

SISTEMA MONOTRILHO DA LINHA 15 – PRATA



METRÔ



AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012



“MONOTRILHO – EMBARQUE NESTA NOVA TECNOLOGIA”



BOMBARDIER
the evolution of mobility

OBJETIVO



METRÔ



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

Apresentar a situação atual dos primeiros testes de tipo referentes aos Sistemas de Propulsão, Caixa e Truque dos Trens do Sistema do Monotrilho da Linha 15 – Prata.





SISTEMA DE PROPULSÃO

MONORAIL INNOVIA 300

Centro de Tecnologia da Bombardier
(Pittsburgh-USA)



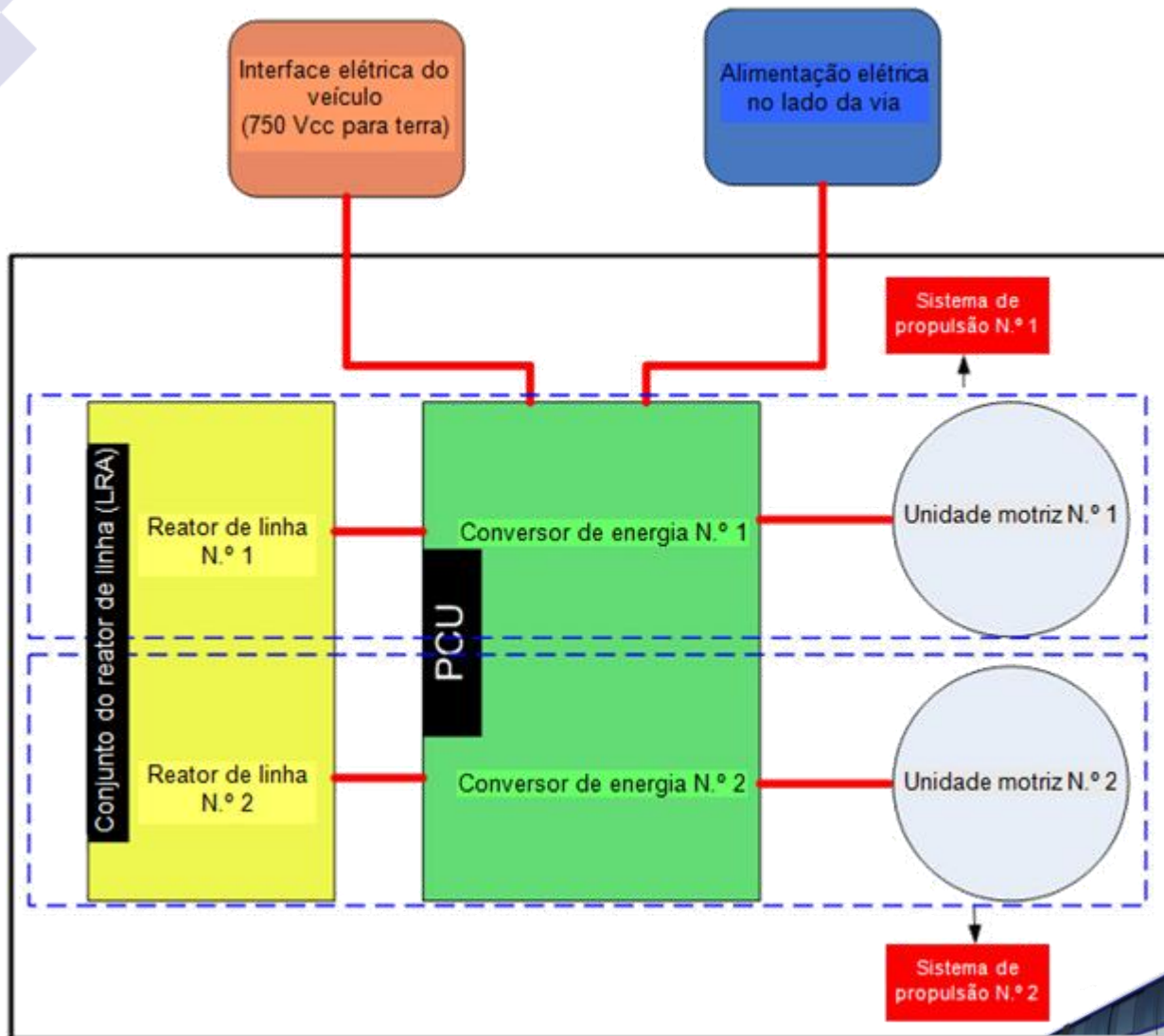
SISTEMA DE PROPULSÃO POR CARRO



METRÔ



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012



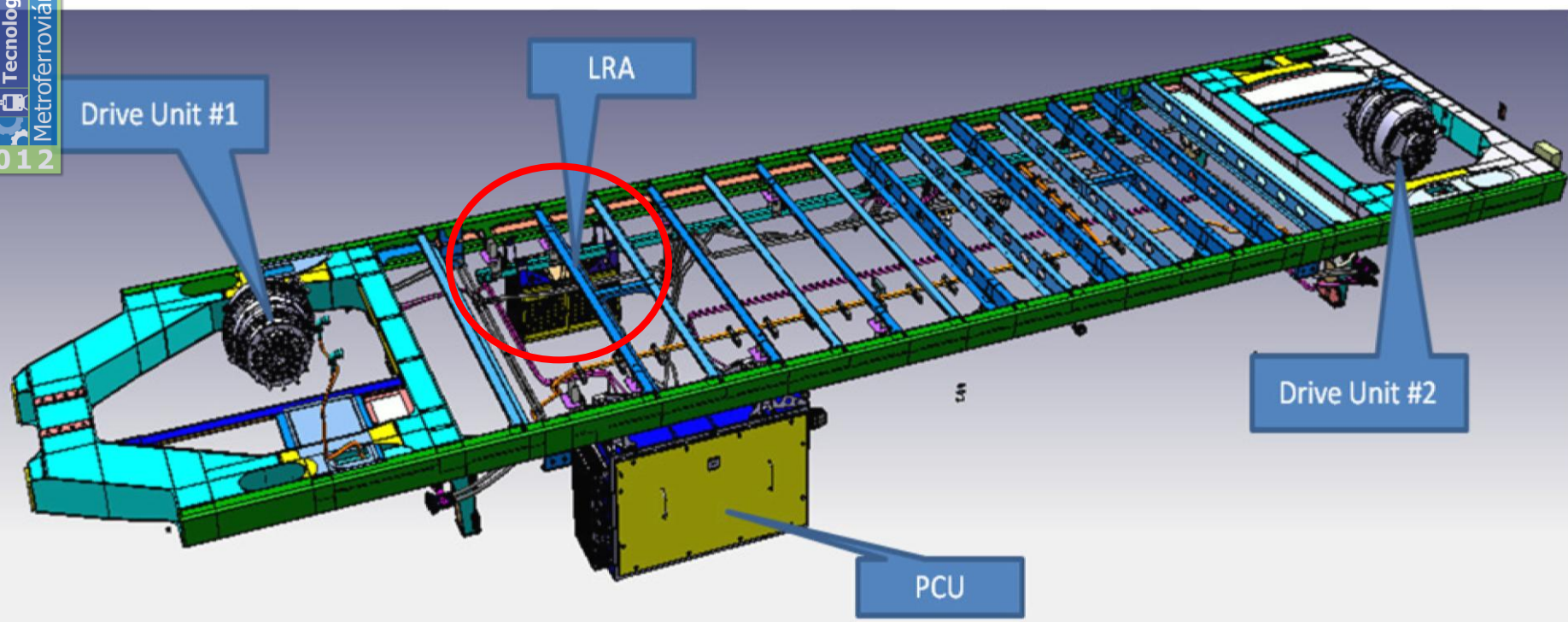
LAYOUT DO SISTEMA DE PROPULSÃO SOB O CARRO



METRÔ



18ª Semana de Tecnologia Metroferroviária 2012



Principais características :

- ✓ Reatância indutiva: 1,2 mH
- ✓ Limitar:
 - os transientes de corrente
 - ondulações de tensões elétricas
 - emissões conduzidas
- ✓ Comprimento: 803 mm
- ✓ Altura: 605 mm
- ✓ Largura: 443 mm
- ✓ Peso: 66 kg



CONJUNTO REATOR DE LINHA – LRA



METRÔ



AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012



Reator de
Linha nº 1

Reator de
Linha nº 2



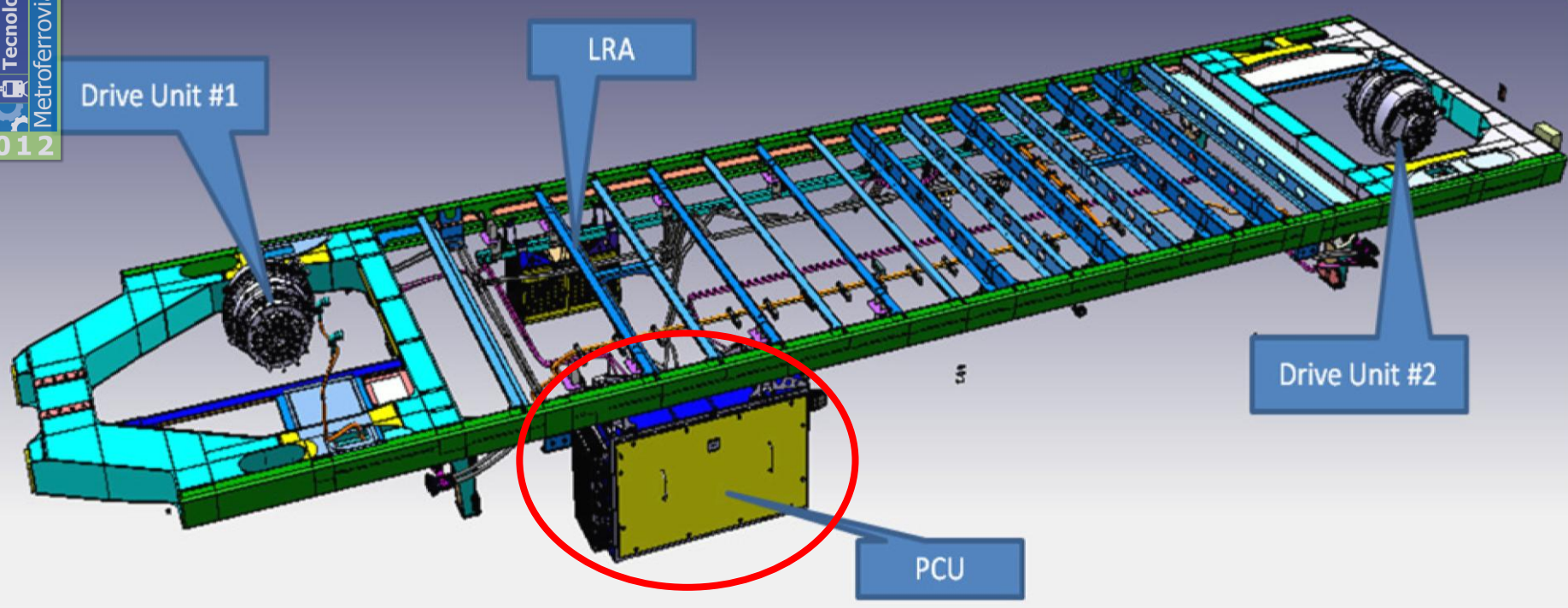
LAYOUT DO SISTEMA DE PROPULSÃO SOB O CARRO



METRÔ



18ª Semana de Tecnologia Metroferroviária 2012



UNIDADE DE CONVERSÃO DE ENERGIA – PCU



METRÔ



Principais características:

- ✓ Cada unidade possui dois conversores de energia:
 - controlados de forma independente
 - tensão variável e frequência variável (VVVF)
- ✓ Peso: 290 kg
- ✓ Altura:
- ✓ Largura:



MÓDULO INVERSOR DE TRAÇÃO



METRÔ



BOMBARDIER
the evolution of mobility

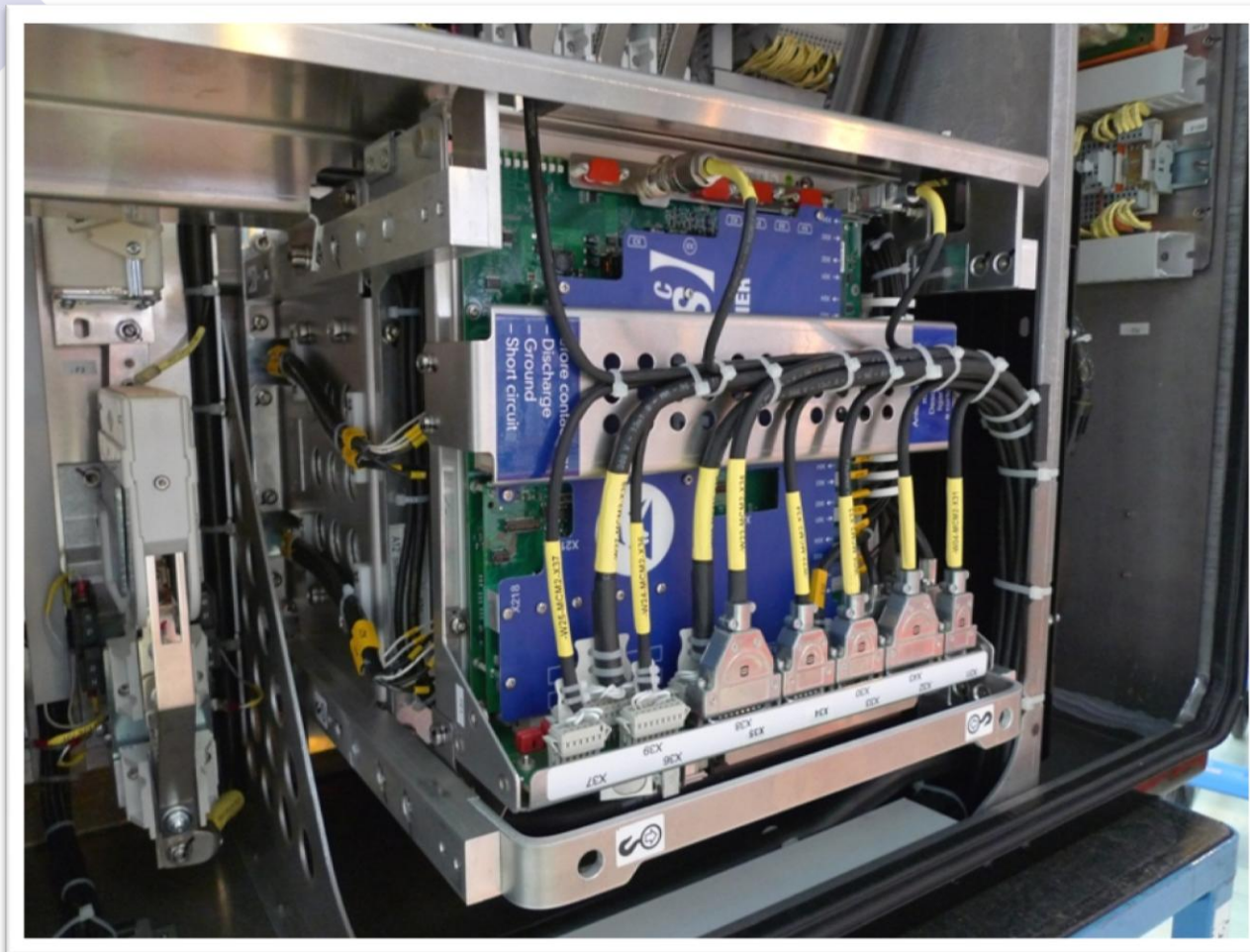


18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

MÓDULO INVERSOR DE TRAÇÃO – INSTALADO NA PCU



METRÔ



BOMBARDIER
the evolution of mobility



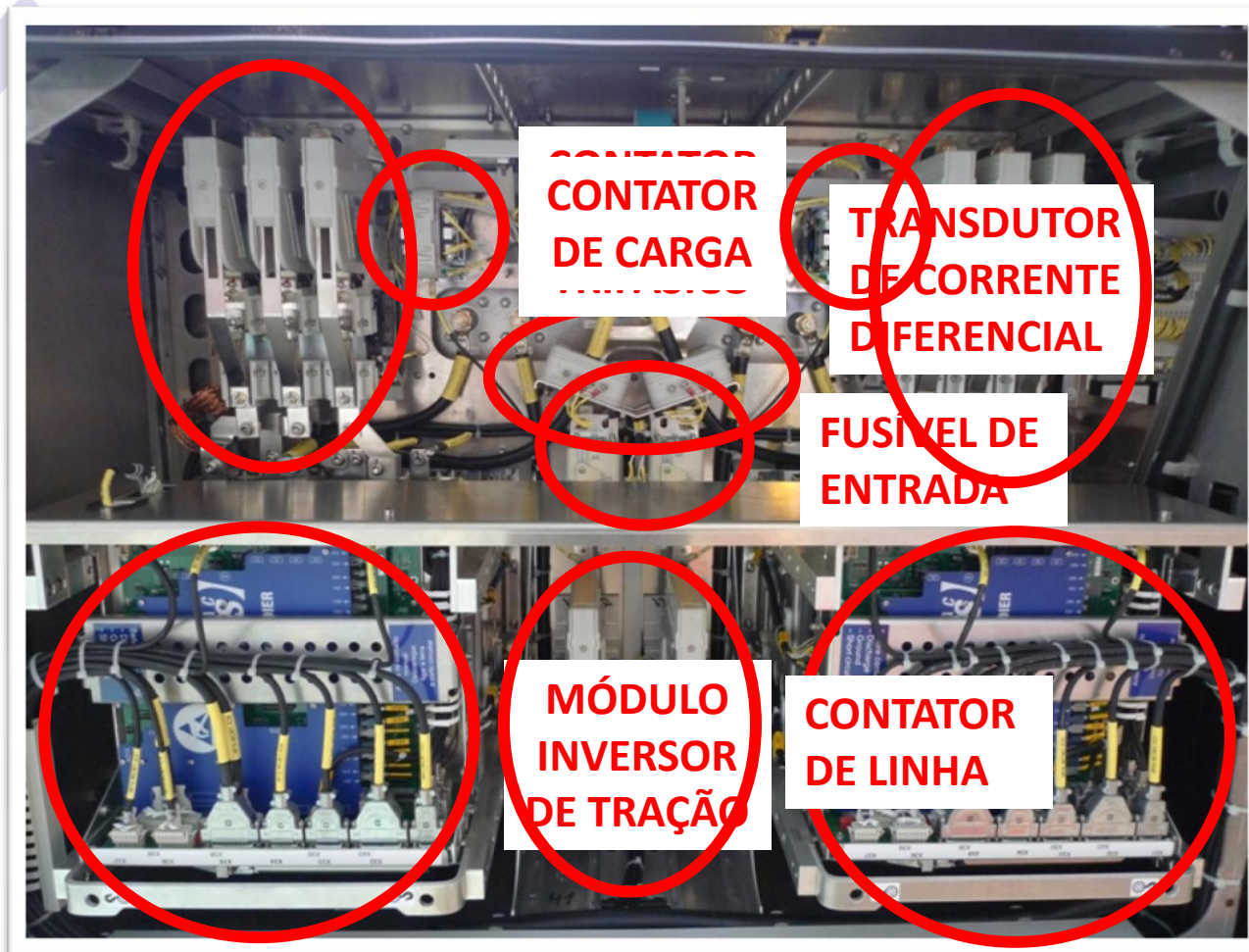
AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

VISTA FRONTAL DA PCU



METRÔ



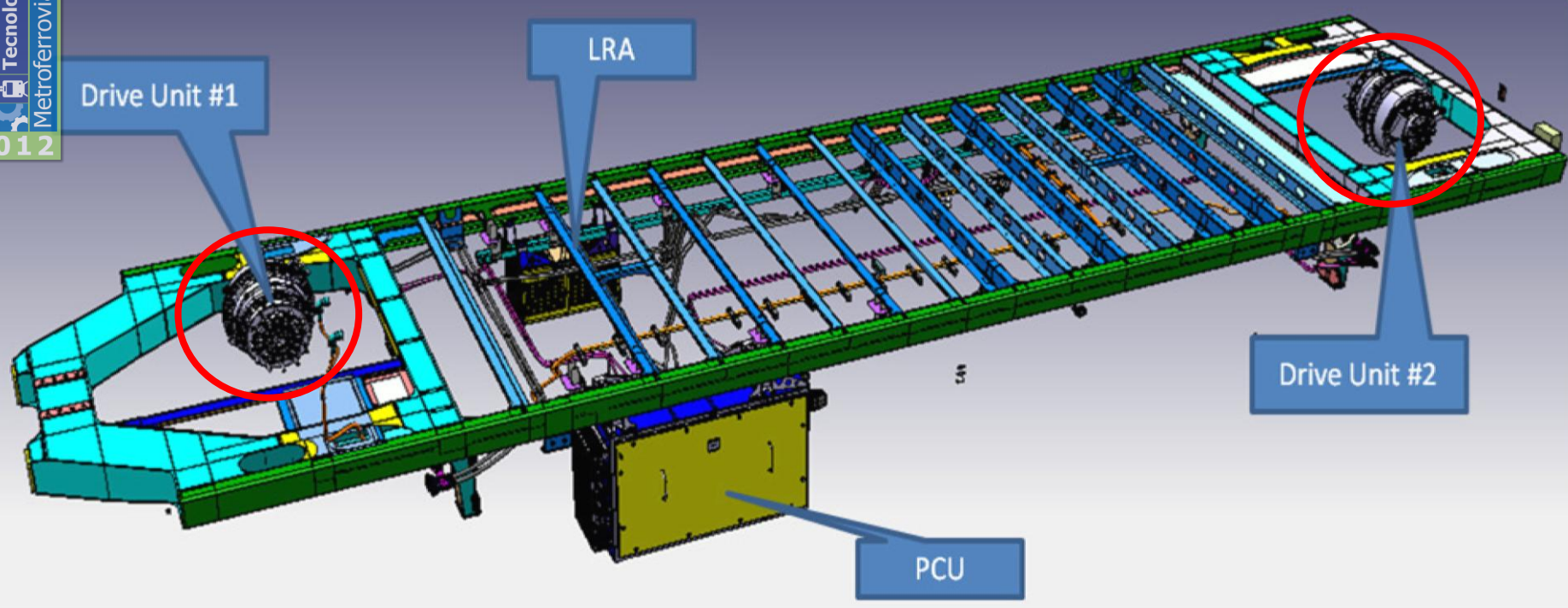
LAYOUT DO SISTEMA DE PROPULSÃO SOB O CARRO



METRÔ



18ª Semana de Tecnologia Metroferroviária 2012



SISTEMA DE TRACÇÃO - MOTOR



METRÔ



BOMBARDIER
the evolution of mobility



SISTEMA DE TRAÇÃO - CARACTERÍSTICAS



METRÔ

✓ Motor de Imã Permanente

- Tensão nominal: 365 Vca
- Corrente nominal: 163 Arms
- Potência em regime contínuo: 96 kW
- Torque nominal: 560 Nm
- Rotação nominal: 1638 rpm
- Frequência nominal: 109.2 Hz
- Potência de pico em modo tração: 159 kW
- Potência de pico em modo frenagem: 260 kW

✓ Moto-Redutor Planetário

- Relação de redução 7.435: 1

✓ Dimensão do conjunto de Tração

- Peso: 488 kg
- Diâmetro máximo: 560 mm
- Largura máxima: 671 mm





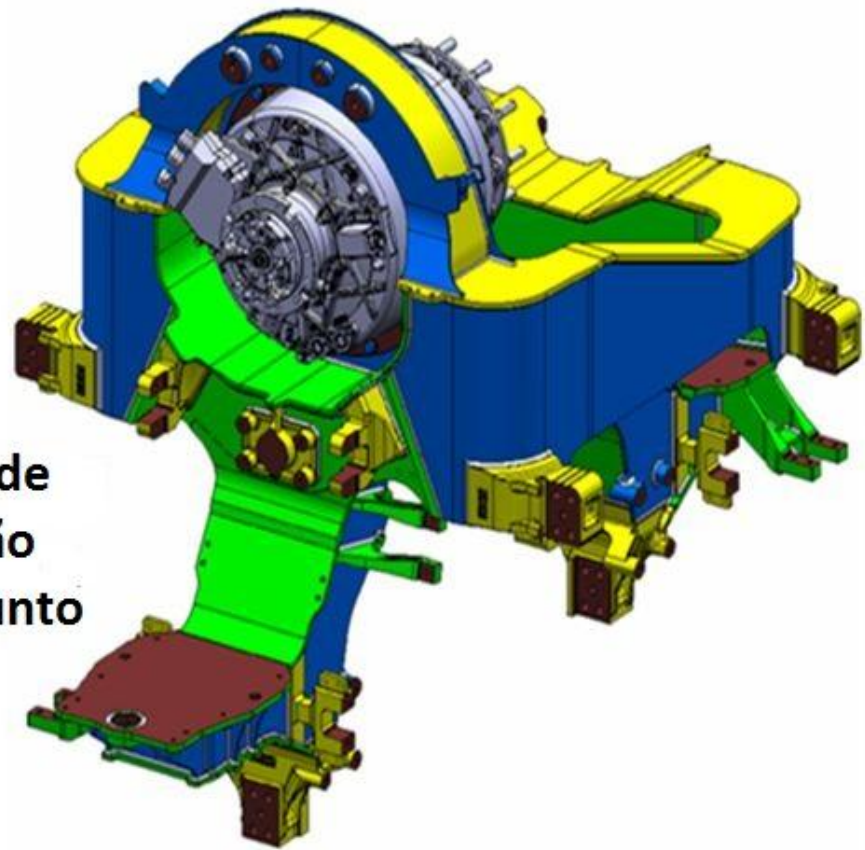
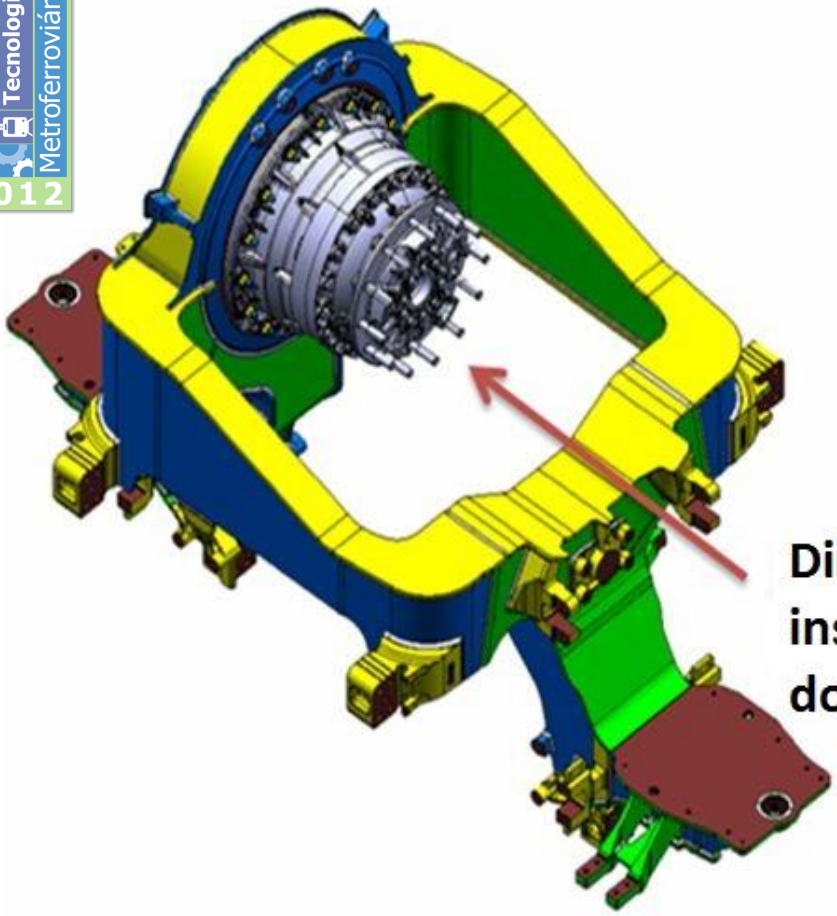
METRÔ

INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE TRAÇÃO NO TRUQUE



AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012



Direção de
instalação
do conjunto



INSTALAÇÃO DO MOTOR - REDUTOR



METRÔ



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

Motor e redutor tipo planetário

- constituem uma única unidade integrada
 - montado diretamente no quadro do truque por meio de conexão parafusada
- ✓ Os pneus duplos de carga serão montados no cubo de saída do redutor.



Apresentar os testes realizados no Centro de Tecnologia da Bombardier (Pittsburgh-USA) que foram divididos em 3 etapas:

- ✓ Teste Qualificação Funcional
- ✓ Teste de Desempenho
- ✓ Teste Térmico

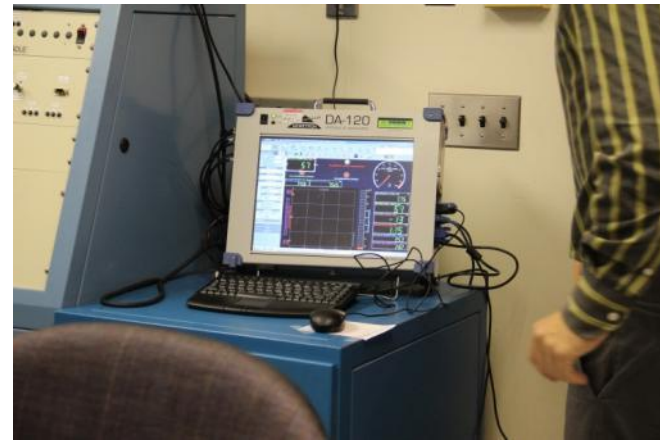
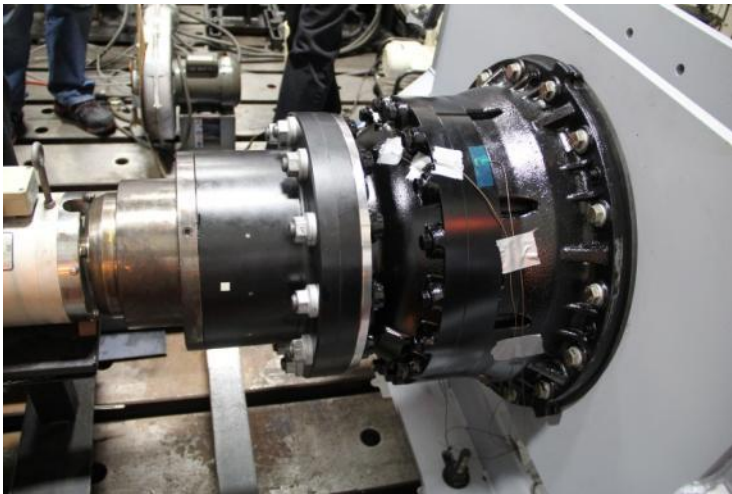
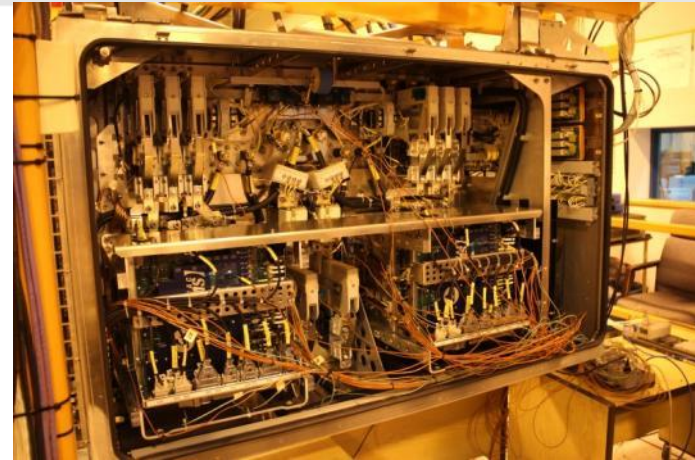


INSTRUMENTAÇÃO



METRÔ

AEAMES
18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012



BOMBARDIER
the evolution of mobility

TESTE DE QUALIFICAÇÃO FUNCIONAL



METRÔ



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

Verificar no Laboratório de Energia da Bombardier se o PCU atende os requisitos de testes estáticos e dinâmicos, conforme IEC 61377-3:2002-9

- ✓ O PCU deverá responder às condições reais de operação e verificar os sinais de velocidade, controle de fluxo magnético do motor entre outras funções de E/S



TESTE DE QUALIFICAÇÃO DE DESEMPENHO



METRÔ



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

- ✓ Verificar o atendimento do desempenho de aceleração e frenagem
- ✓ Tensão de entrada de 525, 600 e 750 Vcc, em carga veicular variável no motor e 525, 620 e 850 Vcc na frenagem
- ✓ As principais funções pretendidas do teste são:
 - Verificar o funcionamento do equipamento da PCU
 - Verificar os requisitos de desempenho
 - Teste de desempenho com 7 Carros e 100% de Propulsão
 - Teste de desempenho com 7 Carros e 85% de Propulsão



PARÂMETROS DE CONTROLE – AQUISITOR DE DADOS

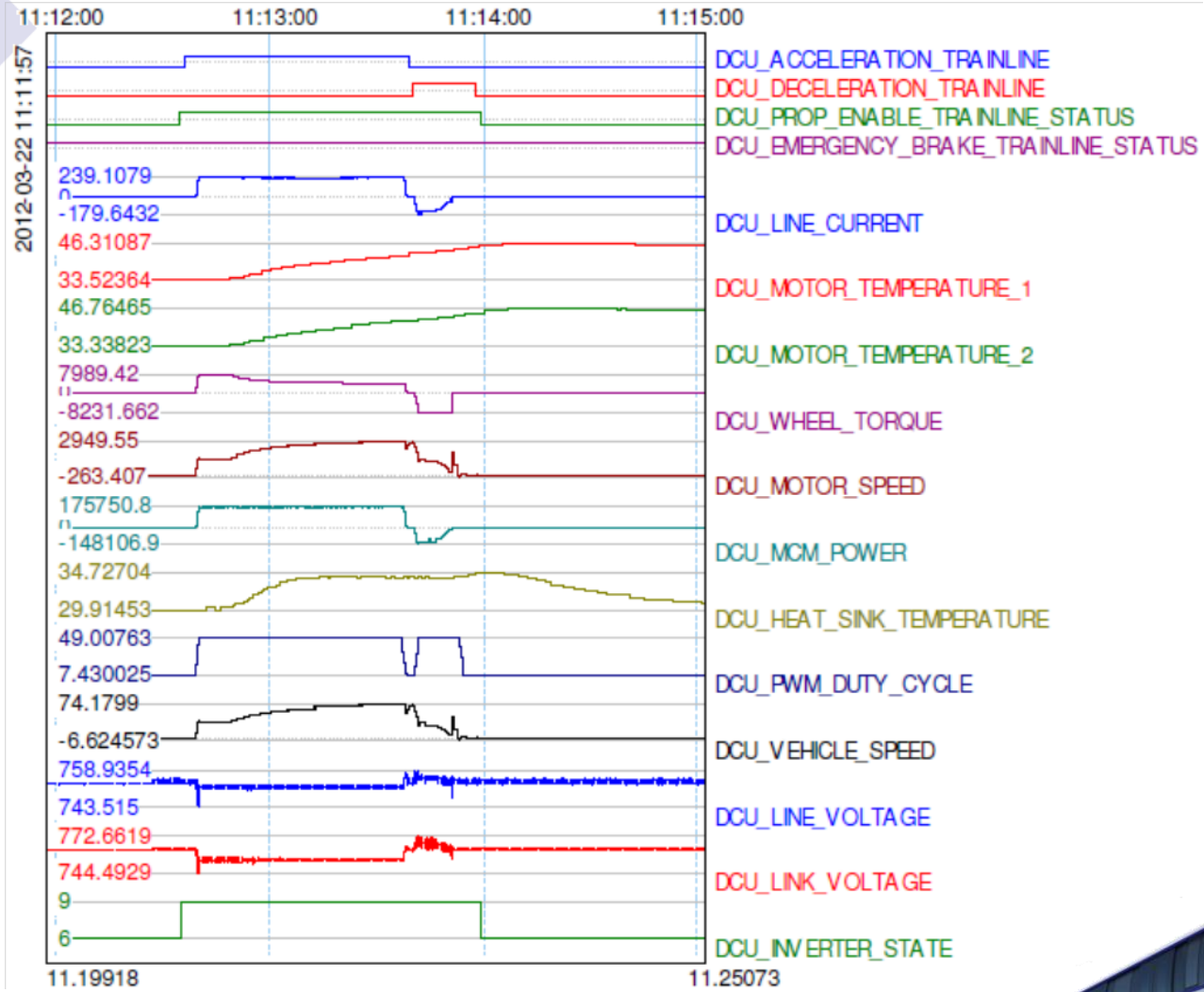


METRÔ



AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

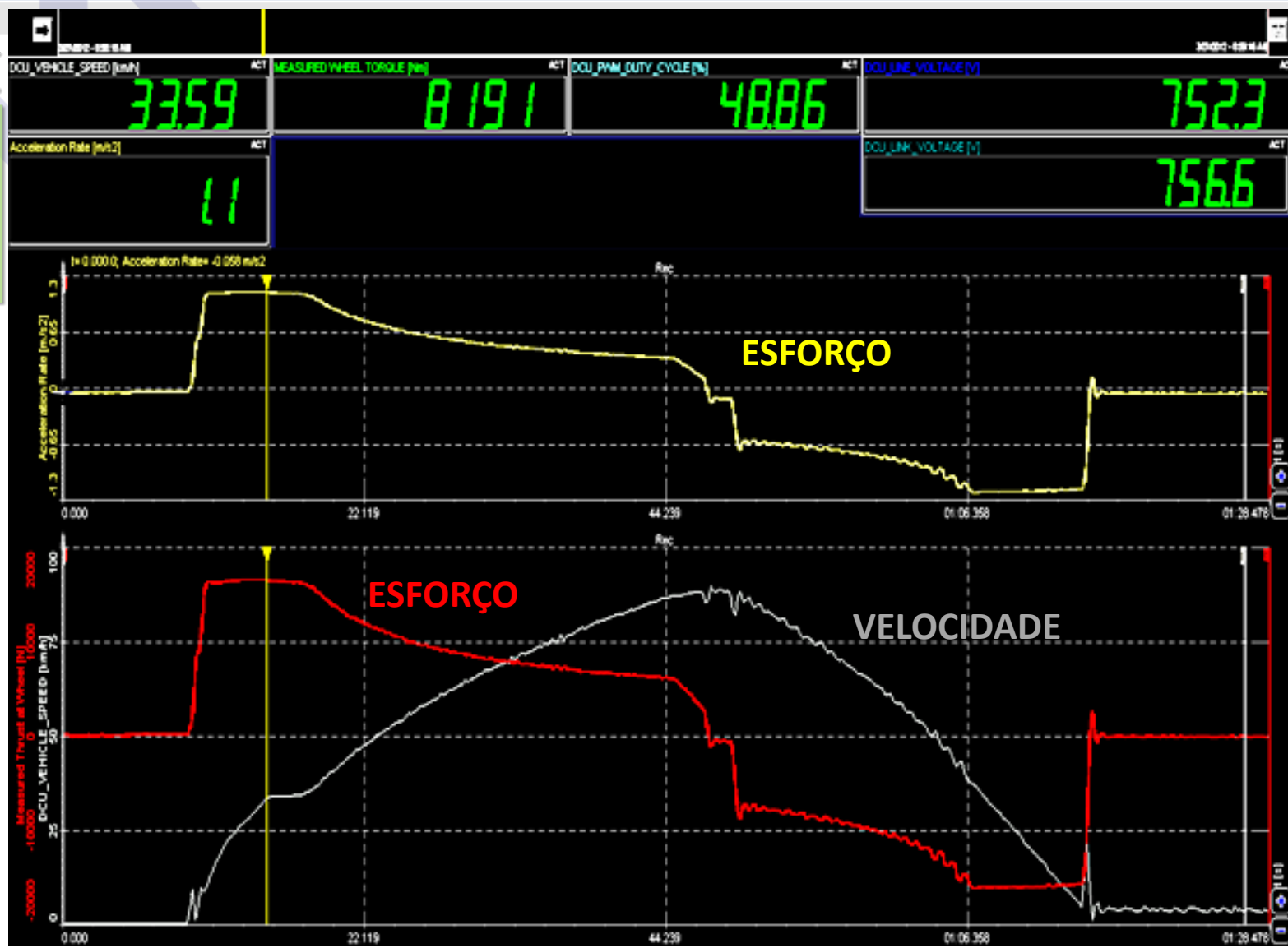


PARÂMETROS DE POTÊNCIA – AQUISITOR DE DADOS



METRÔ

AEAMESP
18ª Semana de Tecnologia Metroferroviária
2012

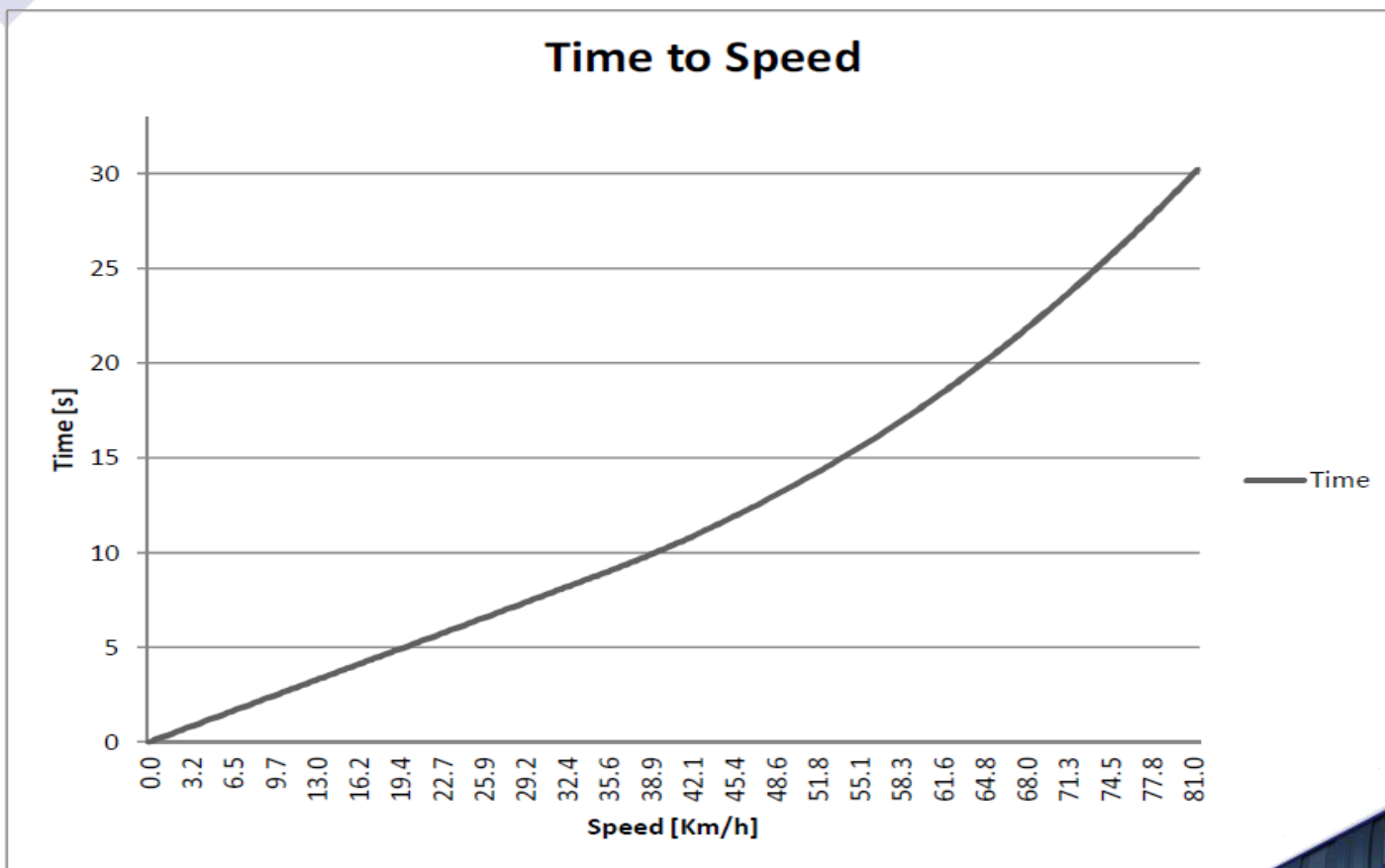


TESTE DE QUALIFICAÇÃO DE DESEMPENHO



METRÔ

Comprovação de que o sistema de propulsão atinge velocidade de 80 km/h em 33s com o trem simulando carga AW3 (8 passageiros/m²).



BOMBARDIER
the evolution of mobility

AEAMES
18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

TESTE TÉRMICO



METRÔ



AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

- ✓ Submeter o equipamento como se este estivesse operando no perfil de desempenho especificado pelo Metrô
- ✓ Simulação do trem em operação normal
- ✓ Simulação do trem acoplado puxando outro trem vazio
- ✓ Análise térmica realizada na PCU, Reator de Linha e Motor
- ✓ Verificar a variação de temperatura dos componentes se estão dentro dos intervalos previstos com base nos perfis simulados



BOMBARDIER
the evolution of mobility

TESTE TÉRMICO



METRÔ



AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

Os perfis simulados foram:

- ✓ Viagem de ida e volta realizada 6 vezes continuamente sob condições normais de operação AW3 com 100% de propulsão em todos os carros.
- ✓ Viagem de ida e volta única sob condições normais de operação AW3 com 85% de propulsão (simulação de um carros com falha no equipamento).
- ✓ Trem AW0 íntegro (100% de propulsão em todos os carros) acoplando a outro trem com carga AW3 (sem propulsão), partindo de uma rampa com grade de 6% por um extensão de 850 metros.
- ✓ Viagem de ida e volta única, trem AW0 íntegro (100% de propulsão em todos os carros) acoplando a outro trem com carga AW0 (sem propulsão).



RESULTADOS DOS TESTES



METRÔ

Os resultados apresentados demonstraram o pleno atendimento dos requisitos especificados para o Sistema de Tração e Alimentação elétrica.

Como vantagens podemos destacar:

- ✓ Motor de imã permanente compacto e mais leve em relação a um Motor AC de mesma potência.
- ✓ Motor e redutor integrados, acoplado direto na roda ("direct drive") reduzindo perdas e complexidade na transmissão
- ✓ Sistema de refrigeração (líquido) emite baixo níveis de ruído.





METRÔ



AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

CAIXA DO CARRO

MONORAIL INNOVIA 300

Centro de Tecnologia da Bombardier
(Kingston - CA)

BOMBARDIER
the evolution of mobility



ARESENTAÇÃO DA CAIXA

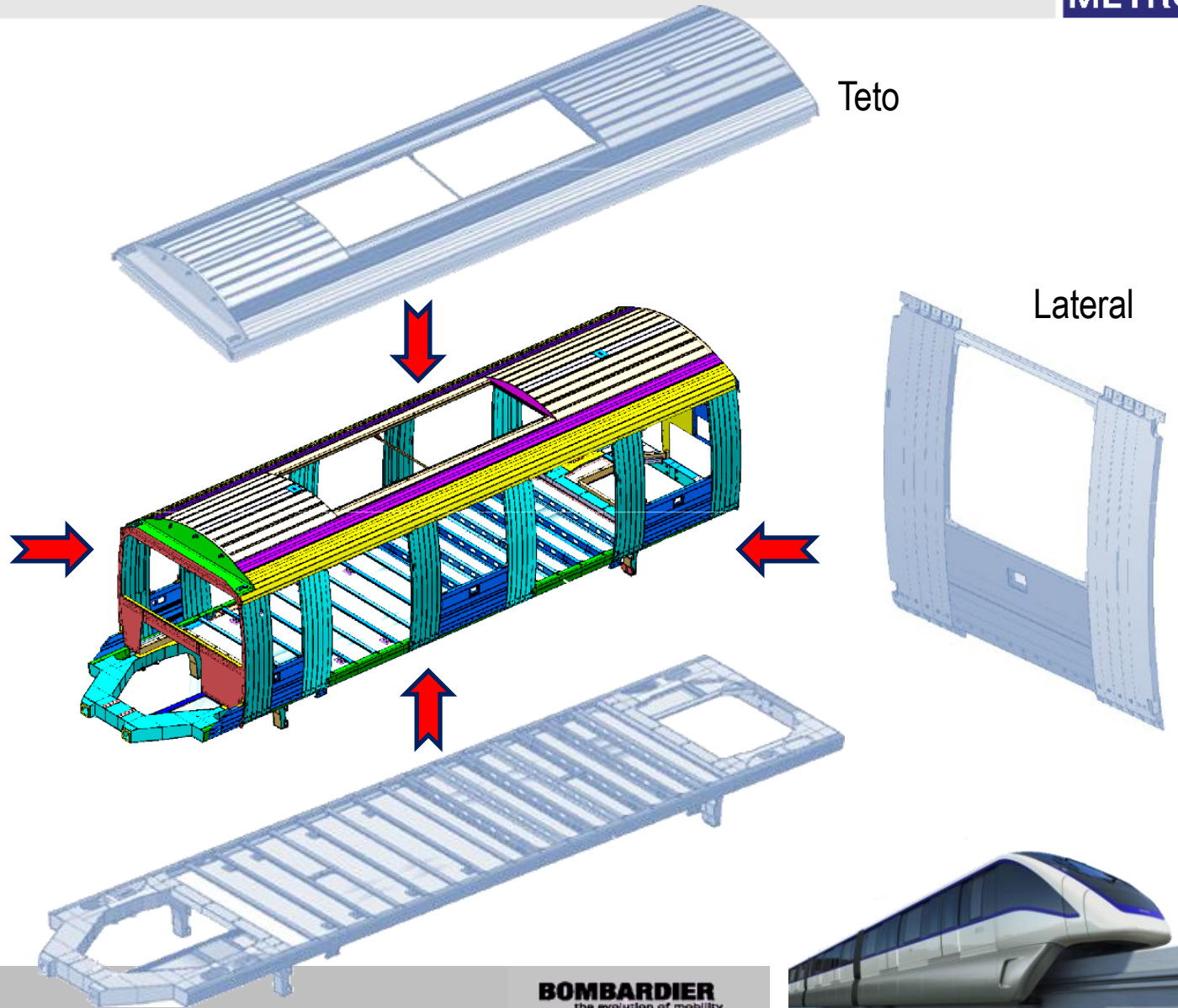
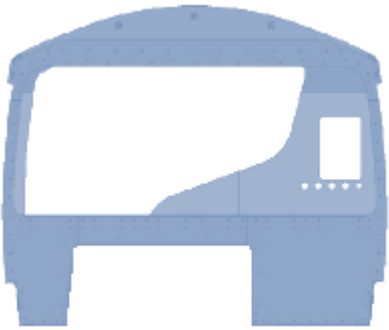


METRÔ



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

Cabeceira



TIPO DE UNIÃO

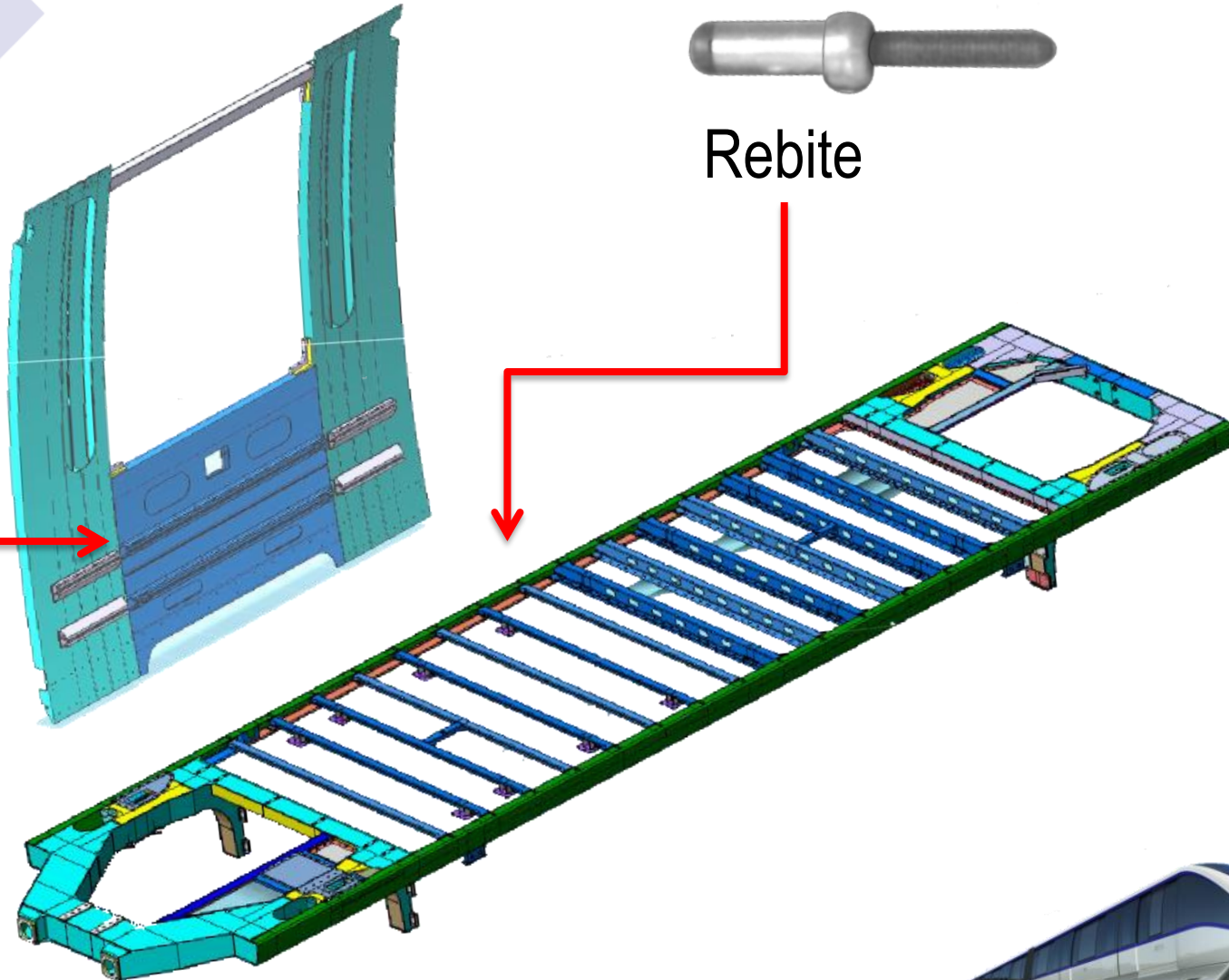


METRÔ



Rebite

Solda



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

COMPARATIVO CAIXA



METRÔ



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

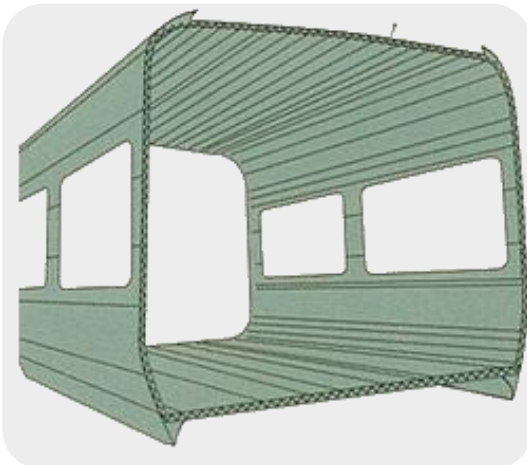
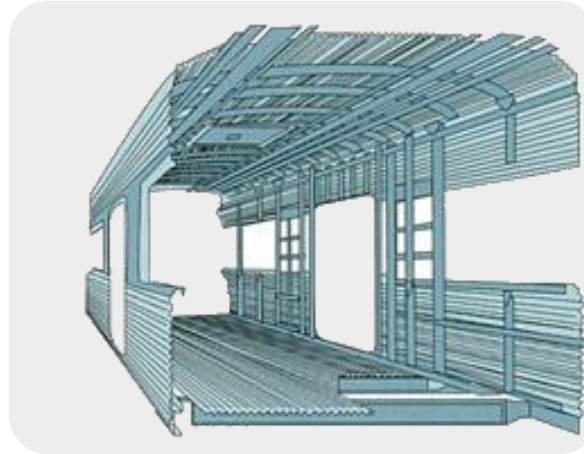
Inox

Densidade 7,9 g/cm³

Young = 200 GPa

Resistência 215/550 Mpa

✓ Frota Reformada



Alumínio

✓ Densidade 2,7 g/cm³

✓ Young = 70 GPa

✓ Resistência 205/245 Mpa

✓ Monotrilho



REQUISITOS DE PROJETO



METRÔ

- ✓ Carregamento para 10 passageiros em pé por m² (216 passageiros) + 30% fator dinâmico, considerando 70kgf por passageiro.
- ✓ Estrutura calculada pelo método de elementos finitos.
- ✓ Ensaios de validação da estrutura do carro devem ser de compressão, torção e carga vertical.



MATERIAL CAIXA MONOTRILHO



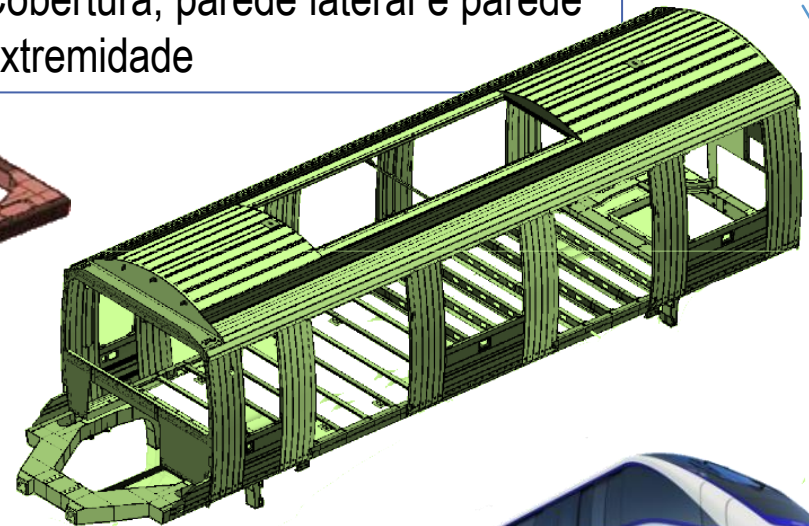
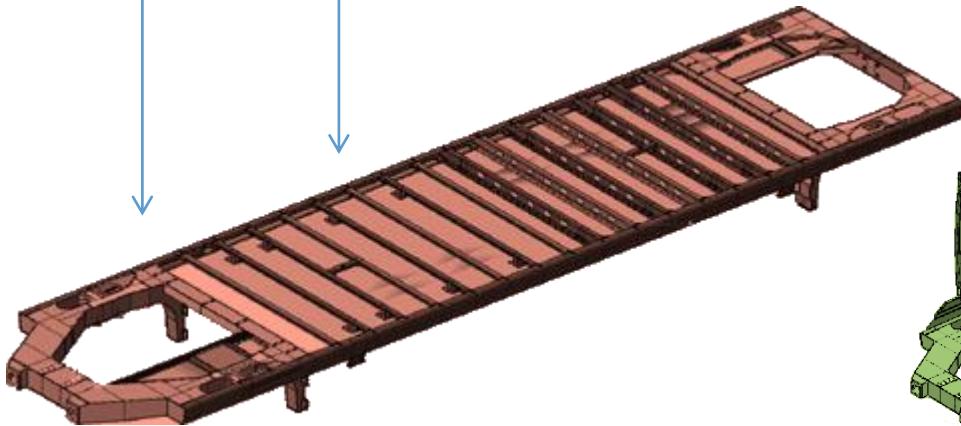
METRÔ

Material	Localização
Aço Carbono ASTM A572 Classe 50, Algoma 100 ASTM A514 Classe S	Estrado
Aço Inoxidável ASTM A666-03 ¼ Dureza	Parte inferior do estrado
Alumínio ASTM B209 e ASTM B221	Cobertura, parede lateral e parede extremidade

1

2

3



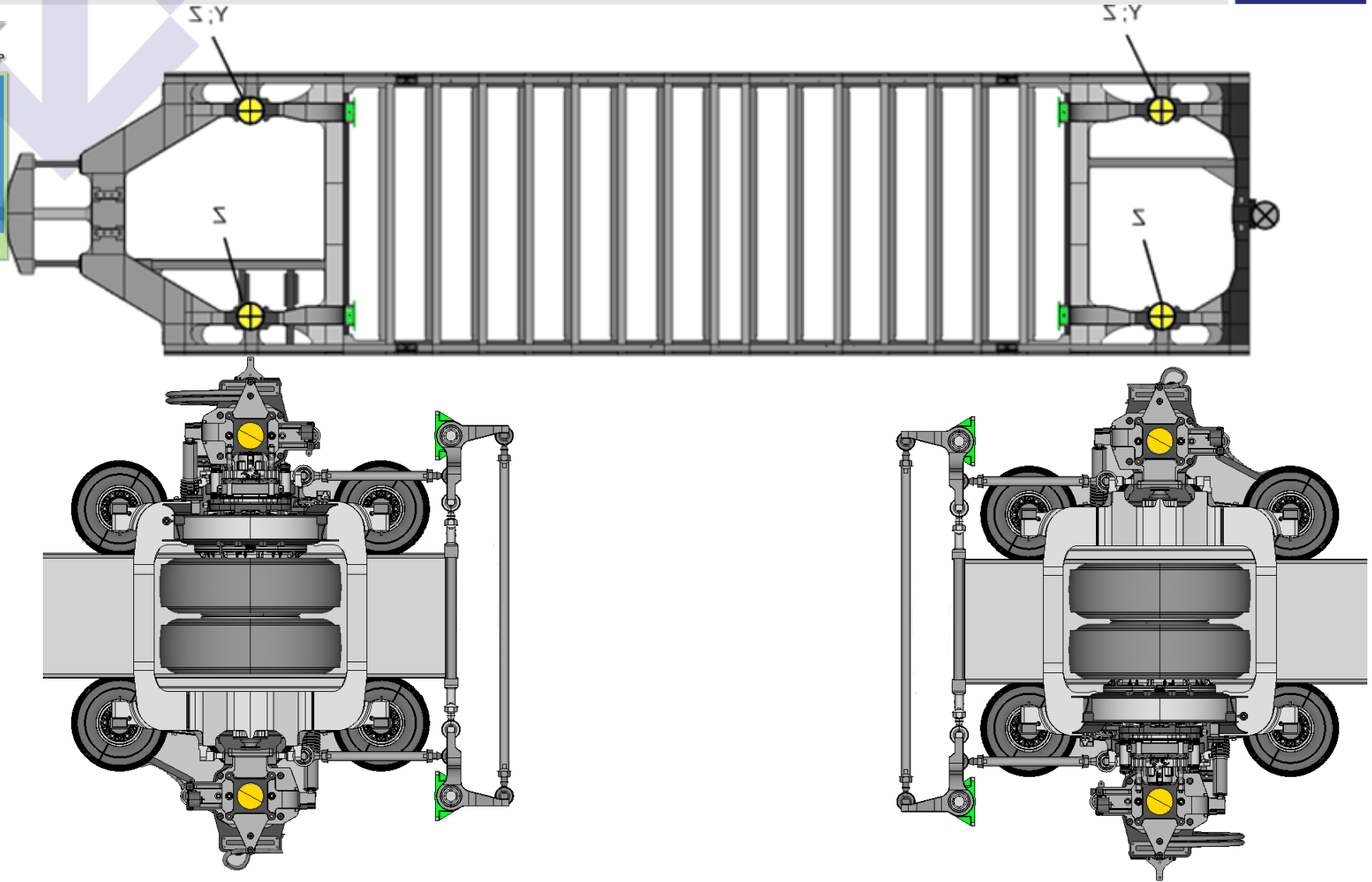
LIGAÇÃO CAIXA E TRUQUE



METRÔ



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012



ESCOLHA CAIXA

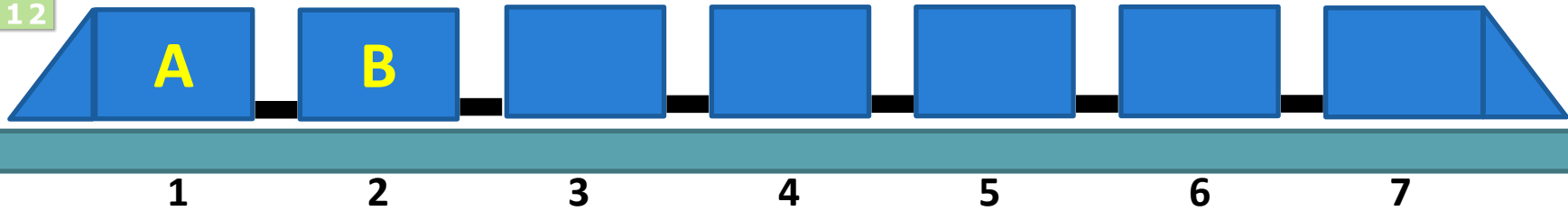


METRÔ

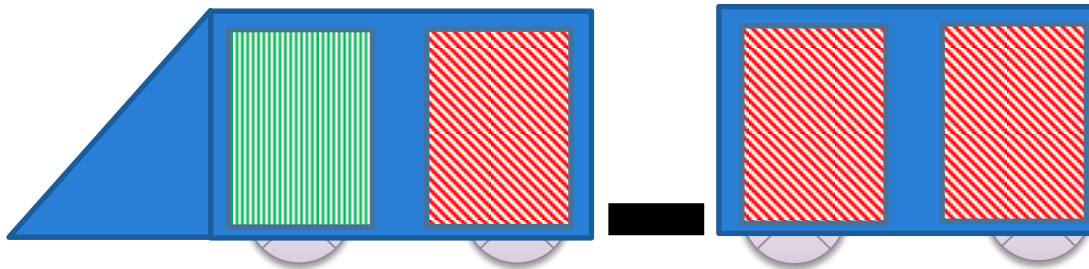


18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

✓ O Monotrilho é formado por 2 tipos de caixa



✓ Semelhança entre Caixa A e B



ANTIENCAVALEMENTO



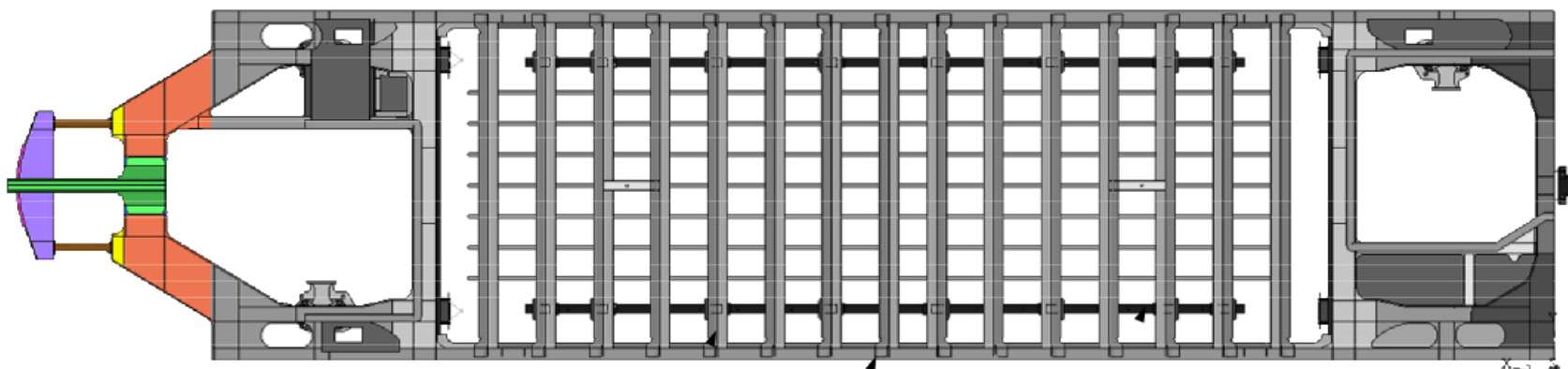
METRÔ



AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

- ✓ Estrutura projetada para 450kN
- ✓ Colisão entre 2 monotrilhos carregados (8 pass/m²) em velocidade 12,7km/h a força equivalente é 400kN (tolerância $\pm 7,5\%$)



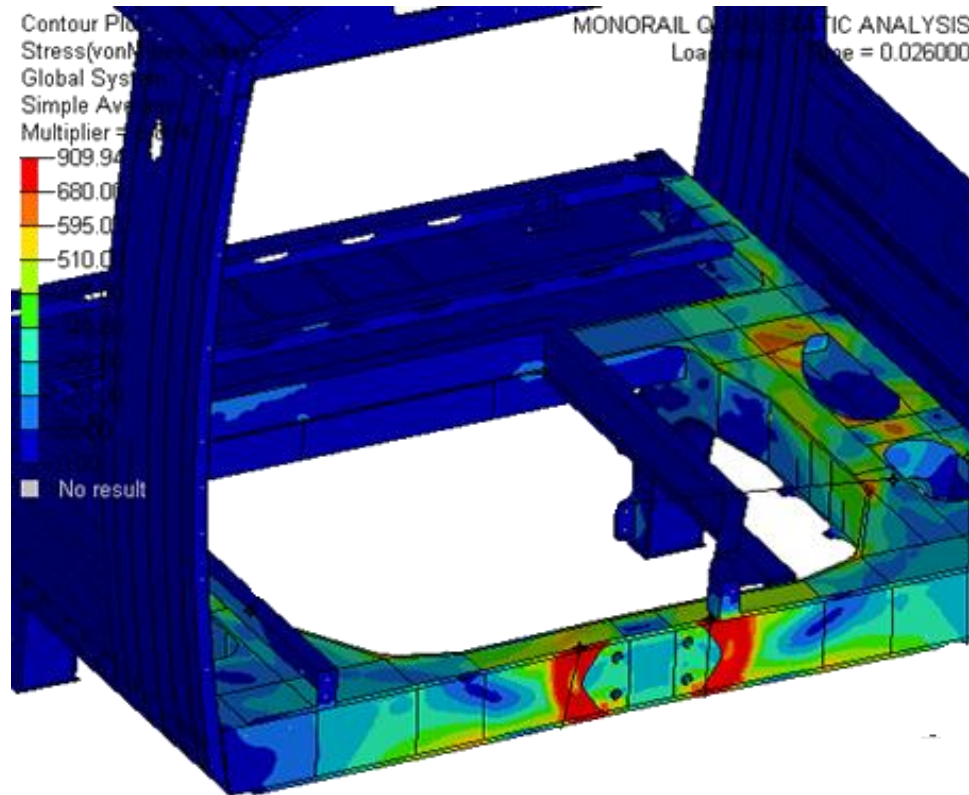
BOMBARDIER
the evolution of mobility

ENGATE ENTRE CARROS



METRÔ

A capacidade de empenamento/colisão da estrutura da caixa do carro da extremidade é inferior a 720 kN a 0,026ms



ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS - FEA



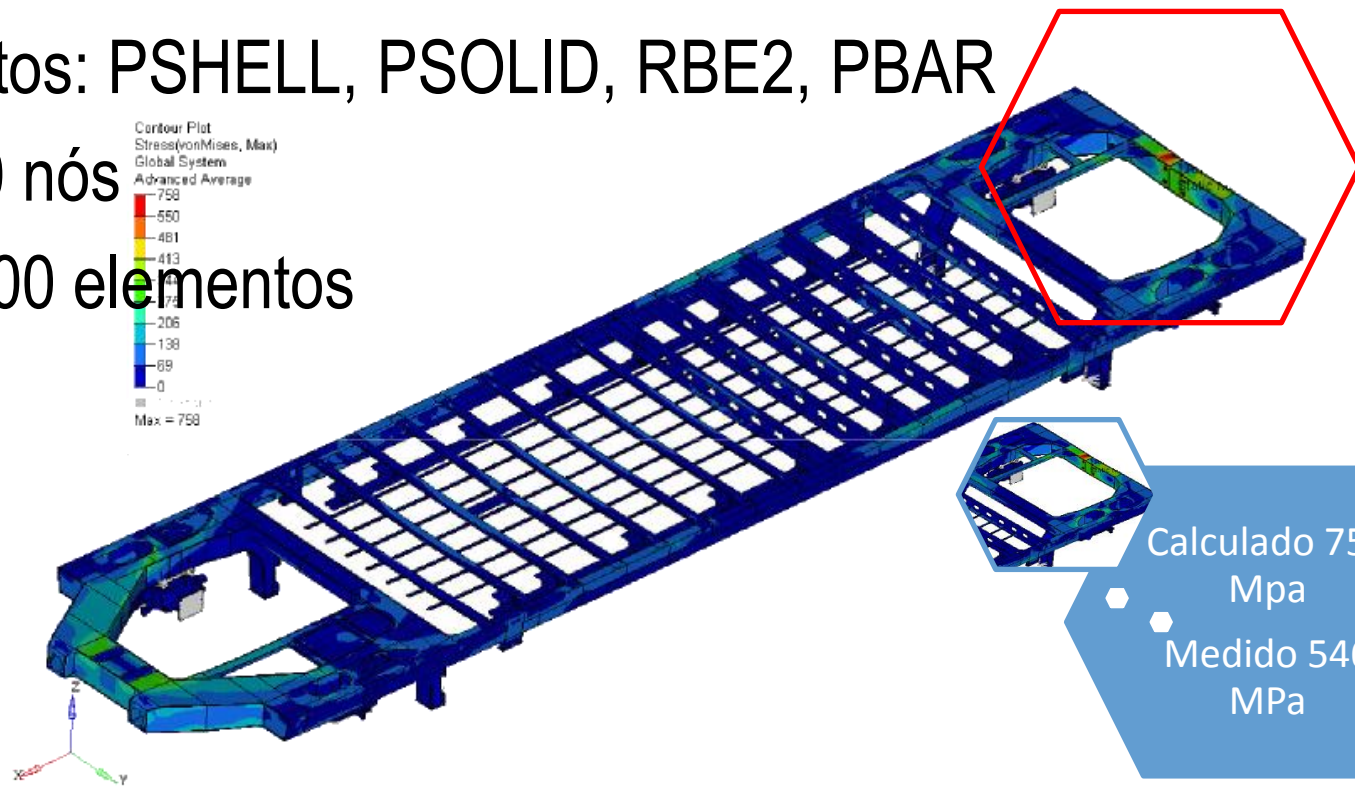
METRÔ



AEAMESP

18ª Semana de Tecnologia Metroferroviária 2012

- ✓ Software MSC-NASTRAN 2008
- ✓ Elementos: PSHELL, PSOLID, RBE2, PBAR
- ✓ 844.000 nós
- ✓ 1.058.000 elementos



ETAPAS DE CARREGAMENTO

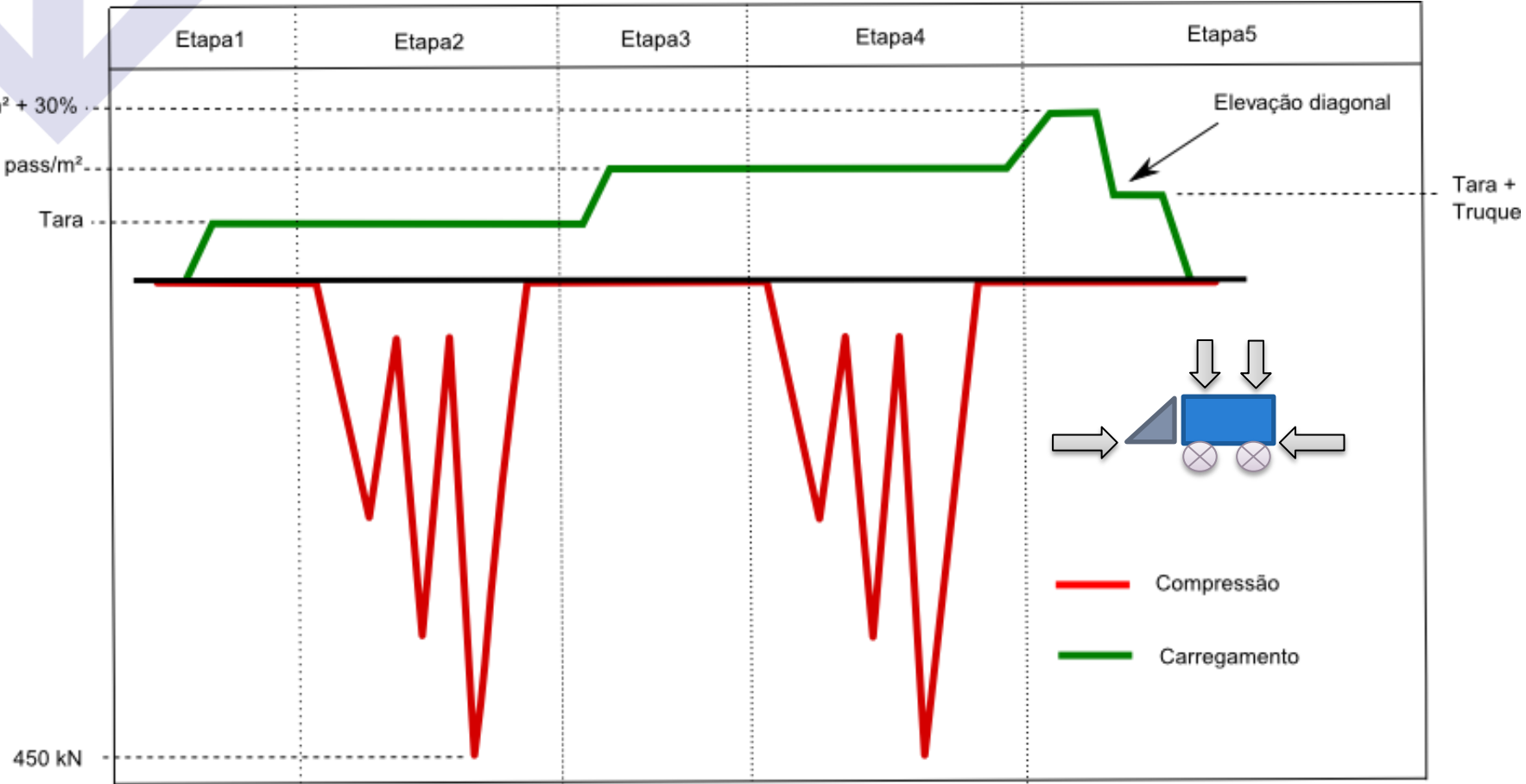


METRÔ



AEAMESP

18ª Semana de Tecnologia Metroferroviária 2012



COMPRESSÃO ENGATE



METRÔ

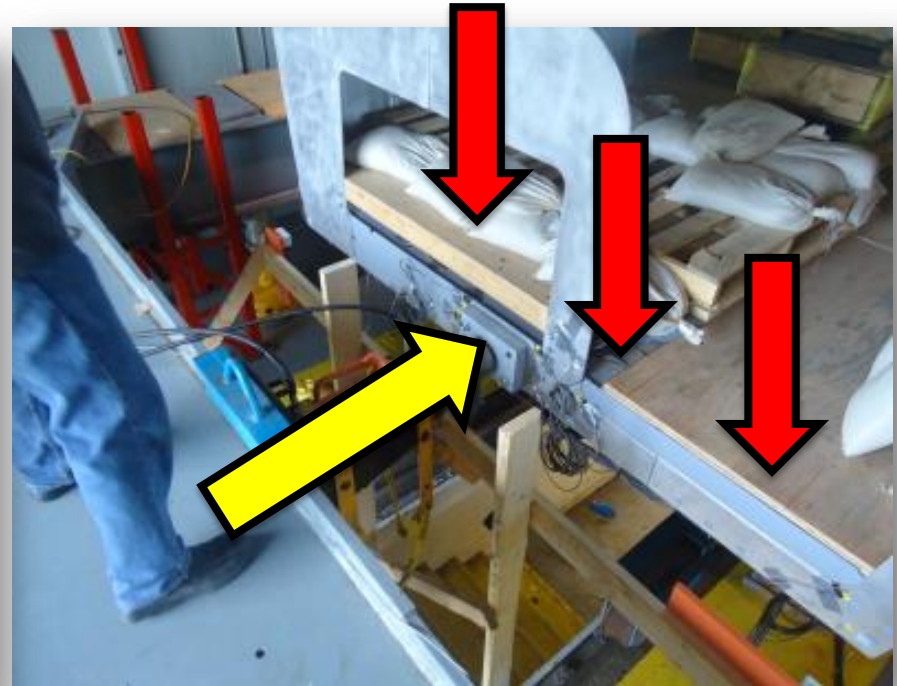


AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

→ Compressão 45 toneladas

→ 8 passageiros por m²



CARREGAMENTO COMBINADO



METRÔ



AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

SENSORES DE DESLOCAMENTO



METRÔ



AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

✓ Monitoramento das janelas



BOMBARDIER
the evolution of mobility

FLECHA MÁXIMA ESTRADO



METRÔ



AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

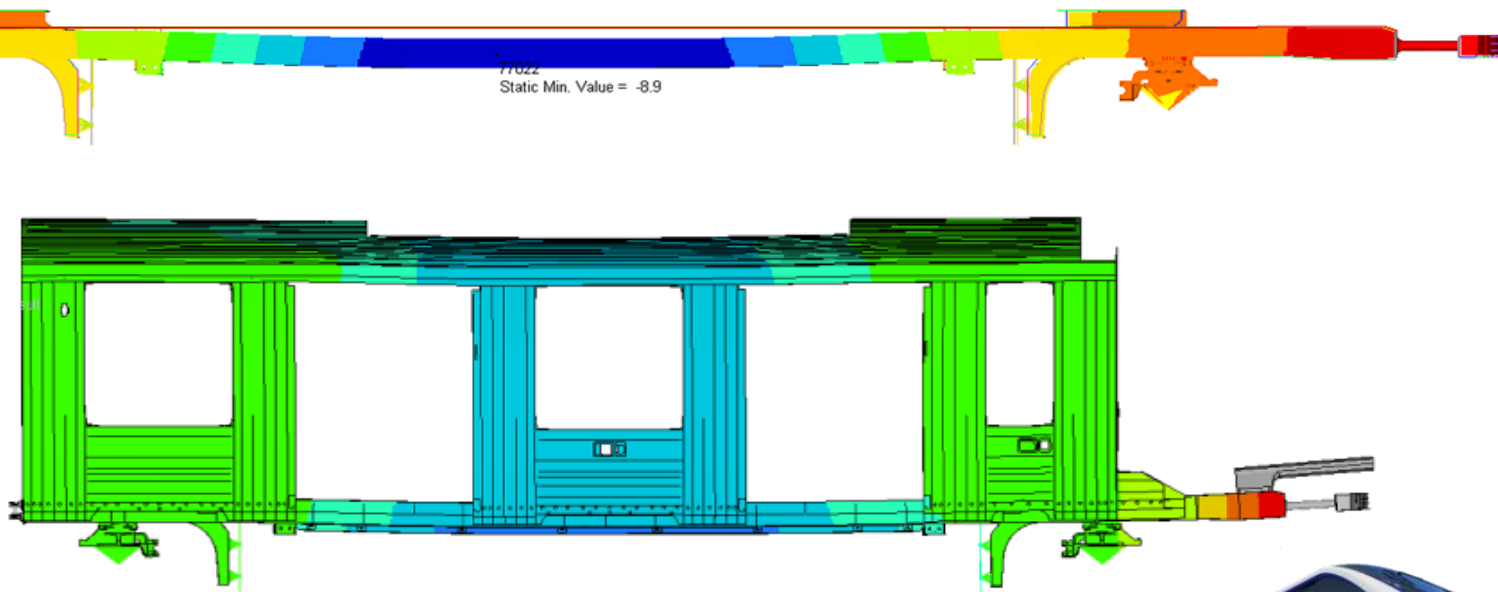
- ✓ Estudo flecha máxima centro do estrado
- ✓ Valor 8,9 mm para 8 passageiros/m²

Contour Plot
Displacement(Z)
Analysis system

-1.5
-0.4
-0.8
-2.0
-3.1
-4.3
-5.4
-6.6
-7.8
-8.9

■ No result
x y z

SUBCASE 1200 = LC_01_B
AW3



SENSORES DE DESLOCAMENTO



METRÔ



AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

✓ Monitoramento da Contra-Flecha



ELEVAÇÃO DIAGONAL



METRÔ



Carga vertical: Tara + Truques + 24% sobrecarga

Retirada do apoio em destaque (vermelho) até 10% do valor inicial

- ✓ MS (margem de segurança) mínima encontrada neste teste é 0,20



RESULTADO DO TESTE



METRÔ



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

Nenhum valor de esforço estático excede a força resultante dos materiais

- ✓ Todos os valores MS (margem de segurança) são maiores que 0 com o mais baixo = 28% para a compressão e 20% para a elevação diagonal.
- ✓ Estrutura livre de flambagem ou deformação permanente durante e após os testes.
- ✓ Nenhuma trinca encontrada nas soldas.





METRÔ



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

TRUQUE

MONORAIL INNOVIA 300

Centro de Tecnologia da Bombardier
(Kingston - CA)

BOMBARDIER
the evolution of mobility



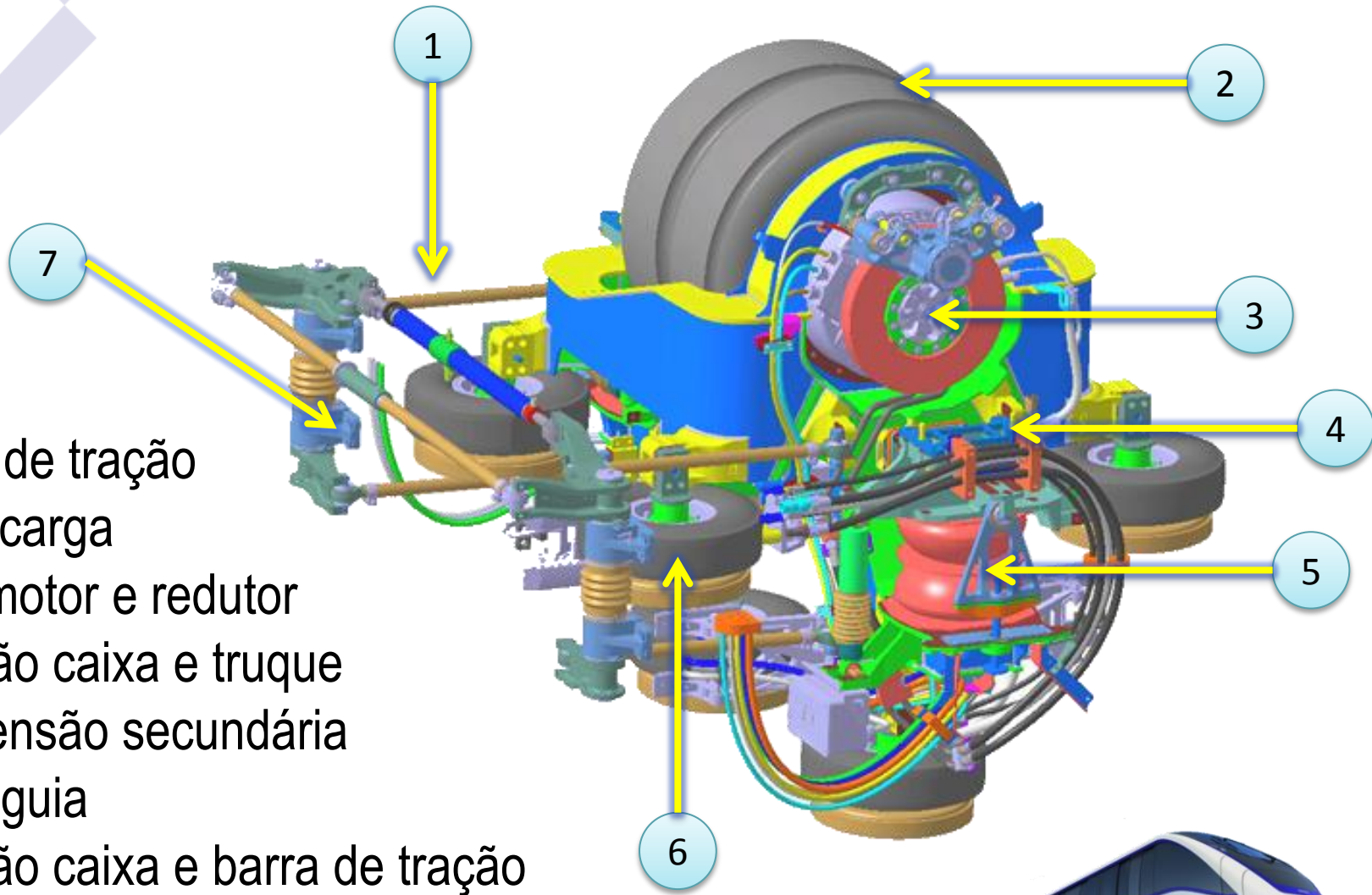
APRESENTAÇÃO TRUQUE



METRÔ

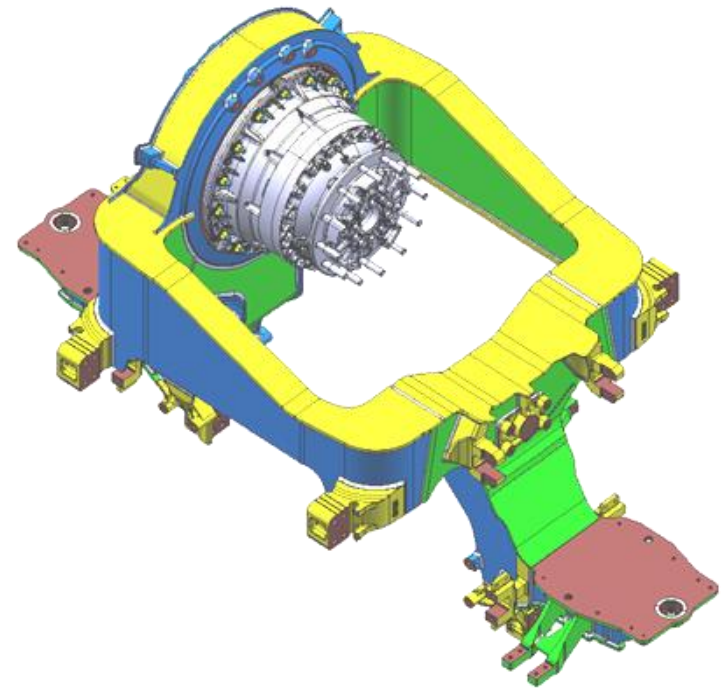


18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012





- ✓ Material: Aço Carbono
ASTM 572 Classe 50
 - ✓ Tipo de união: Solda
 - ✓ Norma: EN 13749:2005
- Métodos de especificação
dos requisitos dos quadros
de truque



INSTRUMENTAÇÃO



METRÔ



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

- ✓ 24 atuadores hidráulicos
- ✓ 24 células de cargas
- ✓ 10 transdutores de deslocamento
- ✓ 120 extensômetros



CASOS DE CARGA

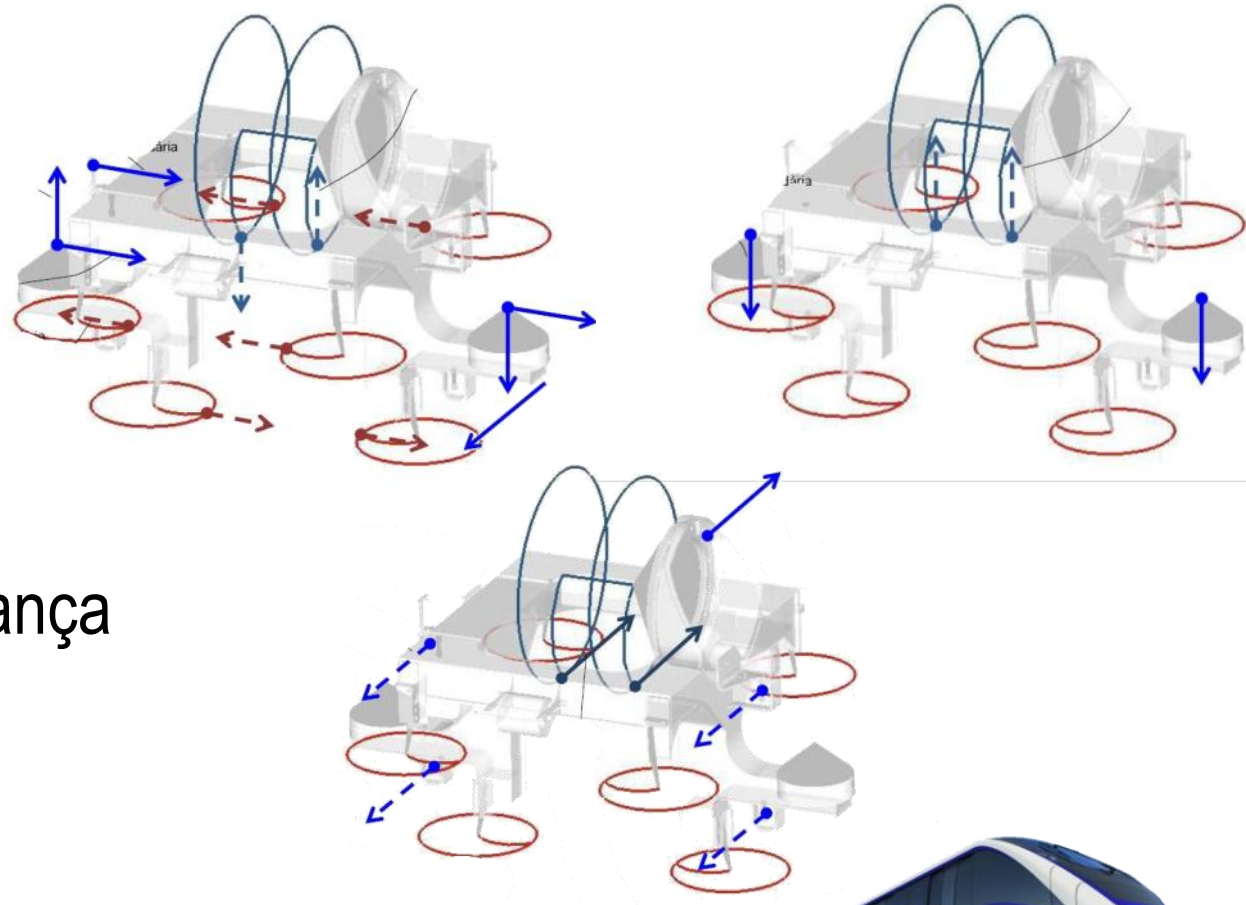


METRÔ



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

- 1) Carga vertical
- 2) Carga transversal
- 3) Carga frenagem
- 4) Cargas em curva
- 5) Carga colisão
- 6) Carga rodas segurança



PROCEDIMENTO DE TESTE FADIGA



METRÔ



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

Etapa	Descrição	Número de Ciclos	Nível de Carga
1	Teste de qualificação	10.000.000	100%
2	Teste estendido 1	1.000.000	135%
	Teste estendido 2	1.500.000	200%
		100.000	200%





Teste fadiga:

- Após o teste de qualificação observar a não ocorrência de aumento das indicações lineares constatadas na pré-carga
- Nenhuma trinca detectada após a conclusão do teste de qualificação





METRÔ



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

TESTE DINÂMICO

MONORAIL INNOVIA 300

Centro de Tecnologia da Bombardier
(Kingston - CA)



BOMBARDIER
the evolution of mobility

TESTES DINÂMICOS



METRÔ



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012

- ✓ Foi construída pela Bombardier (Kingston-CA) uma via de teste com 1,8 km que simula as principais condições do traçado previsto para os 24,5 km da Linha 15 – Prata, que permitirá a validação dos Sistemas do Material Rodante, Sinalização e Porta de Plataforma.



BOMBARDIER
the evolution of mobility

VISTA GERAL DA PISTA DE TESTE - KINGSTON



METRÔ



AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012



BOMBARDIER
the evolution of mobility

PISTA DE TESTE - KINGSTON



METRÔ



AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012



BOMBARDIER
the evolution of mobility

PISTA DE TESTE - KINGSTON



METRÔ



AEAMESP

18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012



BOMBARDIER
the evolution of mobility



METRÔ

Obrigado

BOMBARDIER

Chris Fifield

METRÔ

Adalberto de Paula Ramos – aramos@metrosp.com.br

Durval Odorico Brasil Andrade – dandrade@metrosp.com.br

Flávio Infanti – finfanti@metrosp.com.br

Filipe Canassa Venâncio – fcvenancio@metrosp.com.br

José Henrique Zaccardi de Freitas – jhfreita@metrosp.com.br

Mário Fukumori – mfukumori@metrosp.com.br

BOMBARDIER
the evolution of mobility



18ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2012