

Critérios de Seleção de Sistemas CBTC

- ▶ Estudo das diferentes arquiteturas CBTC e seus prós e contras

Rubens Navas Borloni

*Companhia do Metropolitano de São Paulo –
Coordenador do Sistema de Sinalização do Monotrilho*

George Eduardo Gomes de Faria

*GE Transportation – Intelligent Transportation Solutions –
Gerente de Marketing de Soluções para a América Latina*

Introdução:

- Os sistemas CBTC, são normalizados pelas normas IEEE 1474.1–2004, IEEE 1474.2–2003, IEEE 1474.3–2008, IEC/EN 62290–1:2006 Parte 1 e IEC/EN 62290–2:2011 Parte 2.
- Apesar de normalizados, estes não são nem interoperáveis, nem intercambiáveis, atrelando as operadoras a um só fornecedor.
- Interoperabilidade: habilidade de dois, ou mais, sistemas de transportes operarem de forma efetiva e eficiente, de acordo com padrões operacionais definidos pelo prestador do serviço. (MULLEY.C; NELSON.J. Interoperability and transport policy: the impediments to interoperability in the organisation of trans-European transports systems. Journal of transport geography 7, pages 93–104, 1999).
- Intercambialidade: quando componentes de um sistema podem ser substituídos por outros com garantia de conexões, de padrões dimensionais, de funcionalidade e de desempenho.
- Este trabalho apresenta critérios comparativos e os aplica numa comparação de diferentes arquiteturas de sistemas CBTC.

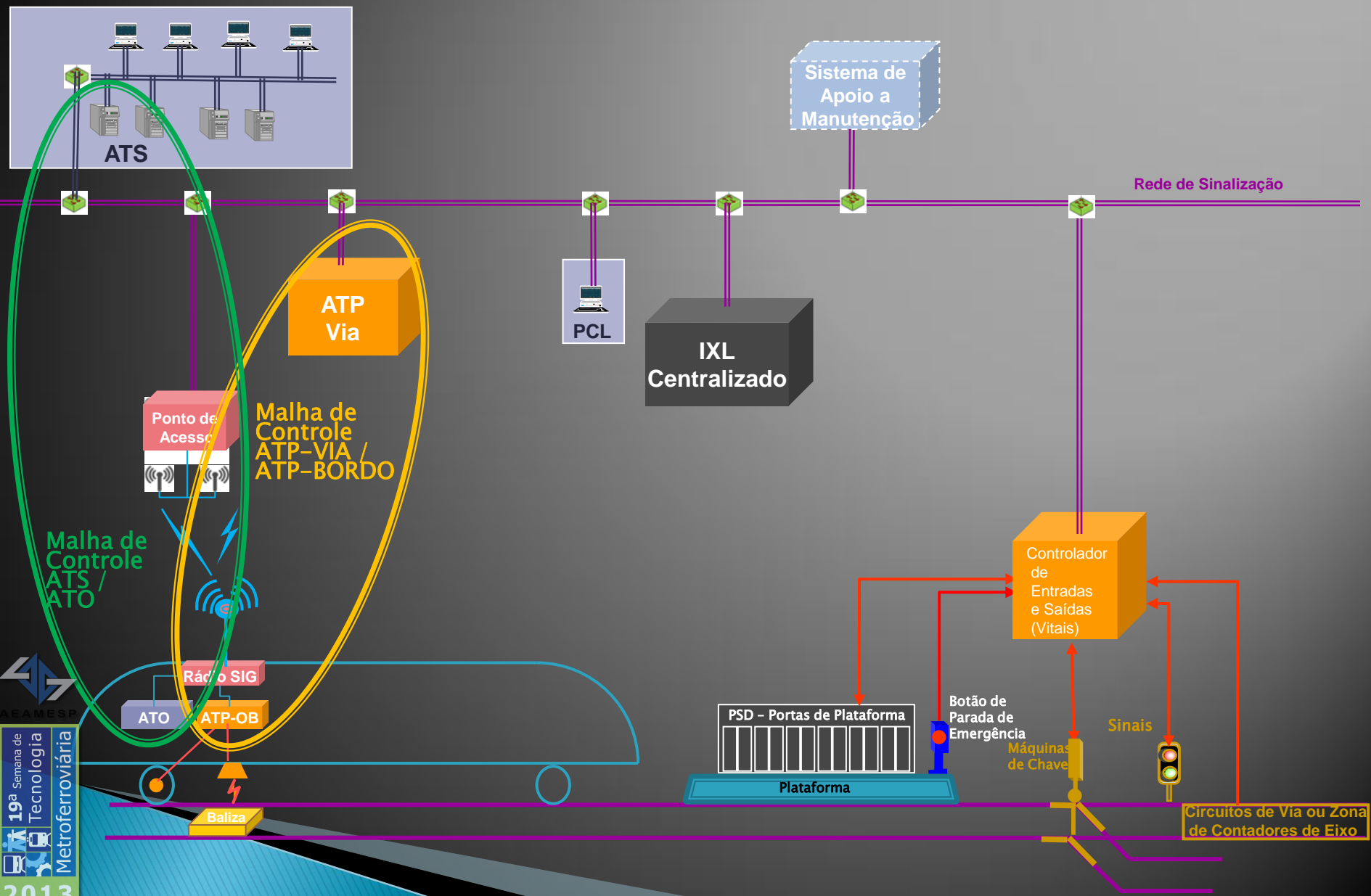


AEAMESP

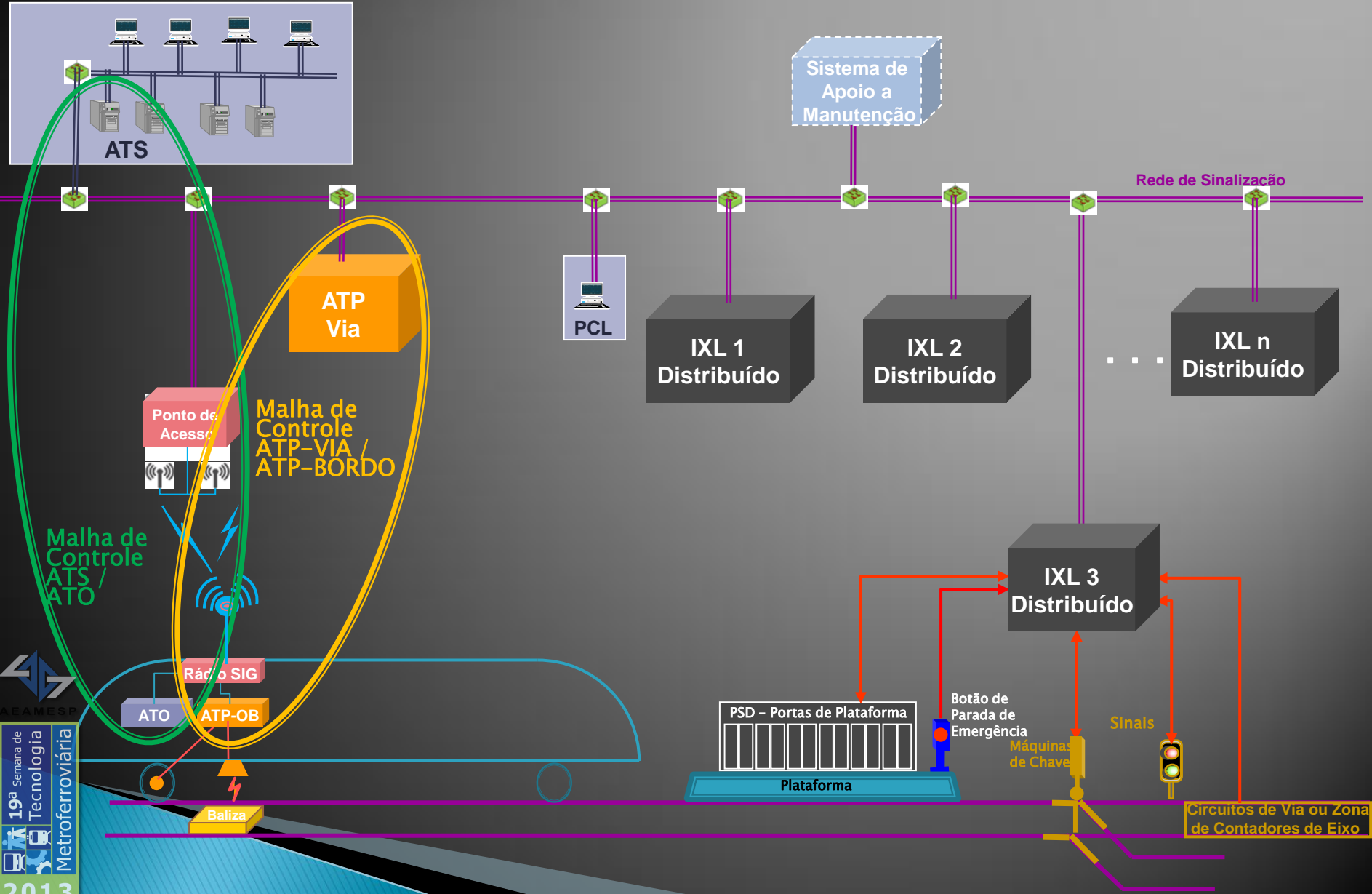


▶ Arquiteturas de Sistemas CBTC

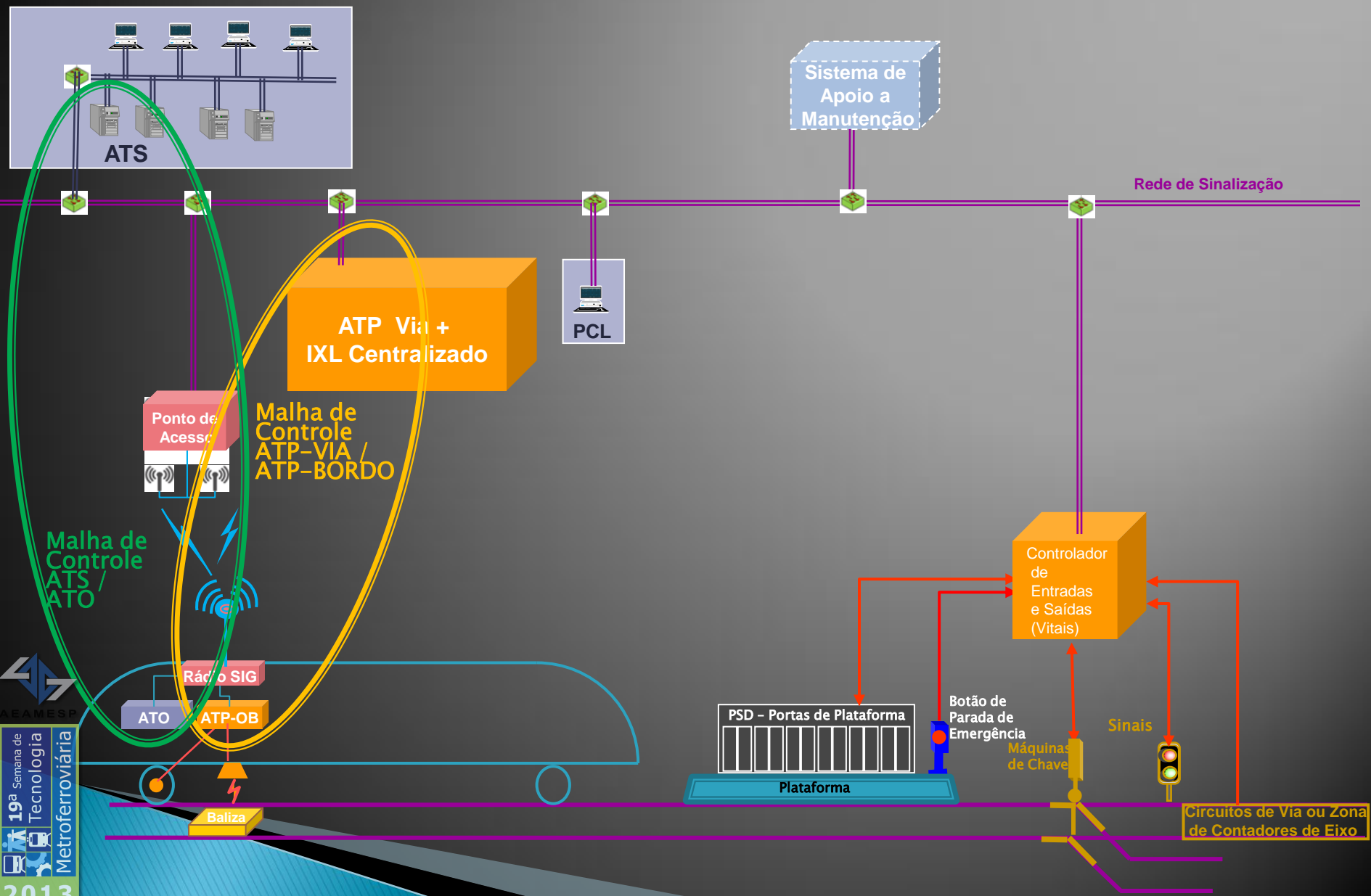
Arquitetura CBTC # 1* * Redundâncias não representadas



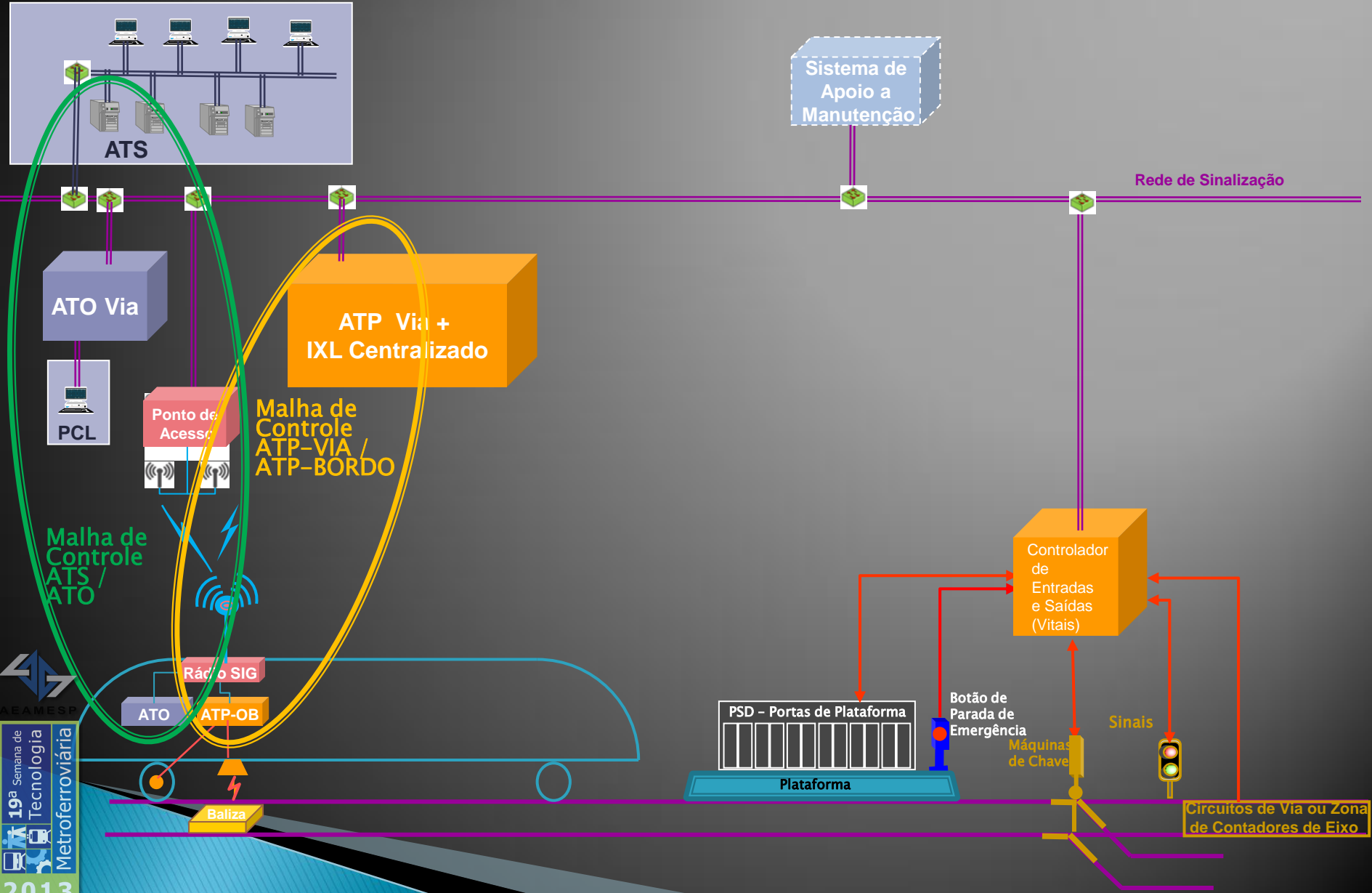
Arquitetura CBTC # 2* * Redundâncias não representadas



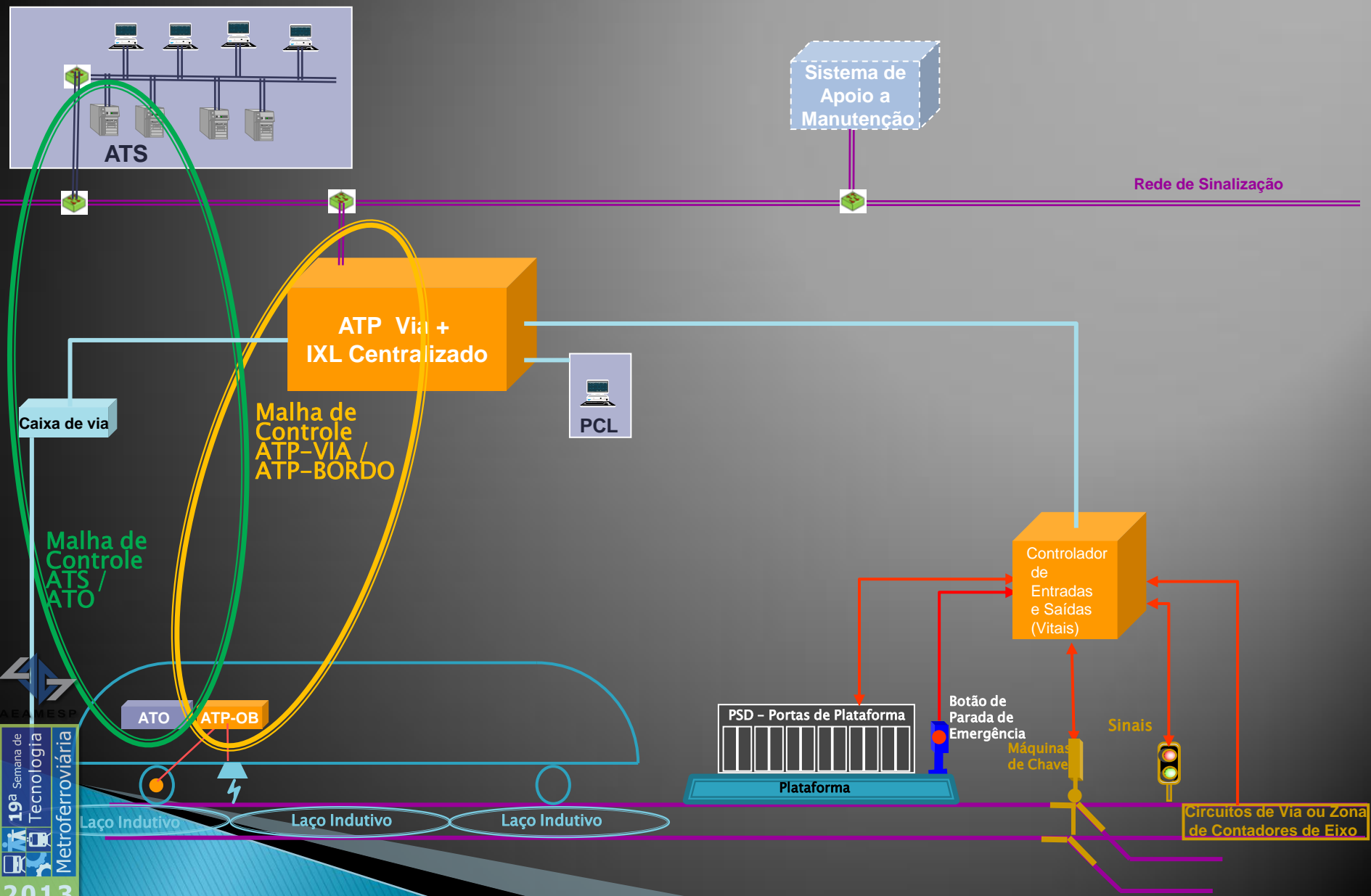
Arquitetura CBTC # 3* * Redundâncias não representadas



Arquitetura CBTC # 4* * Redundâncias não representadas



Arquitetura CBTC # 5* * Redundâncias não representadas



▶ Critérios Comparativos

1. Alta capacidade de Transmissão do Rádio Terra Trem

- Soluções com baixa capacidade de transmissão (ex. laços indutivos) resultam numa distribuição de processamento carregada no ATC de Via e leve no ATC de Bordo (critérios 2 e 3).
- Soluções com rádios de tecnologia superior possibilitam uma melhor distribuição de processamento entre os ATC de Via e de Bordo.
- Sua tecnologia deve ser atual, sendo recomendado o atendimento as normas IEEE 802.11a/b/g/n ou LTE.

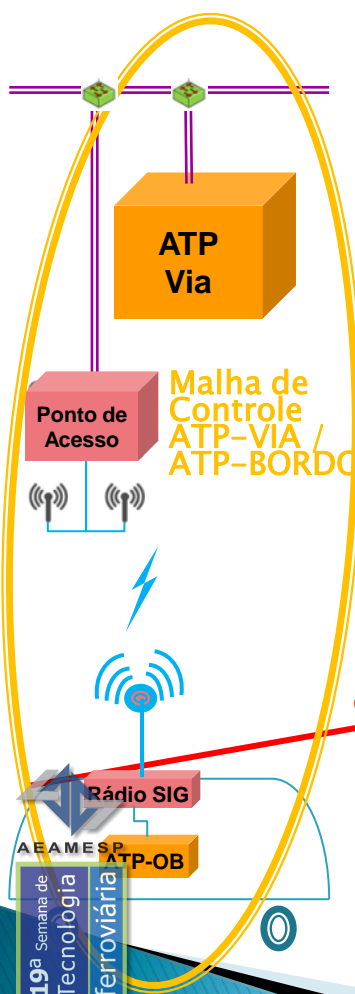


2. Distribuição de Inteligência entre o ATP de Via e o ATP de Bordo

ATP de Via inteligente
ATP de Bordo simples
Perfeito para
comunicação Terra-Trem
com baixa capacidade de
transmissão
Ex.: Arquitetura # 5.

Metade da inteligência
no ATP de Via
Metade da inteligência no
ATP de Bordo
Ex.: Arquiteturas # 1, 3 e
4

ATP de Via simples
ATP de Bordo inteligente
Ex.: Arquitetura # 2



ATP de Via

- Determinação da localização de Trem
- Determinação de envelopes de Proteção
- Determinação da autorização de Movimento (ponto a proteger)
- Determinação da Curva de Velocidade

ATP de Bordo

- Imposição da Curva de Velocidade ao Material Rodante

ATP de Via

- Determinação da localização de Trem
- Determinação de envelopes de Proteção
- Determinação da autorização de Movimento (ponto a proteger)

ATP de Bordo

- Determinação da Curva de Velocidade
- Imposição da Curva de Velocidade ao Material Rodante

ATP de Via

- Determinação da localização de Trem
- Determinação de envelopes de Proteção

ATP de Bordo

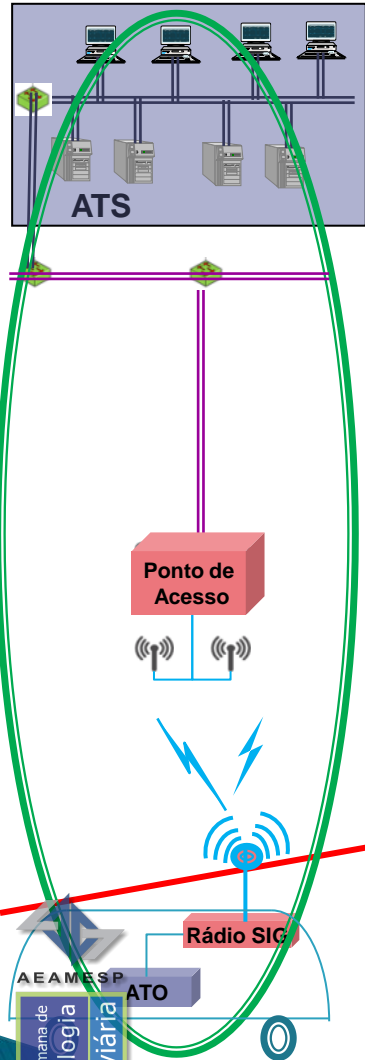
- Determinação da autorização de Movimento (ponto a proteger)
- Determinação da Curva de Velocidade
- Imposição da Curva de Velocidade ao Material Rodante

Corte de inteligência (distribuição de processamento entre equipamentos de via e bordo)

Mais inteligência a Via

Mais inteligência a bordo

3. Distribuição de Inteligência entre o ATS e o ATO de Bordo



Ordens de regulação gerenciadas pelo ATS. Ato de bordo somente executa ordens simples (trem retém, partida): Perfeito para comunicação Terra-Trem com baixa capacidade de transmissão
Ex.: Arquitetura # 5.

Ordens de regulação gerenciadas metade pelo, ATS, metade pelo ATO de Bordo
Ex.: Arquiteturas # 2 e 3.

Ordens de regulação e ordens de economia de energia gerenciadas metade pelo, ATS, metade pelo ATO de Bordo
Ex.: Arquitetura # 1.

ATS
Gerencia toda a execução das ordens de regulação: Gerenciamento do tempo de parada e do perfil de corrida interestações (aceleração, deriva, desaceleração).

ATS
Gerencia parcialmente as ordens de regulação: Envia ao ATO de Bordo ordens de regulação de alto nível.

ATS
Gerencia parcialmente as ordens de regulação: Envia ao ATO de Bordo ordens de regulação de alto nível. Transmite ao ATO de bordo ordens de Economia de Energia Elétrica.

Corte de inteligência (distribuição de processamento entre ATS e ATO de Bordo)

ATO de Bordo
Somente executa ordens simples recebidas do ATS: retém trem na plataforma, partida da estação. Ir rápido, ir normal, ir devagar.

ATO de Bordo
Recebe o Tempo de Parada e executa contagem regressiva. Quando o tempo expira, dá a si mesmo a ordem de partida. Recebe o tipo de curva de desempenho interestação e a executa.

ATO de Bordo
Recebe o Tempo de Parada e executa contagem regressiva. Quando o tempo expira, dá a si mesmo a ordem de partida. Recebe o tipo de curva de desempenho interestação e a executa. Escolhe o perfil de corrida interestação baseado na ordem de regulação e na ordem de economia de energia.

Mais inteligência a Via

Mais inteligência a bordo

4. Baixo Acoplamento entre Rádio Terra trem e Sinalização

CBTC = Communication-Based Train Control System

Communication-Based:

Da indústria de Telecomunicações:

Indústria inovadora com ciclos de vida de seus produtos muito curtos, tipicamente menores do que 10 anos e ficando cada vez mais curtos devido a evolução constante desta indústria.

Train Control:

Da indústria de Sinalização:

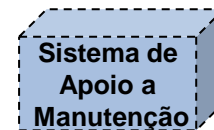
Indústria conservadora com ciclo de vida de seus produtos muito longo, tipicamente 30 anos.

Preocupações de segurança fazem esta indústria ser e permanecer conservadora.

Quanto menor o acoplamento (menor dependabilidade) entre o rádio de sinalização e o Sistema de Controle de Trens, mais liberdade terá a Operadora em renovar seus equipamentos de telecomunicação, sem interferir nos equipamentos de Sinalização.

5. Nível de Diagnósticos dos Equipamentos CBTC

- Recursos de diagnósticos e auto diagnósticos nos equipamentos que compõem o CBTC são de suma importância para o suporte necessário ao nível de automação dos Sistemas de Sinalização e Controle – UTO.
- A implementação da comunicação via rádio entre o ATC de via e o ATC de bordo disponibiliza com esta tecnologia todo o monitoramento da “saúde” dos equipamentos (inclusive de bordo) e do próprio canal de comunicação.
- Para a filosofia UTO é importante a monitoração da saúde dos sistemas críticos do trem, permitindo a detecção prévia de problemas e a reação aos diagnósticos, maximizando a disponibilidade operacional do sistema.



6. Degradação Suave

- Existência da detecção secundária ou não (substituída por procedimentos operacionais): Definição dos recursos do CBTC que estarão disponibilizados quando da ocorrência de uma degradação.

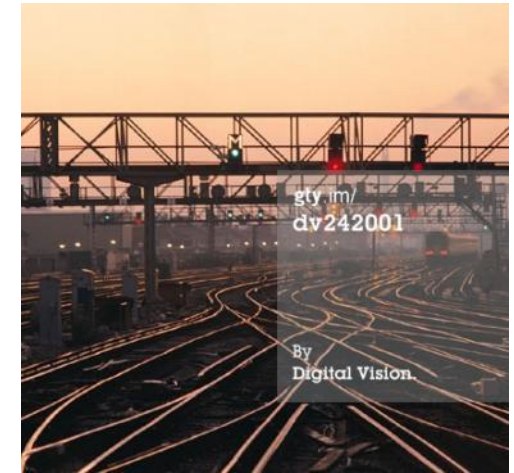
Alguns aspectos da arquitetura CBTC são fundamentais para uma degradação suave do sistema, como:

- Distribuição de inteligência Via / Bordo;
- Intertravamento centralizado ou distribuído;
- ATP de Via e Intertravamento centralizados unidos em um único equipamento => menor flexibilidade de comandos de rotas particionadas no Intertravamento(arquiteturas # 3,4 e 5).
- Posto de Controle Local – PCL – independente dos Servidores Centrais do ATS. No caso de queda do ATS Central, os PCLs poderão servir como ATS Locais com perdas de funcionalidades de alto nível como, por exemplo, a Regulação (arquiteturas # 4 e 5).
- Como regra geral, pode-se dizer que quanto mais distribuída é uma arquitetura, mais robusta esta será na ocorrência de degradações (Ex. arquitetura # 2).



7. Interoperabilidade dos componentes do CBTC

- Requisito de suma importância para que a operadora possa mensurar o quanto o produto é extensível, padronizado, permitindo que alguns componentes do CBTC possam ser substituídos por outros de fornecedores distintos.
- Importante para a Operadora não ficar amarrada a um fornecedor quando das renovações e extensões de linha.
- Exemplos práticos são:
 - Baliza de localização (EUROBALIZE);
 - Rádio de sinalização padronizado (IEEE 802.11a/b/g/n ou LTE).



8. Redundâncias

- Item relacionado a Confiabilidade geral do sistema CBTC quando da existência de falhas simples em equipamentos vitais que afetem diretamente a Disponibilidade.
- As redundâncias dos equipamentos de sinalização e das redes de transmissão de dados determinam a capacidade do sistema ser tolerante a falhas, bem como determina o grau de robustez de um sistema CBTC às degradações dos equipamentos.



9. Uniformidade de solução de hardware entre os diversos subsistemas

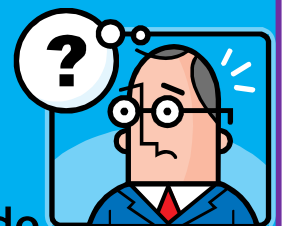
- As soluções CBTC devem ter uma homogeneidade de hardware e software entre seus diversos equipamentos.
- A vantagem mais evidente é o menor custo de manutenção.
- Outras vantagens podem ser evidenciadas caso o mesmo hardware e software básico, compuserem os equipamentos de bordo e via (e.g. ATC de Bordo e ATC de Via e Intertravamento central).
- Neste caso o equipamento central de sala técnica herdaria todas as características de robustez que um equipamento de bordo deve possuir (resistência a vibrações, etc.) e o equipamento de bordo herdaria a característica de estabilidade de um equipamento central, por exemplo, a não necessidade de “Resets” periódicos...

Numa mesma arquitetura:

IXL: 2002

ATC de Via: 2003

ATC de Bordo: Mono-processado



10. Capacidade de auto detecção de falhas latentes

- Característica fundamental para a confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade do sistema – RAM.
- As soluções CBTC devem trazer a capacidade de detecção de falhas latentes intrinsicamente aos seus equipamentos, visando garantir a detecção de falhas ocultas, as quais podem influenciar na segurança do sistema.



Arquiteturas CBTC Prós e Contras

	CBTC # 1	CBTC # 2	CBTC # 3	CBTC # 4	CBTC# 5
Capacidade de Comunicação do Rádio Terra-Trem	Muito Alta	Alta	Alta	Muito Alta	Muito Baixa
IXL Centralizado *	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
IXL Distribuído*	Não	Sim	Não	Não	Não
Distribuição de inteligência entre o ATP de Via e ATP de Bordo	Muito boa distribuição de inteligência entre o ATP de Via e de Bordo	Boa distribuição de inteligência entre o ATP de Via e de Bordo	Boa distribuição de inteligência entre o ATP de Via e de Bordo	Muito boa distribuição de inteligência entre o ATP de Via e de Bordo.	Má distribuição de inteligência entre o ATP de Via e de Bordo. com funcionalidades reduzidas
Distribuição de inteligência entre o ATS e o ATO de Bordo	Boa distribuição de inteligência entre o ATS e o ATO de Bordo	Boa distribuição de inteligência entre o ATS e o ATO de Bordo	Boa distribuição de inteligência entre o ATS e o ATO de Bordo	Muito boa distribuição de inteligência entre o ATS e o ATO de Bordo.	Má distribuição de inteligência entre o ATS e o ATO de Bordo. com funcionalidades reduzidas

* Característica positiva ou negativa dependendo dos requisitos do cliente

Conclusões

- As arquiteturas CBTC parecem iguais mas ... cada uma tem as suas particularidades.
- Alguns aspectos da arquitetura como Distribuição de Inteligência na Via / Bordo, Intertravamento Centralizado ou Distribuído são chaves para uma degradação suave do sistema.
- Quanto mais distribuída é uma arquitetura, mais robusta ela é.
- O Rádio de Sinalização Terra-Trem deve ter a capacidade de transmissão tal que não se torne uma limitação para as funcionalidades dos computadores ATP/ATO de bordo.

Agradecimentos



Obrigado e questionamentos

Rubens Navas Borloni

*Companhia do Metropolitano de São Paulo –
Coordenador do Sistema de Sinalização do Monotrilho*
rborloni@metrosp.com.br

George Eduardo Gomes de Faria

*GE Transportation – Intelligent Transportation Solutions
– Gerente de Marketing de Soluções para a América
Latina*
george.faria@ge.com