

IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE NOVAS FERROVIAS E O USO DE TRENS DE CAIXA MÓVEL

Felipe Rabay Lucas

Felipe Issa Kabbach Junior

23ª Semana de Tecnologia Metroferroviária

IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE NOVAS FERROVIAS E O USO DE TRENS DE CAIXA MÓVEL

Felipe Rabay Lucas

Felipe Issa Kabbach Junior

Engenheiro civil na Planservi Engenharia

Especialista em infraestruturas viárias

Mestre em Engenharia de Transportes (Poli-USP)

Engenheiro civil e diretor da Planservi Engenharia

Especialista em infraestruturas viárias

Doutor em Engenharia de Transportes (Poli-USP)

Professor do Departamento de Engenharia de Transportes da Poli-USP

23ª Semana de Tecnologia Metroferroviária



INTRODUÇÃO

- Trens de caixa móvel ou pendulares
 - Maior velocidade em curvas
 - Maior conforto
 - Uso da malha existente
- Trem Regional São Paulo – Sorocaba
- Trem Intercidades



Trem pendular

Fonte: BBC, 2014



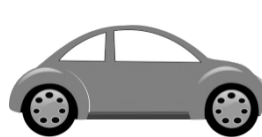
Traçado previsto do Trem Regional São Paulo – Sorocaba

Fonte: Folha de S. Paulo, 2013



CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

- Década de 1950: Concorrência
- 1964: Trem de Alta Velocidade (TAV)
- Década de 1970: Sucateamento (Brasil)
- Década de 1980: Trens pendulares



Primeiro Shinkansen – Trem de Alta Velocidade japonês

Fonte: Wikipedia, 2014

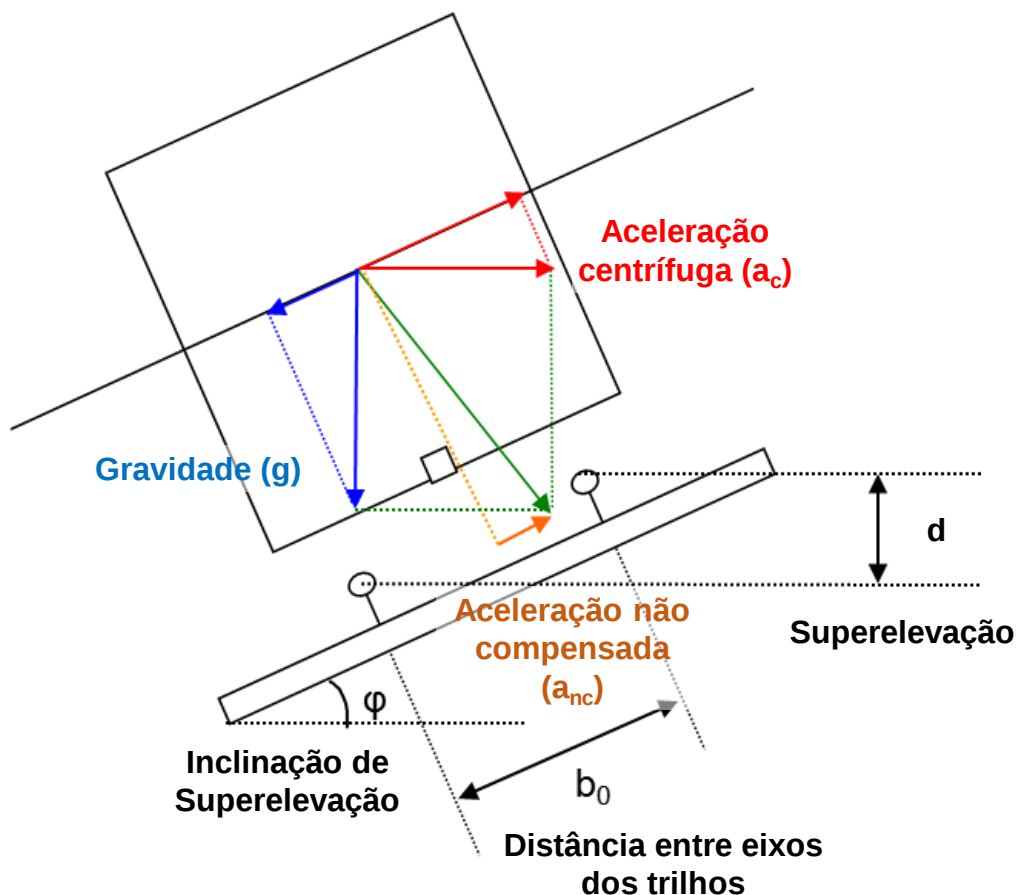


Exemplos dos primeiros trens pendulares em operação comercial

Fontes: trainsworldexpresses.com, 2014 e Wikipedia, 2014



DINÂMICA DOS VEÍCULOS EM CURVA



Para bitola internacional (1435 mm)

$$a_{nc} = \frac{v^2}{R} - g \cdot \frac{d}{b_0}$$

R: Raio da curva horizontal

v: Velocidade do trem

Flexibilidade da suspensão

$$a_{nc,f} = f_R \cdot a_{nc}$$

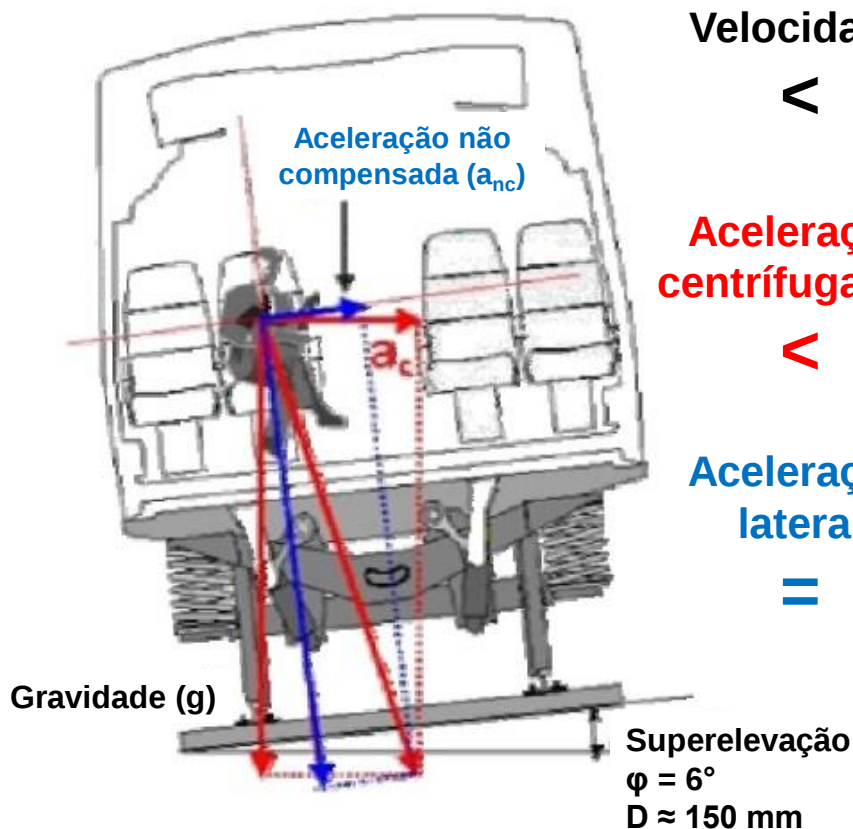
f_R: Fator de rolamento

a_{nc,f}: Aceleração não compensada considerando o efeito

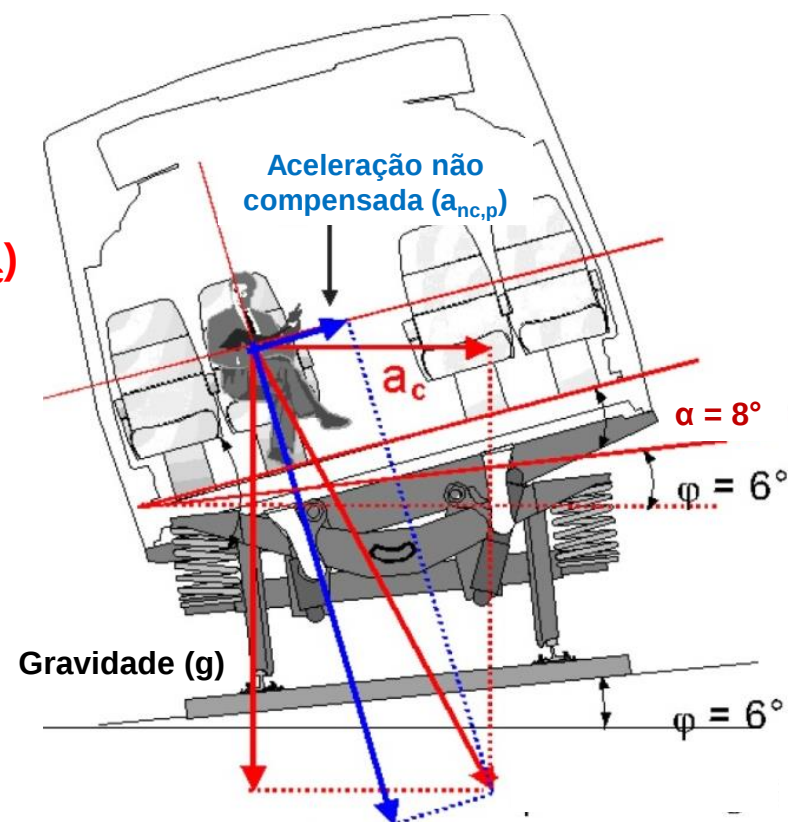
Trem percorrendo a curva

Fonte: Porto e Kabbach Junior, 2002

CONCEITO DO SISTEMA PENDULAR



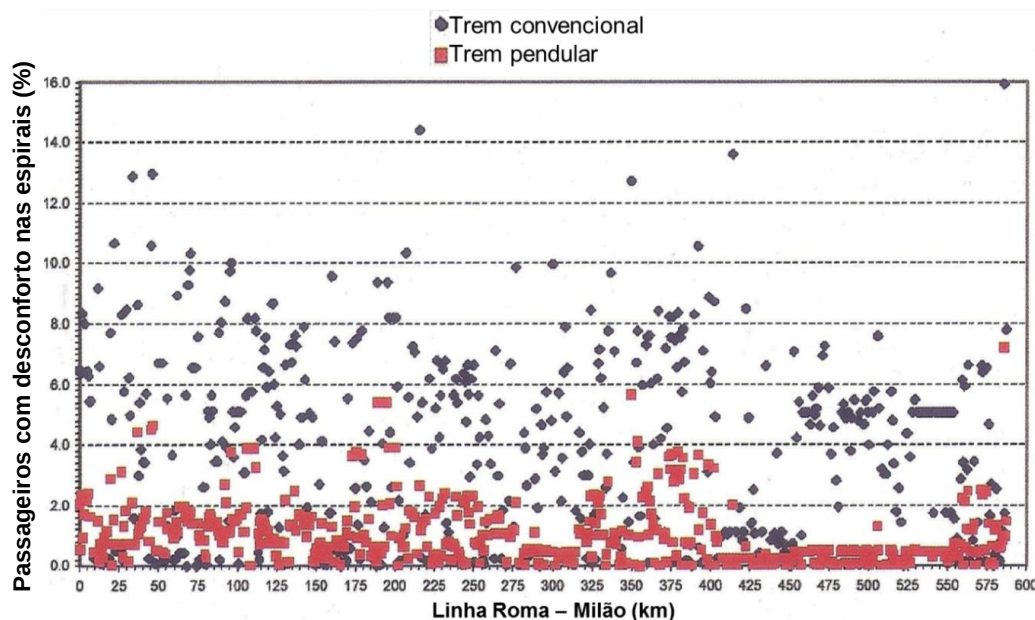
Trem convencional
Fonte: CPTM, 2011



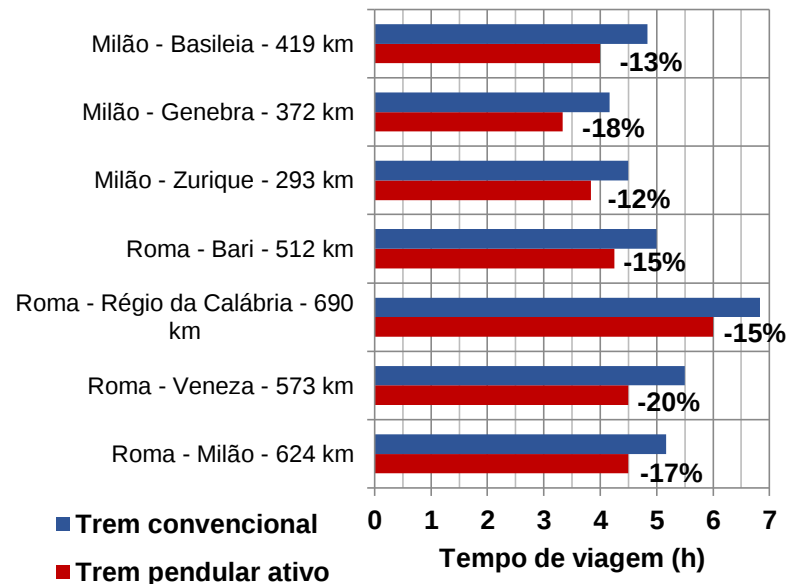
Trem pendular
Fonte: Alstom, 2010

SEGURANÇA, CONFORTO E ECONOMIA DE TEMPO

- Descarrilamento
- Resistência lateral da via
- Tombamento
- Gabarito dinâmico



Avaliação do conforto
Fonte: PITA, 2006



Redução de tempos de viagem
Fonte: PITA, 2006

VARIANTES DE MATERIAL RODANTE TREM PENDULAR PASSIVO (OU NATURAL)



Natural tilting system

Material rodante com sistema pendular natural (Talgo)

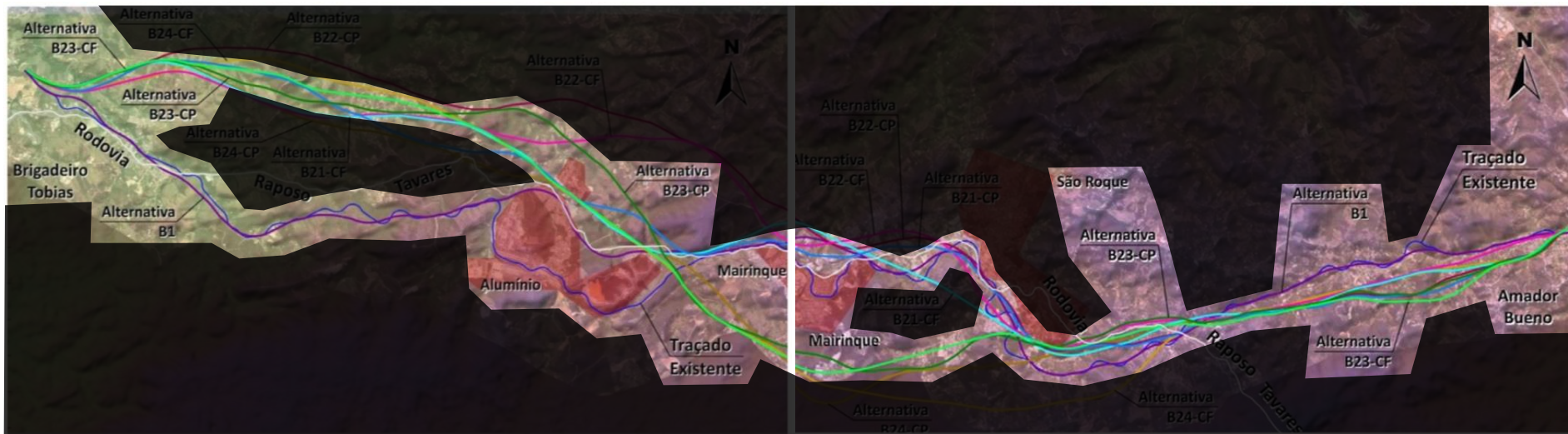
Fonte: Talgo, 2011

VARIANTES DE MATERIAL RODANTE TREM PENDULAR ATIVO



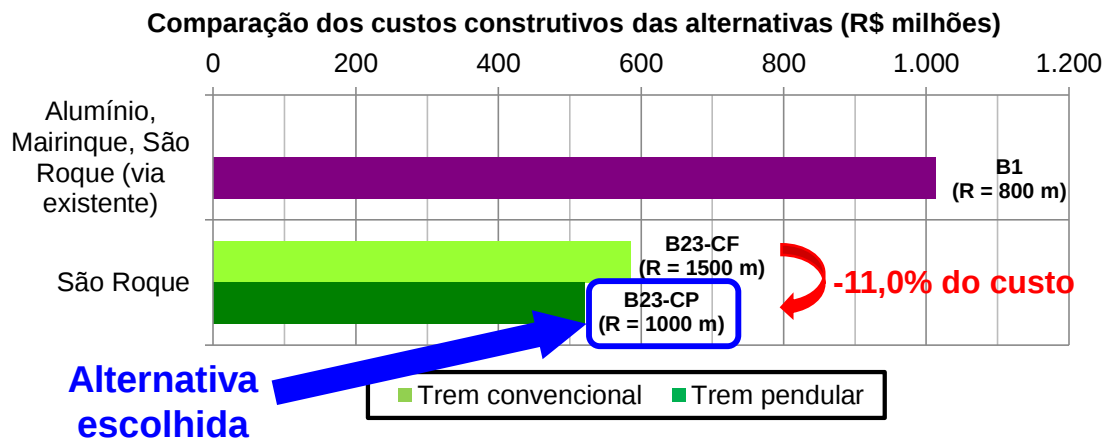
Material rodante com sistema pendular ativo
Fonte: Adaptado de Youtube – Canal Alstom, 2015

PROJETO FUNCIONAL TREM REGIONAL SÃO PAULO - SOROCABA



Alternativas de traçado do projeto funcional (trecho rural)

Fonte: CPTM, 2011



Fonte: CPTM, 2011

- Tempos de viagem (B23-CP)

- Trem convencional: 21,4 min
- Trem pendular: 20,4 min (-5,0%)

ESTUDO DE CASO 1 – CORREDOR SÃO PAULO – SO-ROCABA – OPERAÇÃO COM TRENS PENDULARES

- Alterações no projeto
 - Aceleração não compensada: $0,65 \text{ m/s}^2$
 - Curvas de transição
- Material rodante
 - Convencional
 - Pendular passivo
 - Pendular ativo

Nível de conforto	Aceleração lateral (m/s^2)	
	Passageiro sentado	Passageiro em pé
Muito bom	1,00	0,85
Bom	1,20	1,00
Aceitável	1,40	1,20
Aceitável, excepcionalmente	1,50	1,40

Limites para a aceleração lateral

Fonte: Pita, 1998

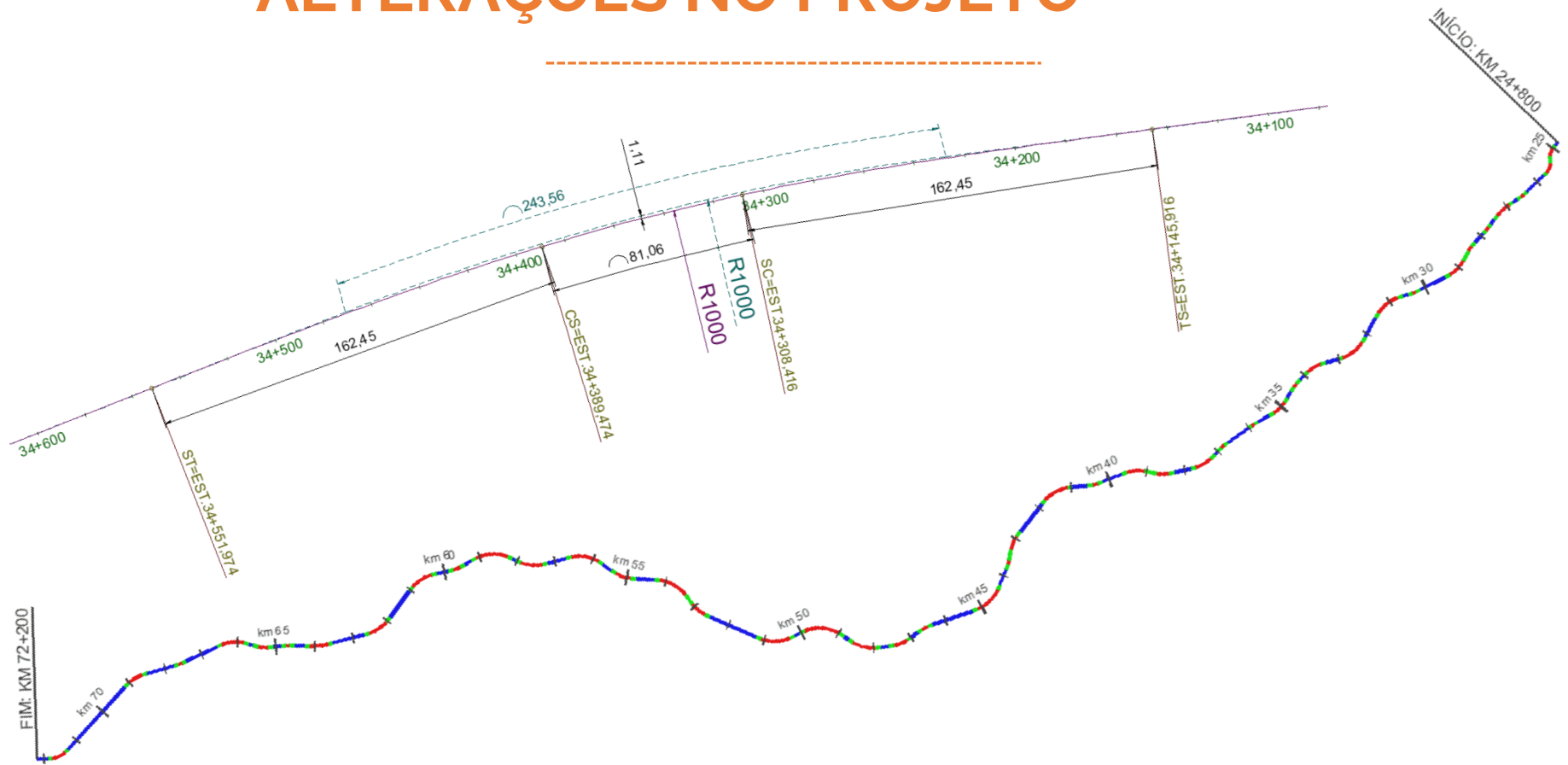
		Material rodante		
		Convencional	Pendular passivo	Pendular ativo
Para as curvas de $R = 1000 \text{ m}$ do traçado (38 de 44)	Unidade	Opção F-0	Opção F-1	Opção F-2
Giro da caixa do veículo	°	0,0	4,0	8,0
Velocidade máxima	km/h	145,6	172,2	195,0
Desenvolvimento mínimo da curva de transição	m	121,3	95,7	162,5

Redefinição de parâmetros de projeto

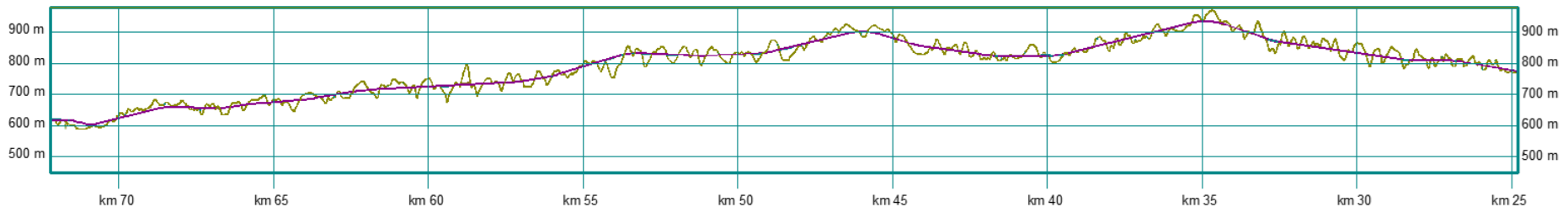


ESTUDO DE CASO 1

ALTERAÇÕES NO PROJETO

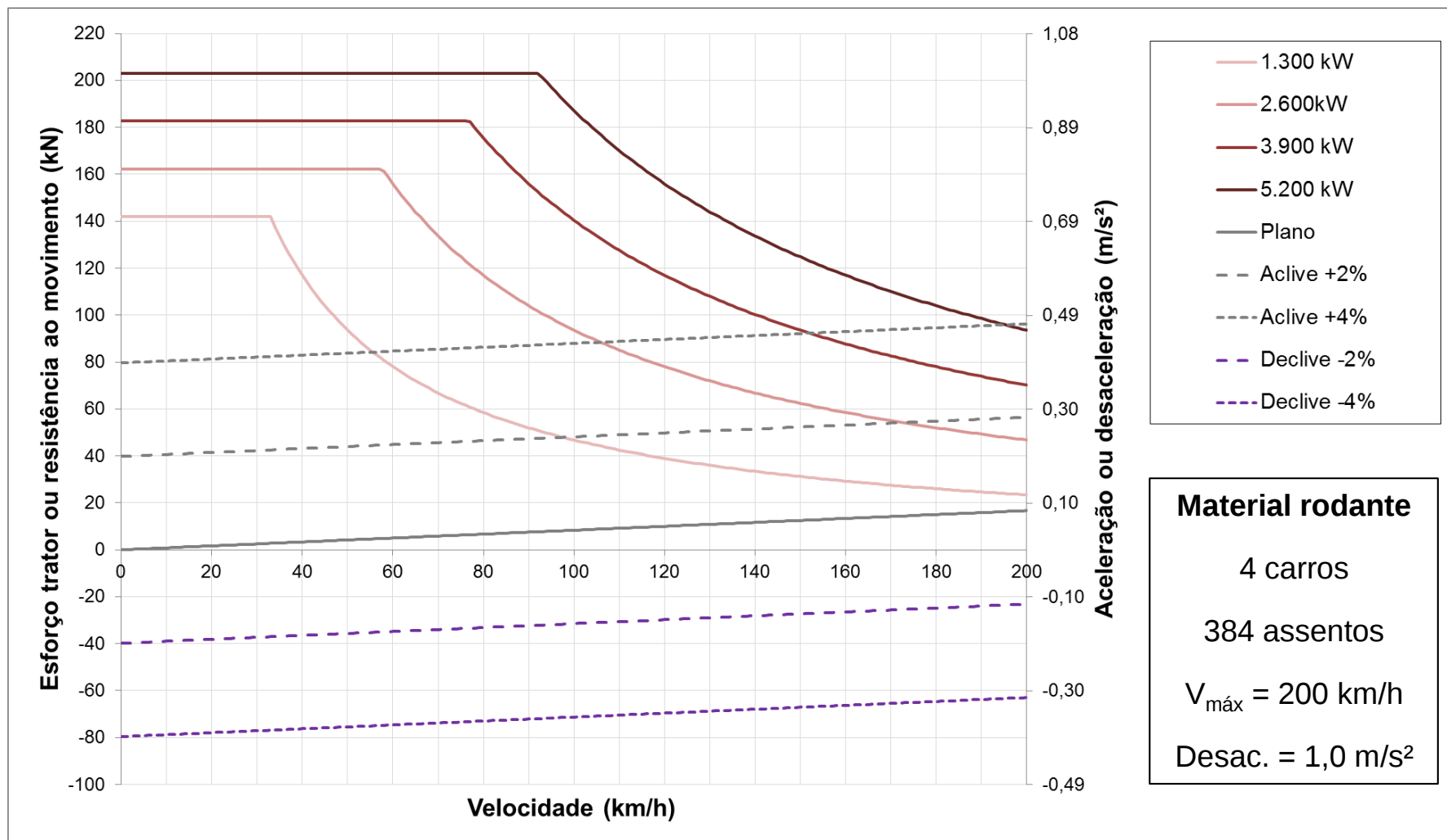


Fonte: Adaptado de Planservi, 2012



ESTUDO DE CASO 1

NOVAS SIMULAÇÕES DE MARCHA



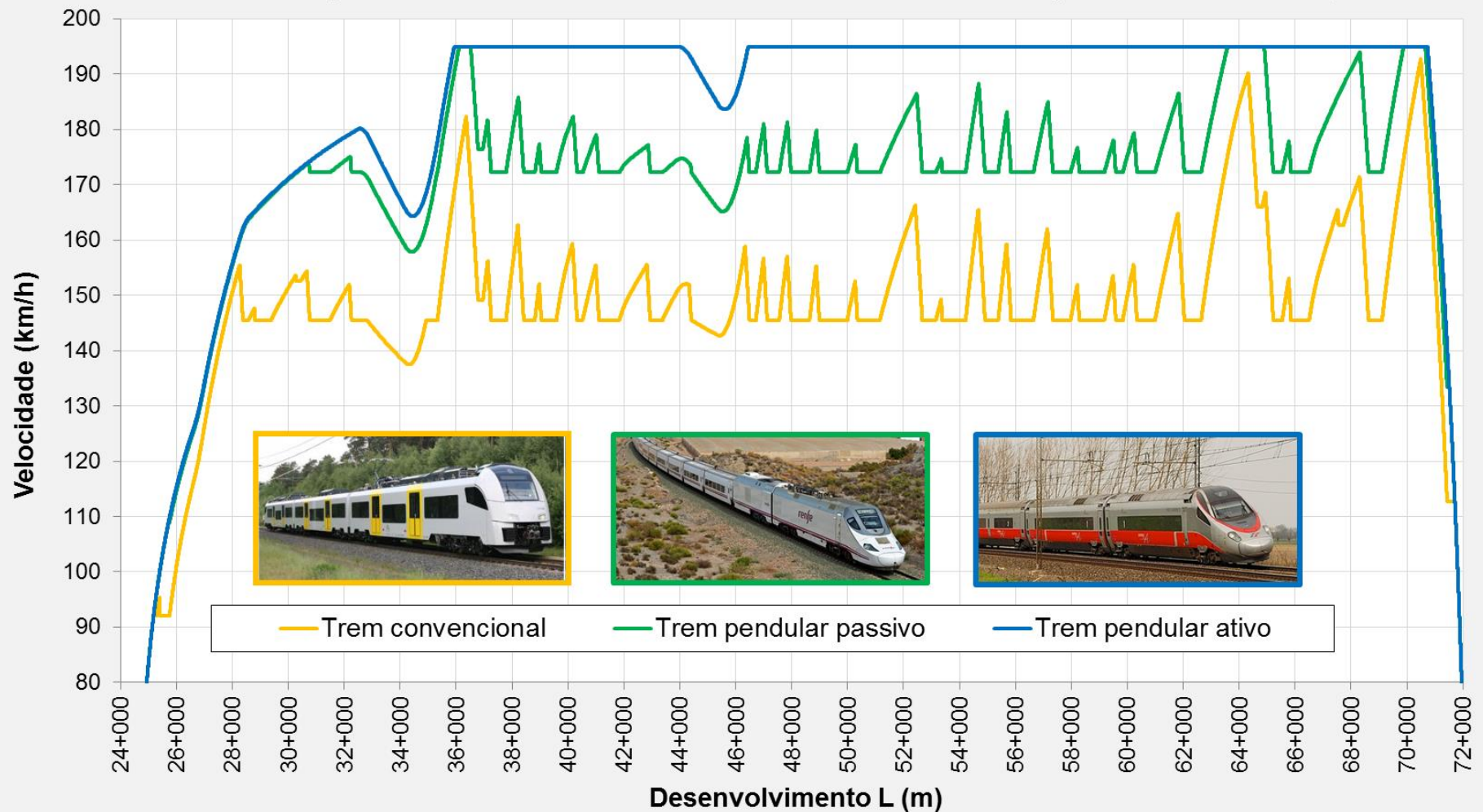
Curvas de motorização

Fonte: Adaptado de Siemens, 2011

ESTUDO DE CASO 1

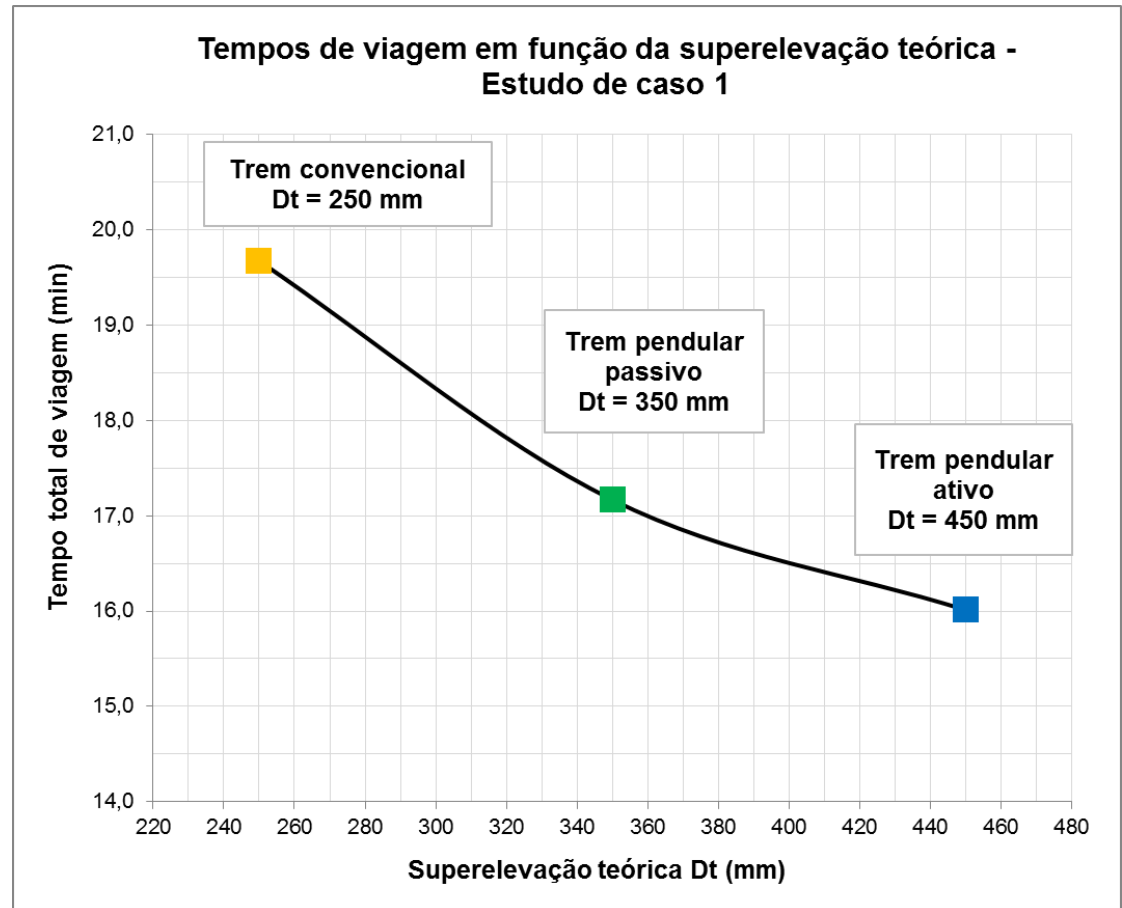
NOVAS SIMULAÇÕES DE MARCHA

Simulações de marcha - Corredor São Paulo - Sorocaba (potência: 2.600 kW)

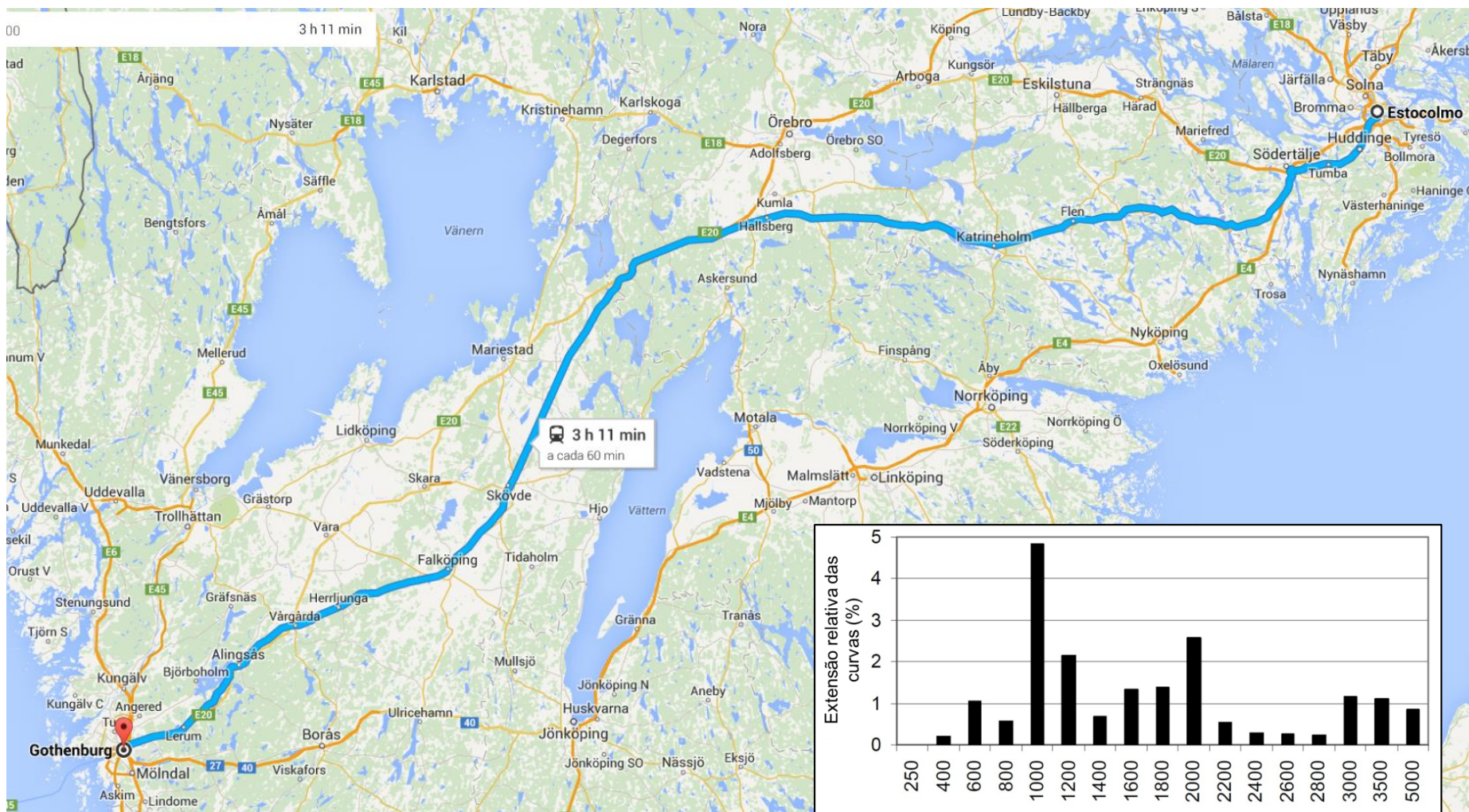


ESTUDO DE CASO 1 – TEMPOS DE VIAGEM

- Potência ótima de 2.600 kW
 - Trem convencional: 19,7 min
 - Trem pendular passivo: 17,2 min
 - Trem pendular ativo: 16,0 min



ESTUDO DE CASO 2 - CORREDOR SUECO TRAÇADO POUCO SINUOSO



Traçado do corredor Gotemburgo – Estocolmo

Fonte: Google Maps, 2014

Distribuição das curvas por raio

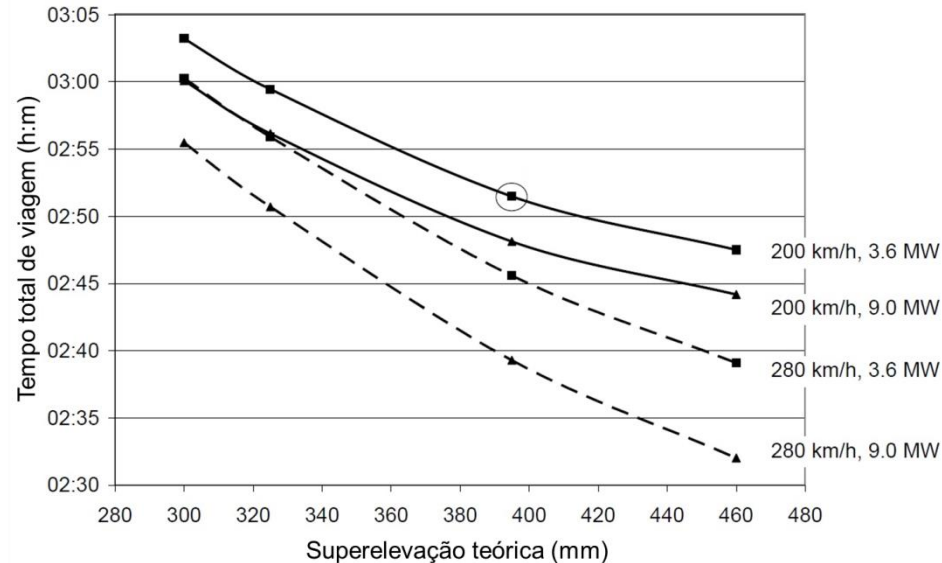
Fonte: Persson, 2008

ESTUDO DE CASO 2

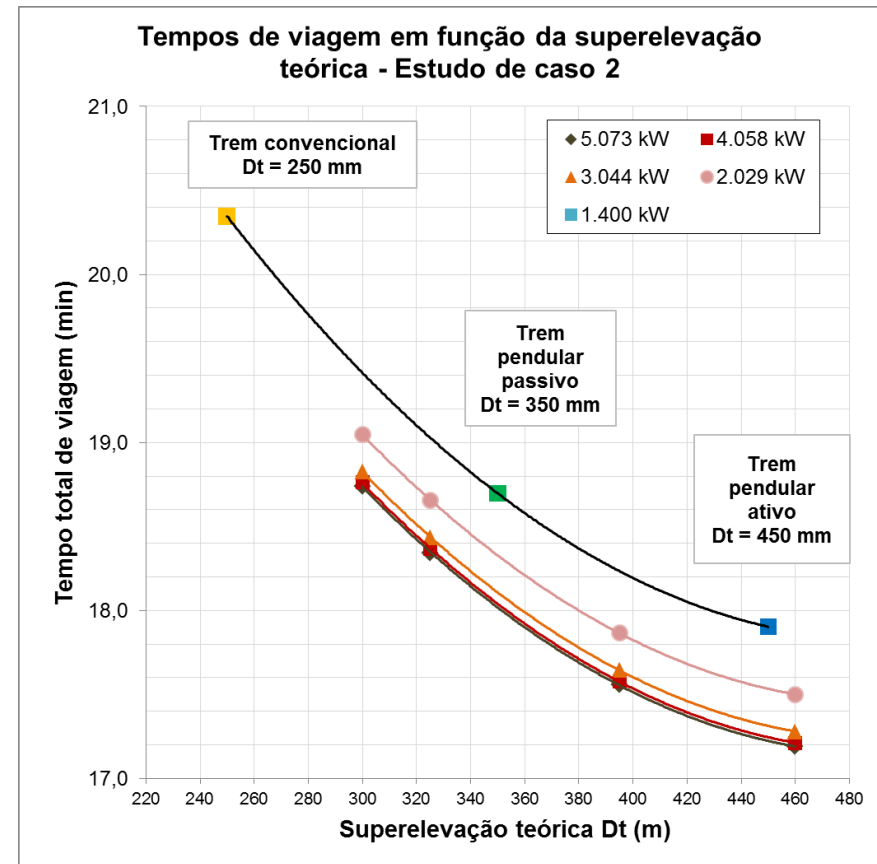
TEMPOS DE VIAGEM

Tempos de viagem do estudo original

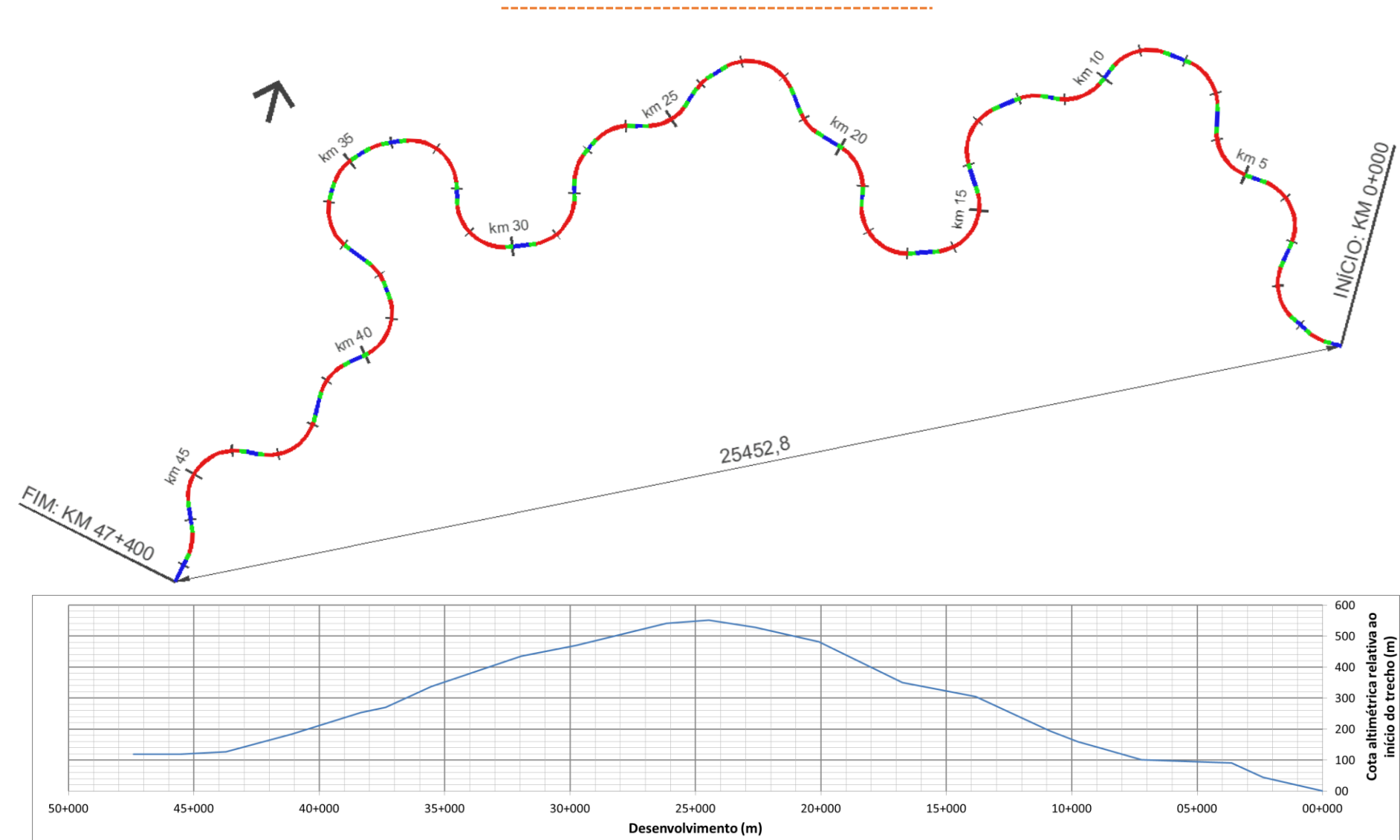
Fonte: Persson, 2008

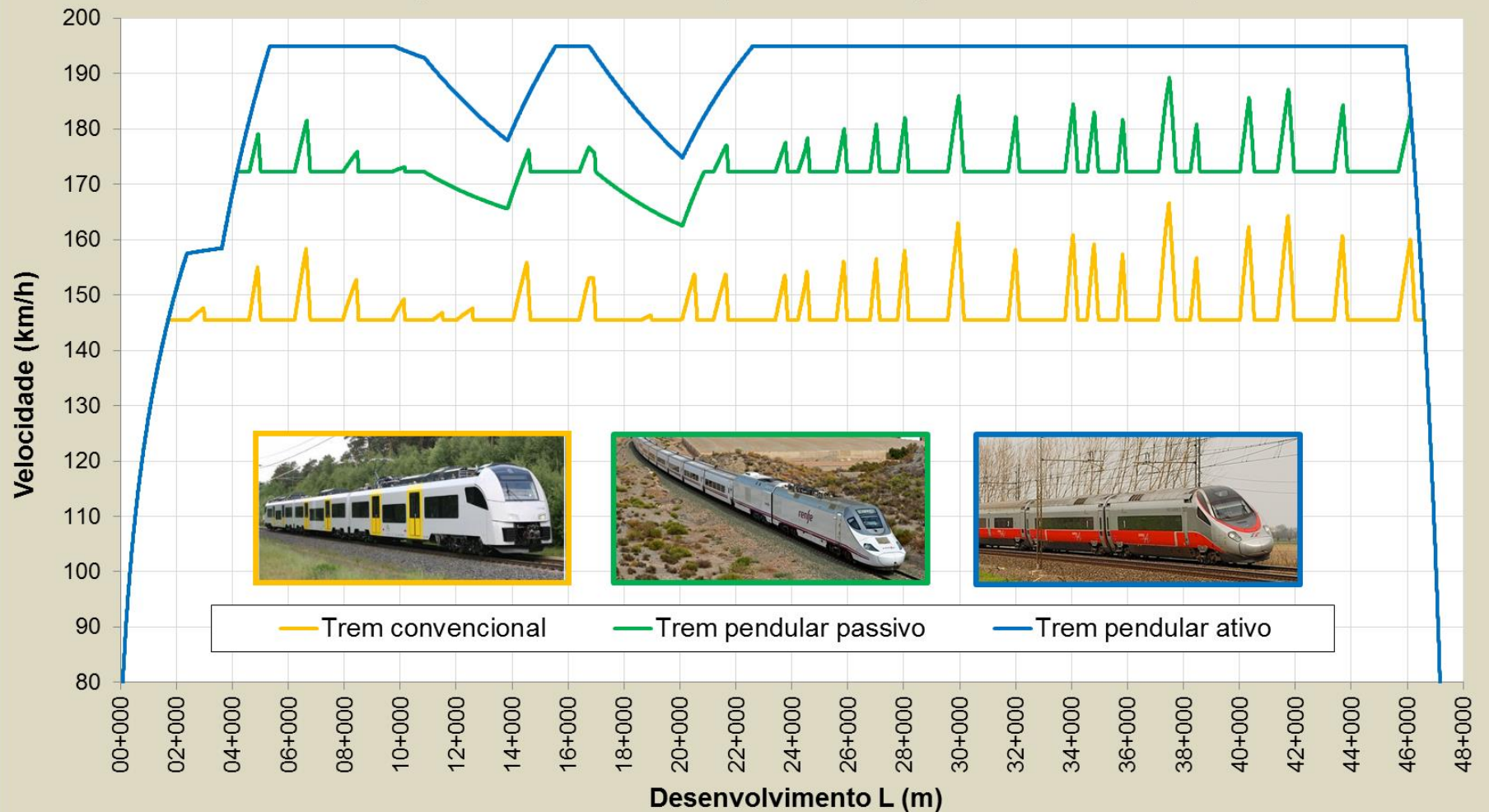


- Potência ótima de 1.400 kW
 - Trem convencional: 20,4 min
 - Trem pendular passivo: 18,7 min
 - Trem pendular ativo: 17,9 min



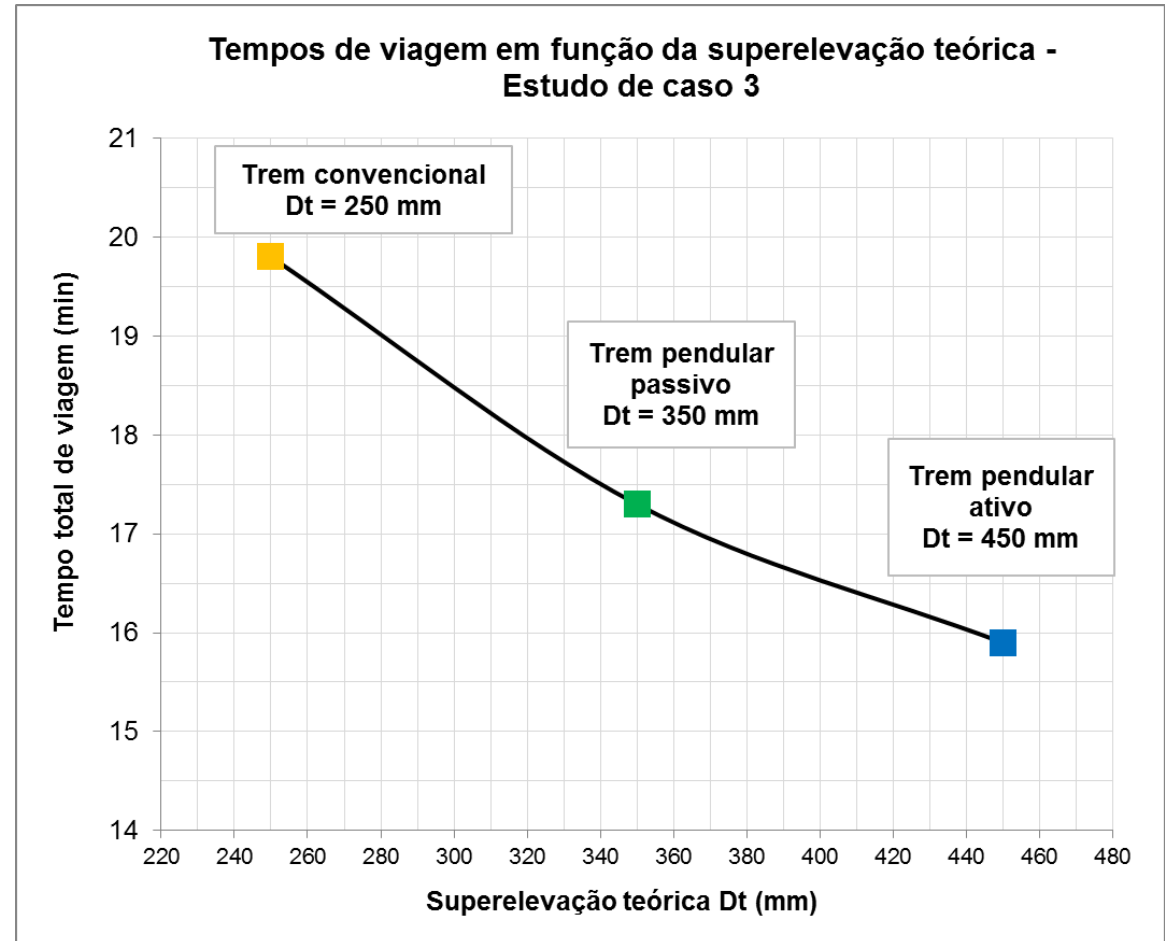
ESTUDO DE CASO 3 - TRAÇADO TEÓRICO MUITO SINUOSO



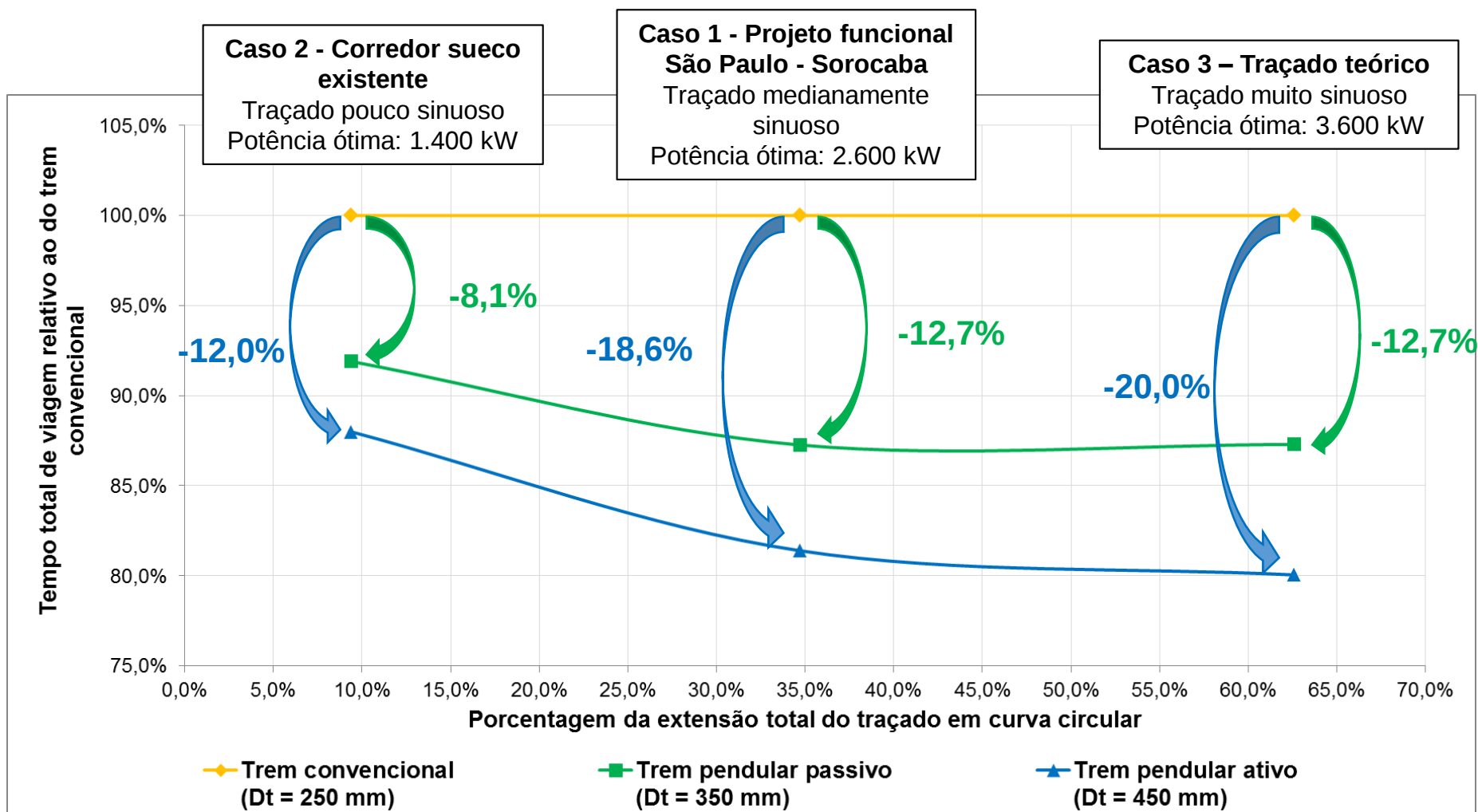


ESTUDO DE CASO 3 – TEMPOS DE VIAGEM

- Potência ótima de 3.600 kW
 - Trem convencional: 19,8 min
 - Trem pendular passivo: 17,3 min
 - Trem pendular ativo: 15,9 min



COMPARAÇÃO GERAL ESTUDOS DE CASO 1 A 3



CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Trens pendulares: maior velocidade nas curvas
- Variantes
 - Sistema passivo (4°)
 - Sistema ativo (8°)
- Estudo de caso 1
 - Redução de custos construtivos
 - Curvas de transição necessárias mais longas
- Comparação geral dos estudos de caso
 - Redução de até 20% do tempo de viagem
- Novos corredores: curvas de transição mais longas - Prever a operação de trens pendulares



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fonte: Youtube – Canal PerryMason5410, 2012



TRENS PENDULARES

+ *Velocidade* = - *Tempo de viagem:*

+ *Conforto:*

+ *Trilhos*

=

+ *Desenvolvimento:*

Urbano

Econômico

Humano



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALSTOM. **Technologies & Systems - Tiltronix: Leaning towards high speed**. Alstom. 2010.

ALSTOM. **Tilting Pendolino – 3D Animation**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ELSpGxxUjVE>. 01/11/15. Acesso em 26/08/17.

CPTM. **Estudos de Traçado, de Viabilidade Técnica, Operacional e Ambiental, de Inserção Urbana e de Projeto Funcional para Implantação de um Serviço Ferroviário de Passageiros ligando as cidades de São Paulo e Sorocaba**. Companhia Paulista de Trens Metropolitanos. São Paulo. 2011.

FOLHA DE S. PAULO. **Trem de São Paulo a Sorocaba só terá obra em 2015**. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2013/07/1310667-trem-de-sao-paulo-a-sorocaba-so-tera-obra-em-2015.shtml>. 13/07/13. Acesso em 20/08/17.

PERRYMAISON5410. **Virgin Pendolino's Full on Tilt at 125mph**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=usHD1shuOFs>. 15/11/12. Acesso em 26/08/17.

PERSSON, R. **Tilting trains: Technology, benefits and motion sickness**. Estocolmo: Royal Institute of Technology (KTH), 2008.

PITA, A. L. **Infraestructuras ferroviarias**. Barcelona: Edicions UPC, 2006.

PITA, A. L. **Pendulación, Basculación y Construcción de Infraestructuras Ferroviarias: Opciones alternativas y complementarias**. Madri: Ministerio de Fomento. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones, 1998.

PLANSERVI. **Projeto geométrico funcional da ferrovia São Paulo - Sorocaba**. Planservi Engenharia. São Paulo. 2012.

PORTO, T. G.; KABBACH JUNIOR, F. I. **PTR - 2302 Projeto de Infra-estrutura de Vias de Transportes Terrestres: Aula Ferrovia I**. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2002.

SIEMENS. **Siemens - Desiro ML: Soluções Siemens para os Trens Regionais no Brasil**. Siemens. São Paulo. 2011.

TALGO. **Apresentação Talgo**. [S.I.]. 2011.



IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE NOVAS FERROVIAS E O USO DE TRENS DE CAIXA MÓVEL

Felipe Rabay Lucas

Felipe Issa Kabbach Junior

Obrigado pela atenção!

23ª Semana de Tecnologia Metroferroviária

