



AEAMESP



# CBTC NO MUNDO E SUA IMPLEMENTAÇÃO NO METRÔ DE SÃO PAULO

Fábio Siqueira Netto



AEAMESP



**20ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

**PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

**FÁBIO SIQUEIRA NETTO**

**CBTC no Mundo e sua Implementação no Metrô de São Paulo**

São Paulo

2014



## Sumário

<b>Assunto</b>	<b>Página</b>
1. Introdução	3
2. Diagnóstico	5
2.1    Sistemas de Missão Crítica	5
2.2    Sistemas de Missão Crítica no Setor Metroferroviário	8
2.3    Processo de Testes e Validação de Software	9
2.4    Validação e Testes em Sistemas de Missão Crítica	13
3. Análise dos Resultados	17
4. Conclusões Preliminares	18
Referências	19
Documentos	21
Currículo Vitae	22

## Capítulo 1

### Introdução

A crescente demanda de usuários de transporte público obriga que os sistemas atuais de Sinalização, utilizados em modais sobre trilhos, apresentem ofertas de serviço cada vez maiores, mas sempre acompanhadas de alta disponibilidade e recursos operacionais diferenciados. Um dos sistemas de Sinalização que tenta preencher essa lacuna é o CBTC (*Communication Based Train Control*), o qual incorpora novas tecnologias que buscam menores intervalos entre trens, o chamado *headway*, e agregam valor para a operação e para a manutenção das linhas metroferroviárias.

Existe, no mundo, uma série de metrô e ferrovias com o CBTC em operação, mas ainda restam algumas incertezas a seu respeito, como, por exemplo, se ele é realmente capaz de atender os requisitos de disponibilidade ou como será tratada a obsolescência dos seus componentes. Em decorrência destas questões abertas, operadoras de metroferrovias têm trocado experiências entre si, procurando acumular conhecimento e ajudar na evolução do CBTC, que tem potencial para ser, de fato, um sistema de Sinalização que atenderá todas as demandas futuras.

A partir desse cenário, este trabalho tem como objetivos apresentar um breve histórico do sistema CBTC, a sua evolução e o seu estado atual, baseando-se em pesquisas e na troca de experiências com outros Metrô do Mundo. Pretende mostrar, também, como o CBTC está sendo implantado no Metrô de São Paulo, destacando o planejamento e as

estratégias adotadas para compatibilizar as atividades do CBTC com as demais de operação e de manutenção.

Para atingir tal objetivo, o conteúdo deste trabalho está distribuído em cinco capítulos. No Capítulo 1, é apresentada uma introdução que visa contextualizar a motivação e a estrutura do trabalho. No Capítulo 2 é apresentado o diagnóstico do problema tratado, explorando conceitos de Sistemas de Missão Crítica e a sua evolução e algumas áreas de atuação, mostrando a relação entre as rotinas de testes e validações e como são aplicadas aos sistemas de missão crítica. No capítulo 3 é apresentada uma breve análise, em forma de relatório, que compila o entendimento acerca do problema apresentado.

Por fim, o Capítulo 4 apresenta as conclusões preliminares obtidas neste trabalho, assim como uma série de possíveis pesquisas futuras que podem completar a discussão proposta aqui.

## Capítulo 2

### Diagnóstico

O CBTC é um sistema é normatizado pelo IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) pelo padrão 1474 que o define como (ref IEEE):

*“Sistema automático contínuo de controle de trens de alta precisão utilizando a determinação da localização do trem, independente dos circuitos de via, de alta capacidade, com comunicações bidirecionais contínuas de*

*dados entre o trem e controladores da via, capazes de implementar as funções de: Automatic Train Protection (ATP) ; Automatic Train Supervisor (ATS) e; opcionalmente as funções de Automatic Train Operation (ATO).”*

A sua primeira versão surgiu em meados da década de 1980, quando a Alcatel, atual Thales, e a Bombardier desenvolveram para o Canadá o TBTC (*Transmission-Based Train Control*), uma alternativa aos sistemas convencionais de Sinalização baseados em circuito de vias. Porém, a comunicação por radiofrequência analógica impôs restrições ao seu uso em grande escala, mas no início dos anos 1990 surgiu o rádio digital, o qual incentivou o desenvolvimento de novas tecnologias de controle, entre elas o melhoramento do TBTC, que passou a ser chamado de CBTC ([ref wikipedia](#)).

Desde então, vários fornecedores desenvolveram as suas tecnologias de CBTC e as colocaram em operação em diversos metrô e ferrovias do mundo, como é mostrado na Figura 1 que apresenta a situação do CBTC no ano de 2012.



**Figura 1:** Projetos de CBTC no Mundo.

**Fonte:** Busiest Subways. Matt Rosenberg for About.com, Part of the New York Times Company. Accessed July 2012

Esses projetos representaram mais do que uma evolução tecnológica, eles impuseram às operadoras mudanças radicais em seus paradigmas operacionais, pois novos sistemas exigem diferentes culturas de operação e de manutenção. A transformação é grande e demanda tempo para acontecer.

Tal cenário se torna ainda mais crítico quando a implementação do CBTC é feita em uma linha operacional que possui alto carregamento, como é o caso do Metrô de São Paulo. Neste cenário, se intensificam as necessidades de planejamento e de estratégias que compatibilizem as atividades de implementação do CBTC com as de operação e de manutenção, assim como o estabelecimento de um programa que defina um novo paradigma operacional.

Outro fator crítico de sucesso em projetos do CBTC é a criação da figura de Integrador Geral, que tem a responsabilidade de conduzir a implementação do novo sistema. Porém, esse Integrador Geral precisa estar munido de requisitos que o permitam realizar o seu trabalho, tais como ter respaldo da alta administração e possuir uma equipe de especialistas em operação e em manutenção.

## 2.1 Sistemas de Sinalização

O CBTC representa uma evolução alternativa à tecnologia de Sinalização chamada de Controle de Trens por Circuitos de Via (Track Circuits).

Esse sistema utiliza o conceito da indução eletromagnética, a partir do qual os sistemas de sinalização baseados em bloco fixo estabelecem locais pré-determinados ao longo da via nos quais são inseridos anéis formados por condutores. Tais anéis são antenas que, através dessa indução eletromagnética, transmitem impulsos elétricos nos trilhos.

Esse método de transmissão de sinais elétricos é possível porque a antena encontra-se próxima à alma do trilho, que também é um condutor elétrico, permitindo que exista uma diferença de potencial entre ambos e, conseqüentemente, ao circular uma corrente elétrica pela antena, ocorre uma indução nos elétrons livres do trilho, surgindo, assim, uma corrente elétrica nele.

A detecção da presença de um trem em um determinado bloco desse sistema é obtida por meio de sensores acoplados mecanicamente ao trilho. Esses receptores são sintonizados na frequência do sinal transmitido pelas antenas anteriormente descritas e, desta forma, captam os sinais emitidos por elas. Porém, na presença de um trem sobre um bloco qualquer, o eixo das rodas de um carro impede a circulação da corrente elétrica que flui pelos trilhos, pois estabelece um curto-circuito entre trilhos que impede o recebimento do sinal pelo sensor. A Figura 2.1 mostra um esquema simplificado dessa arquitetura.

(a)

(b)



Figura 2.1 – Circuito de via sinalizado por bloco fixo: (a) Circuito desocupado, sinal do transmissor chega até o receptor; (b) Circuito ocupado, o eixo das rodas do trem interrompe o fluxo de corrente, impedindo que chegue ao receptor.

As antenas transmissoras e os sensores de recepção estão conectados aos equipamentos de multiplexação, os quais têm a função de detectar, em tempo real, o momento em que um sinal transmitido não foi recebido pelo seu respectivo sensor. A partir deste contexto, o sistema de sinalização pode definir o estado atual do bloco, conforme descrito a seguir:

Detecção da ausência de um trem: o sensor capta a corrente nos trilhos induzida pela antena anterior e os envia de volta ao sistema de multiplexação, o qual efetua uma comparação dos dados enviados com os recebidos. Havendo uma coincidência dos dois, estará indicada a desocupação do circuito de via em questão;

Detecção da presença de um trem: neste caso, o sensor deixa de captar os sinais, pois eles são curto circuitados pelo eixo do carro. Desta forma, o sistema de multiplexação detecta que não há coincidência entre o que foi transmitido e o que foi recebido, definindo que o circuito de via encontra-se ocupado.

Esse sistema tem sido comprovadamente seguro, porém não tem conseguido atender a demanda em sistemas metroviários de alto carregamento. O Metrô de São Paulo é um exemplo desta situação, pois necessita aumentar a quantidade de trens em suas linhas, mas as limitações da tecnologia de bloco fixo impossibilitam tal incremento.

Em decorrência dessa limitação, outros sistemas de sinalização foram desenvolvidos, dentre eles o Controle de Trens Baseado em Comunicação (CBTC - Communication Based Train Control). Neste novo conceito, as composições passam a transmitir e a receber sinais através de radiofrequência, possibilitando o controle constante do posicionamento dos trens independentemente de onde eles estejam na via, ou seja, não existe mais o conceito do bloco fixo. A Figura 2.2 apresenta um esquema simplificado da comunicação entre trens por meio do CBTC.

Figura 2.2 – Comunicação entre dois trens através de radiofrequência no sistema CBTC.

Em consequência desse salto tecnológico, perde-se o monitoramento da via permanente com relação ao rompimento dos trilhos. Em virtude disto, nas sessões seguintes deste capítulo são discutidas as propriedades da via permanente e algumas ferramentas alternativas para a detecção de trilhos partidos.



AEAMESP



## Capítulo 3

### Análise dos Resultados



AEAMESP



## Capítulo 4

### Conclusões Preliminares

## Referências

- [Alves,, 2011] ALVES, M. C. B. . *V&V of the Brazilian Satellite Launcher Control System. Practical UML based Specification, Validation, and Verification of Mission Critical Software*. 1ª edição. Indianapolis: Dog Ear Publishing, 2011, v. , p. 130-141.
- [Bloom, 2009] HAHN, G. & SHAPIRO, S. *Reliability Centered Maintenance: implementation made simple*. Nova Iorque: Mcgraw Hill, 2009.
- [IEEE, 2005] Institute of Electrical and E. Engineers. *IEEE 1012-2004 - iee standard for software verification and validation*. IEEE.2005, pp. 0–110, revisão da IEEE Std 1012, 1998.
- [Parnas et al, 1990] PARNAS, D.L., SCHOUWEN, A. J. V., KWAN, S. P. *Evaluation of safety-critical software*. Communications of the ACM, 33(6):636–648, 1990.
- [Pressman, 2006] PRESSMAN, R. S. *Engenharia de Software*. 6ª Edição. São Paulo: Mcgraw Hill, 2004.



- [Rocha et al, 2006] ROCHA, A. R. C., MALDONADO, VJ. C., WEBER, K. C. *Qualidade de Software: Teoria e Prática*. São Paulo: Prentice Hall, 2001.
- [Smith et al, 2000] SMITH, D.T.; DELONG, T.A.; JOHNSON, B.W.; GIRAS, T.C.. *High Assurance Systems Engineering, 2000, Fifth IEEE International Symposim on. HASE 2000.* , p. 17-24.
- [Tanenbaum, 2004] TANENBAUM, A. S. *Sistemas Operacionais Modernos*. 2ª Edição. São Paulo: Pearson, 2004.