização Ferroviária. Sinalização Metroferroviária. Ferroviários. Metroferroviários. Passageiros. Vantagens. Desvantagens. ETCS. CBTC. ATC. ATP. ATO.

## **Abstract**

This article sought to conduct research focusing on the characteristics, advantages, disadvantages, applications, and especially signaling and control of ETCS and CBTC technologies in passenger rail and metro rail systems.

**Keywords:** Railway Signaling. Metro Signaling. Railways. Metro. Passengers. Advantages. Disadvantages. ETCS. CBTC. ATC. ATP. ATO.

# 1 Introdução

Devido ao grande aumento populacional e a demanda em grandes centros urbanos ao longo dos anos, almeja-se a necessidade de modernizar os sistemas de controle de trens com o objetivo de otimizar o desempenho, aumentar a capacidade de transporte e garantir principalmente a segurança dos passageiros (Júnior, 2023).

Dados recentes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2021 e Agência Brasil, 2021, apontam que o número de cidades com mais de 500 mil habitantes subiu para 49. Juntas, representam 31,9% da população brasileira, com 68 milhões de pessoas, de um total de 213,3 milhões de brasileiros.

São Paulo com 12,4 milhões de habitantes é o mais populoso do país, Rio de Janeiro conta com 6,8 milhões, Brasília 3,1 milhões, Salvador com 2,9 milhões e Fortaleza com 2,7 milhões. Contabiliza-se as 26 capitais mais o Distrito Federal com 50 milhões de habitantes em 2021, chegando-se a 23,87% da população do país.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2023 a Figura 1 ilustra as dez cidades mais populosas do Brasil em habitantes, e constata-se também que, São Paulo e Rio de Janeiro somadas chegam a 54%.

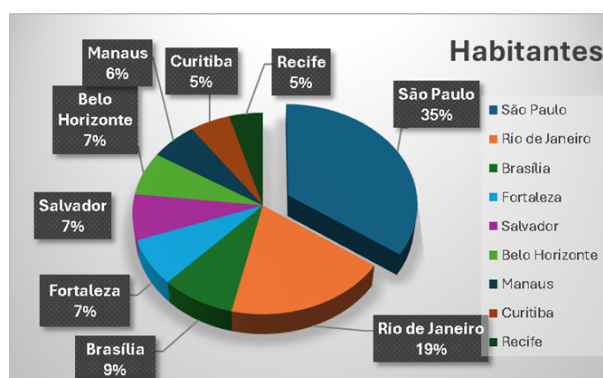


Figura 1: Quantidade de habitantes distribuídos em porcentagem entre as dez capitais mais populosas do Brasil. Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2023

A sinalização ferroviária e metroferroviária desempenha um papel vital para a segurança, eficiência e controle de tráfego nos sistemas de transporte sobre trilhos (Barták e Míček, 2021; Herrmann e Koch, 2019).

Para Fosu, [2021](#) os metrô reduzem o uso de automóveis, limitando os riscos ambientais e à saúde associados às emissões de gases de efeito estufa e melhoram a qualidade de vida nas comunidades urbanas, reduzindo o congestionamento e fornecendo conexões e integrações necessárias de transporte dentro de uma cidade. Estudos empíricos demonstraram um impacto positivo e significativo das linhas ferroviárias no crescimento econômico a longo e curto prazo.

Estevam et al., [2019](#) comentam que a facilidade de deslocamento oferecida à população pela cidade permite seu acesso de forma consistente e está baseado no equilíbrio entre dois fatores: redução de tempo de deslocamento e custo de deslocamento.

O European Train Control System (ETCS) e o Communications-Based Train Control (CBTC) surgem como as principais tecnologias de controle e sinalização para ferrovias e metrô, respectivamente. O ETCS é amplamente adotado em sistemas ferroviários internacionais, promovendo interoperabilidade e segurança, enquanto o CBTC é mais utilizado em sistemas urbanos, oferecendo uma capacidade de tráfego aprimorada.

Segundo Reckziegel, [2023](#), levando-se em consideração a magnitude econômica de um modal logístico ferroviário, com a necessidade de mobilidade diária de milhares de pessoas, qualquer falha neste complexo sistema pode gerar grandes perdas.

Yoon et al., [2022](#) sugere que o sistema Controle de Trem Baseado em Comunicações (CBTC), a distância entre os trens é reduzida em comparação com os sistemas de sinalização convencionais. Isto é, conseguido através da comunicação contínua entre o trem e o centro de controle, permitindo atualizações em tempo real sobre a localização e velocidade do trem. Tal informação é usada para gerenciar com segurança o movimento do trem e manter distâncias ideais entre os trens.

De acordo com o relatório do Metrô de São Paulo, em abril de 2018 a infraestrutura do Metrô Paulista compunha-se de 4 estações de transferência, 6 estações de integração com os trens metropolitanos (CPTM) e 21 estações integrando com os ônibus urbanos. Composta por 1.041 carros, dos quais 729 operavam no horário de pico e com headways que variavam de 118 e 240 segundos, e ainda, a uma velocidade máxima que variava de 80 a 87 Km/h ainda que a sua velocidade comercial variasse de 30 a 36 Km/h.

Portal da transparência do metrô de São Paulo (Metrô de São Paulo, [2022](#)), informa que



em média 2,6 milhões de pessoas utilizaram o metrô de São Paulo por dia em dias úteis. A maior demanda já registrada foi de 4,2 milhões de passageiros em um único dia. Este número foi registrado em 14 de novembro de 2013. E o tempo médio de percurso entre duas estações do sistema é estimado em 2 minutos.

Justifica-se a total gestão da qualidade e padronização em seu sistema de controle de sinalização por conta de um sistema metroferroviário urbano de passageiros que é o sistema metroferroviário metropolitanos de São Paulo com seus 367 Km de extensão de malha ferroviária, 178 estações e transporta um volume de 6.773.972/dia de passageiros, ou seja, anualmente transporta 2.472.500.000 usuários (METROCPTM, 2024a).

O objetivo principal desta pesquisa é discutir as aplicações potenciais dos sistemas ETCS e CBTC, comparando-os com suas vantagens e desvantagens em diferentes contextos de operação ferroviária e metroferroviária.

Através dessas informações, pretende-se realizar uma pesquisa bibliográfica que busque identificar possíveis melhoras em métodos e aplicações, que juntos, possam ser implementados tanto em sinalização ferroviária e metroferroviária de passageiros quanto realizar uma abordagem comparativa entre duas tecnologias de controle ETCS e CBTC demonstrando suas vantagens e desvantagens.

## **2 Fundamentação Teórica**

Deve-se realizar um bom planejamento a partir da fundamentação teórica abordada sobre o tema estudado com análise sobre os aprimoramentos aplicados ao longo dos anos sobre mobilidade urbana de passageiros. O primeiro registro de transporte urbano que se tem notícia, segundo Galhardi et al., 2007, remonta ao século XVII, precisamente em 1662, e foi criado por um dos grandes pensadores da época, Blaise Pascal, que se destacou por produzir trabalhos que se tornaram clássicos, tanto no campo da Matemática, como da Física e da Filosofia.



## **2.1 Mobilidade Urbana no Brasil**

A partir dos anos 60, a população vivia em grande parte em áreas rurais e urbanas. Logo, o desenvolvimento urbano se intensificou, sem planejamento e sem padronização de mobilidade urbana da população brasileira desde o último século XX (IPEA, 2016) minimizando a necessidade de transportes de grandes massas nos centros.

A população que migrou do campo para os centros urbanos promoveu uma inversão do perfil da população no país, passando de maioria rural para uma maioria urbana em 50 anos (ANTP, 2018).

Para Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU), 2022, atualmente 80% da população brasileira reside em áreas urbanas, impondo desafios aos seus gestores: não apenas evitar a inviabilização dos espaços urbanos em breve, mas viabilizar a mobilidade eficiente, sustentável e inclusiva, contribuindo para a boa qualidade de vida da população, sua inserção econômica na vida da cidade, tornando-a mais saudável e menos poluída e, sim permitindo a redução das desigualdades sociais.

Pensando nisso, a qualidade do sistema coletivo urbano tem-se tornado o grande desafio dos prefeitos Brasil afora. A questão gira em torno de como reduzir a participação dos automóveis no transporte das cidades brasileiras ao se prover um transporte público de qualidade e conforto. A intermodalidade, levada a cabo através da implementação de multimodais de transportes de pessoas, como o metroferroviário, surge como peça-chave, estrutural na elaboração e definição destas novas políticas pró mobilidade (Teixeira et al., 2014).

O transporte público no Brasil suporta em torno de 50 milhões de cidadãos, quer seja para o trabalho, estudo ou mesmo outras atividades. Destes, aproximadamente 86% se utilizam de ônibus urbanos nos seus deslocamentos diariamente (Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU), 2022).

## **2.2 Introdução e impacto nas Comunicações e Operações Ferroviárias**

No século XIX surgiu o meio de transporte ferroviário no Brasil com a inauguração da Estrada de Ferro Petrópolis em 1854 que conectava Porto Mauá a Frágoso-RJ, com 14,5 km

de extensão. As ferrovias foram um dos maiores avanços tecnológicos da época e tiveram um papel estruturador em diversas cidades brasileiras, potencializando a expansão territorial e o crescimento de diversas áreas da sociedade, como tecnologia, política, social e cultural (Carvalho e Silveira, 2022). Sobre os trilhos surgiu o progresso e o crescimento para os municípios, sendo incentivada por investidores privados e apoio público, com grande aceitação dos cidadãos (Cruz et al., 2019).

Brenna et al., 2018, relatam papel fundamental das áreas da engenharia elétrica, engenharia mecânica, eletrônica de potência e automação na evolução dos sistemas ferroviários e Tu, 2020 que a área de comunicação também sofreu melhora significativa impactando no desenvolvimento e aprimoramento das tecnologias do mundo moderno e para os sistemas ferroviários.

Dentre as tecnologias de comunicação presentes nos sistemas ferroviários modernos, utilizou-se a comunicação sem fio em larga escala nesses sistemas. Existem três aplicações principais para as comunicações sem fio em sistemas ferroviários. A primeira delas é o controle operacional dos trens através da troca de informações entre eles, as estações e os centros de controle, conforme Figura 2 (a) e (b). A Figura 2 (c) representa a comunicação do trem de passageiros com a internet (Wu et al., 2018).

Para Chaitanya et al., 2019, a comunicação sem fio tem sido a melhor opção na transmissão de dados para prover a melhor operação dos sistemas ferroviários, fazendo a transmissão de dados dos equipamentos da via para o trem, do trem para a via e destes para o centro de controle operacional.

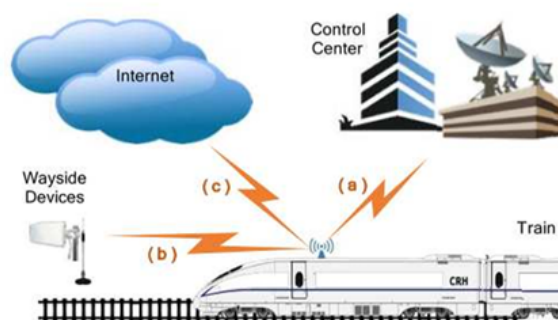


Figura 2: Comunicações sem fio ferroviário a partir do centro de controle (a) e (b) equipamentos de via e (c) comunicação do trem de passageiros com a internet sem fio. Fonte: Wu et al., 2018

A Figura 3 ilustra uma Caixa de Locação que abriga todos os componentes eletrônicos

em campo necessários para a operação da unidade. Estas caixas são instaladas ao longo das vias dentro de túneis, na superfície ou em elevados, ficando sujeitas a vibrações, poeira e todas as alterações climáticas.



Figura 3: Caixa de locação de via férrea. Fonte: Autoria Própria

A Figura 4 representa um sinaleiro ferroviário e metroferroviário que é um dispositivo ou sistema que transmite informações visuais, sonoras ou eletrônicas para controlar e orientar o tráfego de trens, assegurando a segurança e a eficiência das operações sobre trilhos (Garcia et al., 2020). Desempenham um papel crucial para evitar colisões, organizar o fluxo de trens e otimizar o uso das infraestruturas ferroviárias e metroferroviárias. Sua operação está diretamente vinculada à sinalização fixa e aos sistemas automatizados de controle (Santos e Lima, 2019).

Para melhor compreensão, segue a Tabela 1 contendo os principais sistemas de sinalização ferroviária e metroferroviária baseados nas tecnologias mais recentes e essenciais para garantir a segurança e eficiência do transporte sobre os trilhos.

### **2.3 Diferença de funcionamento entre os sistemas de sinalização ATC e CBTC**

As diferenças entre blocos fixos e móveis em sistemas de controle ferroviário, como ATC (Automatic Train Control) e CBTC (Communications-Based Train Control), são essenciais para a eficiência e segurança operacional nas ferrovias.

Os blocos fixos referem-se a seções da via ferroviária com limites definidos. Nos sistemas que usam blocos fixos, os trens não podem ocupar o mesmo bloco simultaneamente. Este método é simples e tradicional, mas pode limitar a eficiência do transporte. Segundo Edwards e

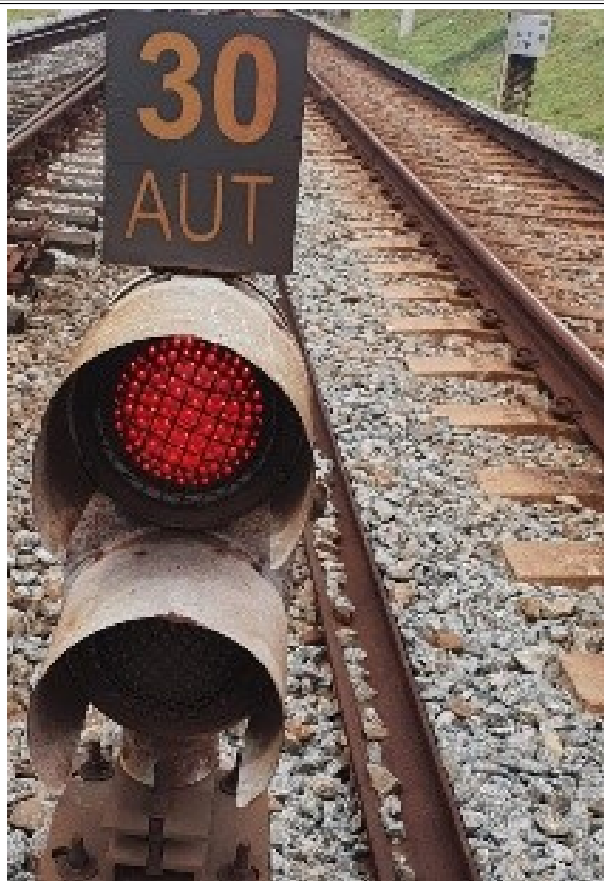


Figura 4: Sinaleiro Ferroviário e metroferroviário. Fonte: Aatoria Própria

Cornwell, 2021, "os sistemas de blocos fixos garantem a segurança ao criar zonas de proteção, mas muitas vezes resultam em capacidade subutilizada devido ao espaçamento necessário entre os trens". A sinalização tradicional é baseada na ocupação física dos blocos, o que significa que, mesmo que um bloco esteja livre, os trens precisam manter distâncias mínimas entre si.

Já os blocos móveis não dependem de seções fixas, mas sim de uma abordagem dinâmica que ajusta o espaço entre os trens em tempo real. Rail Projects Victoria, 2024 relatam e consideram a capacidade fundamental na sinalização ferroviária, seguidas de duas abordagens principais utilizadas: sinalização por blocos fixos; sinalização por blocos móveis. A Figura 5 ilustra essas diferentes abordagens.

A sinalização por blocos fixos divide a via em seções, e os trens não podem entrar em uma seção até que ela esteja desocupada. Já a sinalização por blocos móveis utiliza comunicações entre o trem e o sistema de sinalização para calcular uma distância segura até o próximo trem, permitindo um uso mais eficiente da capacidade da via.

No CBTC, "a comunicação contínua entre os trens e a infraestrutura permite um ge-

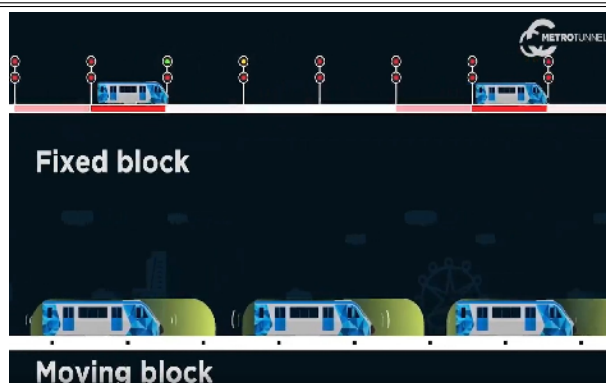


Figura 5: Ilustra as principais diferenças sobre blocos fixos e blocos móveis. Fonte: Rail Projects Victoria, 2024

renciamento dinâmico do espaço de segurança, resultando em maior flexibilidade e capacidade na operação ferroviária” (Sussman, 2014). Com esta tecnologia, os trens podem operar em um espaçamento mais próximo, aumentando a frequência dos serviços e a utilização da linha conforme ilustrado na Figura 6.

A comparação entre blocos fixos e móveis é crucial para entender suas implicações na operação ferroviária. Como observado por Dingler et al., 2010, "adoção de blocos móveis permite não apenas um aumento na frequência dos trens, mas também uma resposta mais rápida a situações de emergência, fazendo do CBTC uma escolha preferencial em ambientes urbanos".

Quanto a eficiência o CBTC utiliza blocos móveis, aumenta a capacidade e reduz o tempo entre as partidas dos trens, enquanto os sistemas de blocos fixos tendem a ter intervalos maiores devido às distâncias de segurança necessárias.

Em relação a segurança ambos os sistemas têm como objetivo principal garantir a segurança dos passageiros, a capacidade de resposta rápida do sistema CBTC em situações imprevistas pode proporcionar uma camada adicional de segurança.

Os sistemas de blocos móveis, como os implementados no CBTC, tendem a ser mais complexos em termos de infraestrutura e manutenção. Segundo Cascetta e Papola, 2019, "a adoção de sistemas de controle baseados em comunicação requer um investimento significativo em tecnologia, mas os benefícios em termos de capacidade e eficiência geralmente compensam esses custos iniciais".

A distinção entre ATC, ATP e ATO em sistemas como o CBTC e o ETCS reflete a complexidade e as especificidades dos sistemas de controle ferroviário, que variam em termos

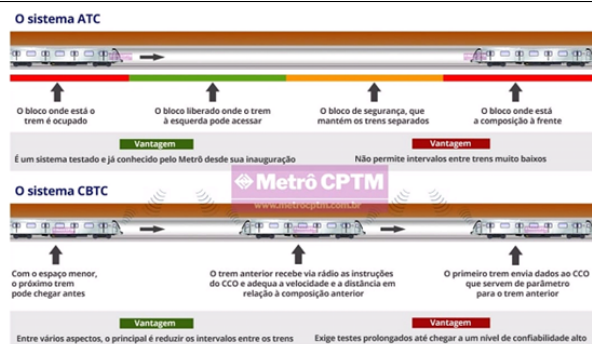


Figura 6: Vantagens entre os sistemas de sinalização ATC e CBTC. Fonte: Metrô São Paulo, 2024

de automação, segurança e interoperabilidade. A compreensão dessas diferenças é crucial para o design e a implementação de sistemas ferroviários modernos, sendo as referências bibliográficas fundamentais para aprofundar o conhecimento sobre essas tecnologias.

O CBTC (Communications-Based Train Control) é um sistema avançado de controle de tráfego ferroviário, que utiliza comunicação em tempo real entre os trens e a infraestrutura ferroviária para garantir uma operação eficiente e segura. No CBTC, o ATC engloba várias funções de supervisão e controle, sendo responsável por assegurar que os trens operem dentro dos limites de segurança, monitorando continuamente sua posição, velocidade e as condições da via.

Para Denton e Pillai, 2019, o ATC no contexto do CBTC é projetado para permitir um alto nível de automação, ajustando dinamicamente a operação do trem em função de dados em tempo real. Isso resulta em um sistema que pode aumentar a eficiência operacional, reduzindo o tempo de espera e maximizando a capacidade da rede ferroviária. O ATP no CBTC é uma extensão do ATC, concentrando-se na proteção do trem. Ele é responsável por garantir que o trem não ultrapasse os limites de velocidade ou entre em zonas de perigo, como sinais vermelhos. A flexibilidade do CBTC permite que o ATP interaja diretamente com o ATO (Automated Train Operation), um sistema que automatiza funções como aceleração, frenagem e o controle de portas.

Esse nível de automação permite operações sem a necessidade de intervenção constante do operador, o que é uma característica central do CBTC. Em sistemas CBTC, o ATO tem um papel proeminente, dado que a comunicação constante e a troca de dados em tempo real entre o

trem e o sistema de controle central são essenciais para garantir a operação fluida e sem erros.

Por outro lado, o ETCS (European Train Control System) tem uma abordagem mais tradicional no que diz respeito ao controle de tráfego ferroviário, com um foco significativo na interoperabilidade entre as redes ferroviárias europeias. Segundo Alvarez, [2022](#), o ETCS integra o ATP como uma função crítica de segurança, utilizando sinais de via (balis) e comunicação com a infraestrutura para controlar a velocidade e garantir a segurança dos trens. No entanto, ao contrário do CBTC, o ETCS não foca tanto na automação do trem através de ATO, mas sim no controle e na proteção via sinalização.

No ETCS, o ATP é implementado de forma robusta, com um sistema baseado em três níveis de operação (Nível 1, 2 e 3). Tais níveis definem a interação entre o trem e a infraestrutura ferroviária, com o ATP monitorando a velocidade do trem com base nos dados fornecidos por esses sistemas. A segurança é garantida principalmente pelo controle de sinais de via, que informam ao operador ou ao sistema a velocidade máxima permitida e outras condições operacionais.

Embora o ETCS possa ser combinado com sistemas de ATO em algumas implementações, especialmente em operações de transporte urbano, a principal função do ETCS permanece em garantir a segurança por meio do ATP. O ATO, que no CBTC tem um papel central na automação da operação do trem, não é uma característica tão prevalente ou avançada no ETCS. A interoperabilidade do ETCS com diferentes sistemas de sinalização e infraestrutura ferroviária é um dos seus pontos fortes, garantindo que os trens possam operar de maneira segura em diversas redes europeias, mesmo sem uma automação tão avançada quanto a oferecida pelo CBTC (European Commission, [2020](#)).

## **2.4 Comparação entre ETCS e CBTC**

Os sistemas ETCS e CBTC são amplamente utilizados em redes ferroviárias e metroferroviárias devido à sua capacidade de aumentar a segurança e a eficiência. O ETCS é um padrão europeu de controle de trens que oferece interoperabilidade entre diferentes sistemas ferroviários. Suas principais vantagens incluem, segundo IEA, [2021](#):



- **Interoperabilidade:** Permite a operação de trens em várias redes europeias sem a necessidade de mudanças no equipamento de bordo.
- **Confiabilidade em longas distâncias:** Ideal para sistemas de transporte de carga e passageiros de alta velocidade.
- **Baixo custo de implementação** em ferrovias existentes.

O CBTC, amplamente utilizado em redes metroferroviárias urbanas, utiliza comunicação baseada em rádio para controle contínuo e dinâmico. Suas vantagens incluem:

- **Alta capacidade:** Permite intervalos reduzidos entre os trens, maximizando o uso da infraestrutura.
- **Flexibilidade:** É mais adequado para ambientes urbanos, onde há alta demanda por transporte rápido e frequente.
- **Menores custos operacionais:** Com menor necessidade de manutenção de infraestrutura física.

Porém, o CBTC apresenta desafios, como a dependência de sistemas de comunicação estáveis e seguros e maior custo inicial de implementação em comparação ao ETCS (ONTL, 2022).

## **2.5 Elementos que Compõem o Sistema de Sinalização Ferroviária ETCS**

O European Train Control System (ETCS) é um sistema de sinalização ferroviária padronizado a nível europeu, projetado para garantir interoperabilidade, segurança e eficiência na operação de trens. Ele faz parte do Sistema Europeu de Gestão do Tráfego Ferroviário (ERTMS) e é composto pelos seguintes elementos principais:

- **Balizas (Eurobalises):** Dispositivos instalados ao longo da via que comunicam informações essenciais, como limites de velocidade e localização, ao trem. São fundamentais para a transmissão de dados ao sistema embarcado e para a execução de ordens pelo maquinista (ERA, 2019).



- **Rádio GSM-R** (Global System for Mobile Communications – Railway): Utilizado para comunicação entre o trem e os centros de controle. Tal sistema assegura a troca contínua de dados sobre a posição do trem e ordens de movimento, garantindo uma operação eficiente e segura (UIC – International Union of Railways, [2020](#)).
- **Equipamento Embarcado**: Inclui o computador de bordo que processa as informações recebidas das balizas e do sistema de rádio, determinando a velocidade máxima permitida e monitorando o cumprimento das regras operacionais (ERA, [2019](#)).
- **Sistema de Controle em Terra**: Envolve dispositivos de monitoramento e controle localizados ao longo da infraestrutura ferroviária. São responsáveis por monitorar as condições da linha, calcular trajetórias seguras e transmitir ordens aos trens (CENELEC, [2021](#)).
- **Sistema de Intertravamento Eletrônico**: Controla e protege os movimentos dos trens em áreas de interseção, garantindo que nenhuma rota conflitante seja autorizada. Integrado ao ETCS para compartilhar informações em tempo real sobre os movimentos programados (UIC – International Union of Railways, [2020](#)).

Para Implementação do ETCS deve-se seguir três níveis:

- **Nível 1**: Usa balizas fixas para transmitir informações ao trem.
- **Nível 2**: Utiliza comunicação contínua por rádio para fornecer dados em tempo real.
- **Nível 3**: Funciona sem circuitos de via, dependendo apenas do posicionamento de trens por GPS e sensores embarcados (CENELEC, [2021](#)).

De acordo com METROCPTM, [2024b](#), espera-se um financiamento do Banco de Desenvolvimento Econômico e Social (BDNS) de R\$ 550 milhões para tirar do papel o projeto sistema ETCS N2 em ambas as linhas para elaborar um estudo de construção de um viaduto entre as estações CEASA (L9) e Imperatriz Leopoldina (L8).

Estima-se uma substituição do sistema de sinalização ATC pelo mais moderno e versátil ETCS N2 (Sistema de Controle de Trens Europeu de Nível 2).

A tecnologia de código aberta foi escolhida para ser implantada em todas as linhas de trens metropolitanos (CPTM) a fim de que os serviços possam ser compartilhados em todas as vias (interoperabilidade).

A Figura 7 ilustra os elementos necessários que compõem o sistema de sinalização ETCS.

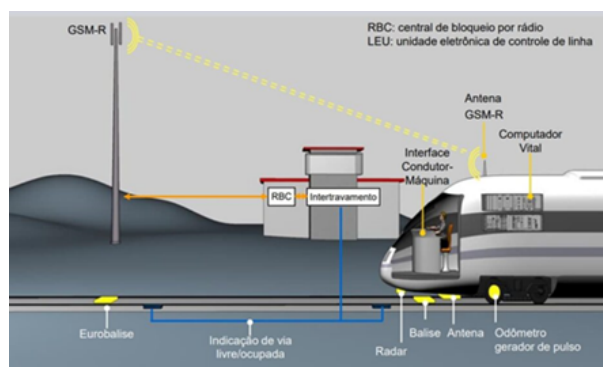


Figura 7: Elementos que compõem o sistema de sinalização ETCS, controle automático de Trem GSMR. Fonte: Metrô São Paulo, 2024

## 2.6 Elementos que Compõem o Sistema de Sinalização Ferroviária CBTC

O Communication-Based Train Control (CBTC) é um sistema de controle ferroviário avançado que utiliza comunicação digital para gerenciar a movimentação de trens, garantindo maior eficiência, capacidade e segurança em linhas de alta densidade, como metrôs. Os elementos principais que compõem o CBTC são:

- Equipamento Embarcado nos Trens: Inclui computadores de bordo e sensores que processam as informações recebidas do sistema de controle central. O equipamento calcula em tempo real a posição exata do trem, permitindo operações automáticas ou supervisionadas (IEEE, 2020).
- Sistema de Comunicação sem Fio: Utiliza redes Wi-Fi industriais ou LTE, é responsável por transmitir dados entre os trens, os centros de controle operacional (CCO) e os equipamentos de via. A comunicação contínua garante a sincronização das informações para evitar colisões e manter intervalos mínimos seguros entre os trens (Wang et al., 2019).



- Balizas ou Marcos de Localização: Instaladas ao longo da via, fornecem referências de posicionamento absoluto para os trens, corrigindo eventuais erros dos sensores embarcados (Siemens, 2021).
- Controlador de Controle Automático de Trens (ATC): O ATC centraliza as informações recebidas dos trens e da infraestrutura para calcular trajetórias, controlar velocidades, gerenciar rotas e garantir a segurança operacional (Thales, 2020).
- Sistema de Intertravamento Eletrônico: Garante a segurança nas áreas de cruzamento e mudança de rota, prevenindo conflitos entre trens e atuando de forma integrada com o sistema CBTC (Wang et al., 2019).
- Centro de Controle Operacional (CCO): É a unidade central que monitora e gerencia as operações em tempo real, otimizando a utilização da capacidade da linha e respondendo rapidamente a incidentes (Siemens, 2021).
- Modos de Operação: O CBTC pode operar em diferentes modos, como manual, semiautomático ou totalmente automático (Unattended Train Operation - UTO), dependendo do nível de automação implementado (IEEE, 2020).

### **3 Metodologia**

Para a elaboração desta pesquisa procurou-se encontrar possíveis potenciais e aplicações dos sistemas de sinalização ferroviária e metroferroviária de passageiros através do qual utilizou-se uma busca com uma metodologia totalmente bibliográfica, através de coleta de dados de artigos nas principais bases de dados Periódicos Capes, Google Scholar, Science Direct, Scielo, entre outros assuntos que envolvem os principais sistemas de sinalização European Train Control System (ETCS) e o Controle de Trem Baseado em Comunicações (CBTC) para passageiros.

Buscou-se aspectos conceituais, funcionais e práticos que caracterizavam as principais vantagens e desvantagens que envolvessem os dois principais sistemas ETCS e o CBTC de controle de sinalização para segurança para os passageiros dos sistemas ferroviário e metroferroviário.

A partir do tema “Potenciais aplicações dos sistemas de sinalização ferroviária e metroferroviária de passageiros: uma abordagem entre ETCS e CBTC”, elaborou-se as palavras-chave a seguir (sinalização, ferroviários, metroferroviários, passageiros. Vantagens, desvantagens) para identificar melhor os artigos relevantes e importantes para tal pesquisa, levando-se em consideração os artigos desenvolvidos nos últimos 5 anos.

Os resultados obtidos indicam a seguinte distribuição de artigos encontrado por palavra-chave: Sinalização: 32 artigos; Ferroviários: 28 artigos; Metroferroviários: 18 artigos; Passageiros: 22 artigos; Vantagens: 15 artigos e Desvantagens: 12 artigos.

Com essas informações, elaborou-se o gráfico de barras ilustrado na Figura 8 para melhor compreensão do assunto abordado.

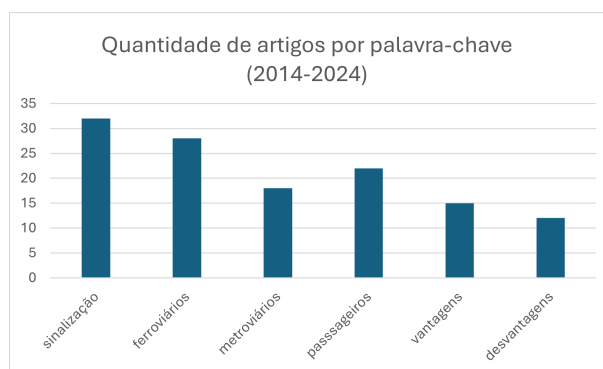


Figura 8: Quantidade de artigos que utilizaram as palavras-chaves em torno do tema de pesquisa abordado nos últimos 10 anos. Fonte: Autoria Própria

Observa-se que, dentre as palavras-chaves utilizadas na pesquisa, a que mais se destacou nos últimos 10 anos foi “sinalização” 32 artigos e representando mais que o dobro em relação a palavra “vantagens” com 15 artigos.

Pode-se afirmar que há uma maior preocupação com o tema de pesquisa, e se dá entorno das 3 palavras-chave sinalização, ferroviários e passageiros que juntas chegam a aproximadamente 64% do total de artigos, podendo-se com isso, indicar uma tendencia futura.

Denota-se também que, a palavra “passageiros” apareceu em terceiro lugar com apresentando um pouco mais do que 2/3 da palavra sinalização, demonstrando, acredito preocupação quanto a qualidade e segurança.

## **4 Resultados e Discussão**

Os resultados pesquisados demonstram as principais diferenças entre os sistemas de sinalização ferroviária European Train Control System (ETCS) e Communications Based Train Control (CBTC), considerando suas vantagens e aplicações em diferentes contextos operacionais. Analisou-se dados de estudos recentes que destacaram a evolução tecnológica e os impactos desses sistemas no transporte ferroviário e metroferroviário de passageiros.

A comparação entre os sistemas ETCS e CBTC evidencia os avanços significativos na sinalização ferroviária e metroferroviária, atendendo a demandas distintas de mobilidade urbana e transporte de longa distância.

### **4.1 Eficiência Operacional e Flexibilidade**

O CBTC destaca-se em ambientes urbanos devido à sua capacidade de operar com blocos móveis, reduzindo significativamente os intervalos entre os trens e maximizando a utilização da infraestrutura (Yoon et al., 2022; Sussman, 2014). Essa tecnologia permite uma comunicação contínua entre trens e centros de controle, garantindo maior segurança e eficiência operacional. Por outro lado, o ETCS, com sua abordagem mais tradicional e interoperabilidade entre diferentes redes ferroviárias, é amplamente utilizado em sistemas de transporte de carga e passageiros de longa distância, proporcionando alta confiabilidade operacional (European Commission, 2020; ERA, 2019).

### **4.2 Segurança e Automação**

Ambos os sistemas priorizam a segurança, embora com enfoques distintos. No ETCS, balizas fixas e comunicação por rádio asseguram que os trens operem dentro dos limites de velocidade e condições da via, prevenindo acidentes e otimizando o controle (UIC – International Union of Railways, 2020). Já o CBTC integra funções como o ATP (Automatic Train Protection) e o ATO (Automatic Train Operation), permitindo maior automação e reduzindo a necessidade de intervenção humana, como observado por Denton e Pillai, 2019.

### **4.3 Custos e Implementação**

O sistema ETCS apresenta custos iniciais relativamente menores para sua implementação em ferrovias já existentes, o CBTC requer investimentos elevados em infraestrutura de comunicação sem fio e sistemas avançados de controle (Cascetta e Papola, 2019). Entretanto, os benefícios a longo prazo, como menor custo operacional e maior capacidade de transporte, tornam o CBTC uma escolha vantajosa para ambientes urbanos densamente povoados (Wang et al., 2019).

### **4.4 Análise Gráfica dos Dados**

Conforme ilustrado no gráfico elaborado, a palavra-chave "sinalização" foi a mais frequentemente utilizada em estudos recentes, representando 32 artigos revisados, seguida por "ferroviários" e "passageiros". Essa distribuição reforça a relevância das tecnologias analisadas em garantir eficiência e segurança no transporte de passageiros.

### **4.5 Vantagens e Aplicabilidade do ETCS**

O ETCS é amplamente utilizado em ferrovias internacionais, com foco na interoperabilidade e segurança. Destaca-se por garantir operações seguras em redes ferroviárias de longa distância, especialmente para transporte de passageiros e carga de alta velocidade (CENELEC, 2021). Estudos indicam que a utilização de balizas fixas e comunicações por rádio melhora a precisão no controle do trem, reduzindo o risco de acidentes (ERA, 2019). Contudo, seu custo elevado de implementação inicial e a dependência de uma infraestrutura robusta são desafios que devem ser considerados (European Commission, 2020).

Gráficos de simulações realizadas em redes ferroviárias mostram que o ETCS é particularmente eficiente em corredores ferroviários densos, promovendo maior estabilidade operacional. Além disso, sua aplicação reduz significativamente os custos de manutenção em longo prazo, conforme destacado por Bento et al., 2023.

## **4.6 Benefícios e Limitações do CBTC**

O CBTC é ideal para redes metroferroviárias urbanas, permitindo intervalos menores entre os trens e aumentando a capacidade operacional das linhas (Denton e Pillai, 2019). Tal sistema utiliza comunicação em tempo real entre os trens e o centro de controle, o que proporciona maior flexibilidade e rapidez na tomada de decisões em situações emergenciais (Wang et al., 2019). Os resultados de simulações em sistemas metroferroviários demonstraram que a redução do espaçamento entre trens aumenta a capacidade em até 30% em relação aos sistemas tradicionais baseados em blocos fixos (Sussman, 2014). Porém, o CBTC requer investimentos iniciais significativos e é altamente dependente da estabilidade das comunicações sem fio (Siemens, 2021).

## **4.7 Análise Comparativa: ETCS versus CBTC**

Comparando-se os sistemas ETCS e CBTC, observa-se que ambos oferecem soluções eficazes para segurança e eficiência no transporte sobre trilhos. Contudo, suas aplicações são direcionadas a contextos distintos: enquanto o ETCS é mais adequado para ferrovias de longa distância, o CBTC é essencial para redes metroferroviárias densas e dinâmicas. De acordo com Cascetta e Papola, 2019, a interoperabilidade oferecida pelo ETCS é um diferencial significativo para operações internacionais. Já o CBTC, devido ao uso de blocos móveis, permite maior frequência de trens, sendo preferível em áreas urbanas com alta demanda. Os dados da pesquisa também indicam que o tempo de retorno do investimento é mais rápido no CBTC em função da melhoria imediata na capacidade e eficiência, enquanto o ETCS requer um horizonte de longo prazo para justificar seus custos iniciais elevados (Brenna et al., 2018).

## **5 Conclusão**

O estudo comparativo entre os sistemas ETCS e CBTC reafirma sua importância estratégica para atender às demandas específicas do transporte ferroviário e metroferroviário de passageiros. O CBTC, com sua maior automação e capacidade de atender alta densidade ur-



bana, surge como a solução ideal para grandes centros urbanos. Em contrapartida, o ETCS é mais aplicável para longas distâncias, com interoperabilidade e confiabilidade como seus principais atributos.

Sugere-se que futuros investimentos devem considerar a combinação das melhores práticas de ambos os sistemas, promovendo soluções híbridas para maximizar segurança e eficiência operacional. Além disso, pesquisas mais detalhadas podem explorar a evolução tecnológica dessas plataformas em resposta às crescentes demandas globais por mobilidade sustentável e eficiente.



## Referências Bibliográficas

Júnior, F. L. d. A. S. (2023). Melhorias na conectividade em sistemas de controle de trens: uma avaliação de algoritmos de handover em ambiente CBTC [76f.].

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2021). Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com referência em 1º de julho de 2021 [Accessed: 2024-11-22]. <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/31458-populacao-estimada-do-pais-chega-a-213-3-milhoes-de-habitantes-em-2021>

Agência Brasil. (2021). Brasil tem 49 municípios com mais de 500 mil habitantes [Acesso em: 14 nov. 2024]. <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-08/brasil-tem-49-municipios-com-mais-de-500-mil-habitantes>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2023). Censo Demográfico 2022: municípios mais populosos do Brasil [Accessed: 2024-11-14]. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html>

Barták, V., & Míček, F. (2021). European Train Control System: Challenges and Opportunities. *Journal of Rail Transport, 14*(3), 187–199.

Herrmann, J., & Koch, M. (2019). Advances in Railway Signaling Systems: Safety and Traffic Control. *International Journal of Rail Transportation, 7*(3), 215–230.

Fosu, P. (2021). Does railway lines investments matter for economic growth? *Economics, 9*(1), 11–24.

Estevam, A. F., Peixoto, F. E., Pinho, F. I. G., Menescal, J. F. d. A., Júnior, P. R. T. C., & Rabelo, P. L. E. (2019). Mobilidade urbana: um modelo integrado dos modais de transporte de passageiros da região metropolitana de Fortaleza (RMF) [Projeto apresentado à Fundação Dom Cabral como requisito parcial para a conclusão do Programa de Especialização em Gestão de Negócios].



Reckziegel, J. (2023). Análise dos índices de confiabilidade e disponibilidade de subestações primárias de modais ferroviários [134 p., versão corrigida].

Yoon, B., Lee, S., Oh, S., Choi, M., Lee, S., & Sung, D. (2022). Enhancement of reliability and availability for LTE-R based train control. *2022 13th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, 2274–2276.

Metrô de São Paulo. (2022). Portal da Transparência: Dados Operacionais – Demanda e Indicadores de Passageiros [Accessed: 2024-11-13]. <https://transparencia.metrosp.com.br>

METROCPTM. (2024a). BNDES pode financiar R\$ 550 milhões para o projeto [Acesso em: 08 dez. 2024]. <https://www.metrocptm.com.br/governo-fara-emprestimo-para-levar-linha-9-esmeralda-no-sentido-da-barra-funda/>

Galhardi, E., Pacini, P., & Neves, I. V. (2007). *Conduzindo o progresso: a história do transporte e os 20 anos da NTU*. Escritório de Histórias.

IPEA. (2016). *Desafios da mobilidade urbana* (rel. técn.) (Acesso em: 14 nov. 2024). [http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td\\_2198.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2198.pdf)

ANTP. (2018). *Construindo hoje o novo amanhã: propostas para o transporte público e a mobilidade urbana sustentável no Brasil* (rel. técn. N. 25) (Acesso em: 15 nov. 2024). ANTP. Brasília. <http://files.antp.org.br/antpnoticias/resumo-executivo-propostas-para-otransporte-publico-17-12-2108-b.pdf>

Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU). (2022). *Anuário NTU 2021-2022: Relatório sobre mobilidade urbana e transporte público* [Accessed: 2024-12-08]. NTU. <https://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub637956588268708311.pdf>

Teixeira, S. M., dos Reis, J. G. M., Santos, R. C., Oliveira, R. V., Vergara, W. H., & Jordan, R. A. (2014). Qualidade do transporte urbano de passageiros: uma avaliação do nível de serviço do sistema do metropolitano de São Paulo. *Revista Metropolitana de Sustentabilidade - RMS*, 4(1), 3–20.



- Carvalho, G. L. L., & Silveira, J. A. R. d. (2022). Trilhando o contexto do patrimônio ferroviário brasileiro: Um panorama sobre situação, memória e gestão. *Revista Científica ANAP Brasil*, 15(36).
- Cruz, C. M. S., Araújo, A. d. S., Cruz, K. A. d., Barreto, J. d. M., Geribello, R. S., & Amarante, M. d. S. (2019). Modais de transporte no Brasil. *Revista Pesquisa e Ação*, 5(2), 1–27.
- Brenna, M., Fioadelli, F., & Zaninelli, D. (2018). *Electrical railway transportation systems*. John Wiley & Sons.
- Tu, H. (2020). Research on the application of cloud computing technology in urban rail transit. *2020 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA)*, 828–831.
- Wu, C., Wang, Y., & Yin, Z. (2018). Realizing railway cognitive radio: A reinforcement base-station multi-agent model. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(4), 1452–1467.
- Chaitanya, K., et al. (2019). Role of Wireless Communications in Railway Systems: A Global Perspective [Accessed: 2024-11-14]. [https://www.researchgate.net/publication/339678495\\_Role\\_of\\_Wireless\\_Communications\\_in\\_Railway\\_Systems\\_A\\_Global\\_Perspective](https://www.researchgate.net/publication/339678495_Role_of_Wireless_Communications_in_Railway_Systems_A_Global_Perspective)
- Garcia, M. A., Ferreira, J. C., & Silva, R. L. (2020). Sistemas de Controle e Sinalização Ferroviária: Uma Abordagem Contemporânea. *Revista Brasileira de Engenharia Ferroviária*, 6(2), 89–101.
- Santos, P. R., & Lima, T. B. (2019). A Evolução dos Sistemas de Sinalização Metroferroviária. *Anais da Conferência Brasileira de Transportes*, 45–53.
- Edwards, K. J., & Cornwell, V. R. (2021). Advances in Railway Control Architecture: Fixed and Moving Block Systems. *International Journal of Rail Transport*, 9(2), 85–99.



Rail Projects Victoria. (2024). How-advanced-railway-signalling-and-activity [Acesso em: 13 dez. 2024]. [https://www.linkedin.com/posts/aaloui\\_this-is-how-advanced-railway-signalling-and-activity-7272873969022607361](https://www.linkedin.com/posts/aaloui_this-is-how-advanced-railway-signalling-and-activity-7272873969022607361)

Sussman, J. M. (2014). *Railway Management and Engineering*. CRC Press.

Dingler, M. H., et al. (2010). *Effects of Communications-Based Train Control and moving-block operation on line capacity and operations* (rel. técn.) (Accessed: 2024-12-13). RailTEC / University of Illinois. <https://railtec.illinois.edu/wp/wp-content/uploads/2019/01/Dingler%20et%20al%202010.pdf>

Cascetta, E., & Papola, A. (2019). Adoção de sistemas de controle baseados em comunicação. *International Journal of Transport Systems*, 12(3), 348–359.

Metrô São Paulo. (2024). Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô [Acesso em: 13 nov. 2024]. <http://www.metro.sp.gov.br/index.aspx?versaoCompleta=1>

Denton, T., & Pillai, P. (2019). *CBTC: Communications-based Train Control Systems*. CRC Press.

Alvarez, A. (2022). *Railway Signaling and Control Systems*. Springer.

European Commission. (2020). European Train Control System (ETCS) – Overview and Implementation.

IEA. (2021). *The Future of Rail – Analysis*.

ONTL. (2022). *Transição Energética no Setor de Transportes*.

ERA. (2019). *ETCS System Description*.

UIC – International Union of Railways. (2020). *ERTMS: Towards a Single European Railway Area*. UIC.

CENELEC. (2021). *Standards for ETCS Implementation*.



METROCPTM. (2024b). 20 anos para concluir contrato do CBTC do Metrô [Acesso em: 08 dez. 2024]. <https://www.metrocptm.com.br/alstom-vai-levar-quase-20-anos-para-concluir-contrato-do-cbtc-do-metro/>

IEEE. (2020). Communication-Based Train Control (CBTC): Technical Overview and Best Practices. *IEEE Transactions on Transportation Systems*, 12(4), 89–102.

Wang, L., Zhang, Y., & Li, H. (2019). A Survey on the Communication Technologies of CBTC Systems. *Transportation Research Part C*, 101, 286–306.

Siemens. (2021). *Advanced Train Control Systems: CBTC Solutions* (White Paper). Siemens Mobility.

Thales. (2020). *CBTC and the Evolution of Urban Rail Control Systems* (rel. técn.). Thales Group.

Bento, T. F., Maria, M. B., & Ferreira, A. F. (2023). Sistema de Sinalização Ferroviária: Circuito de Via [Acesso em: 22 nov. 2024]. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 9(8), 1054–1069. <https://doi.org/10.51891/rease.v9i8.10913>

Tabela 1: Principais sistemas de sinalização ferroviária e metroferroviária mais recentes de passageiros.

<b>Sistema de Sinalização</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referências</b>
CBTC (Communication-Based Train Control)	Sistema automatizado que permite maior frequência de trens ao calcular em tempo real o posicionamento de cada trem.	Bento, T. F.; Maria, M. B.; Ferreira, A. F. (2023). Revista Ibero-Americana de Humanidades.
ETCS (European Train Control System)	Sistema de controle automático que melhora a segurança e a eficiência com interoperabilidade entre redes ferroviárias.	Infraestruturas de Portugal (2023). Reforço da segurança ferroviária na Linha do Minho.
Intertravamento Eletrônico	Substitui sistemas mecânicos, controlando remotamente as agulhas e sinais para maior eficiência.	Siemens Mobility. Modernização das linhas 8 e 9 da CPTM. Revista Ferroviária (2022).
Proteção de Passagens em Nível (PN)	Utiliza sensores e sinais LED, muitas vezes com energia solar, para reduzir acidentes em cruzamentos ferroviários.	Electrans. Inovações na NT Expo 2023. Digital Intermodal (2023).
Circuitos de Via Modernos	Detectam a presença de trens em seções específicas, utilizando pulsos elétricos inovadores para maior confiabilidade.	Bento, T. F.; Maria, M. B.; Ferreira, A. F. (2023). Revista Ibero-Americana de Humanidades.

Fonte: Adaptado de IBGE (2022).