

# Simulação Computacional da Via Operacional da Linha 6 Laranja do metrô da cidade de São Paulo

*Marcelo Moretti Fioroni*

*Gustavo Coelho Rodrigues*

*Luiz Augusto G. Franzese*

*André Scorza*

*Gabriel D'avelly Garcia*

*Isac Reis de Santana*

**21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

# AEAMESP



TRABALHO FINALISTA



PRÊMIO  
TECNOLOGIA &  
DESENVOLVIMENTO  
METROFERROVIÁRIOS  
2015



ESTE TRABALHO FOI SELECIONADO COMO FINALISTA NA EDIÇÃO DE 2015



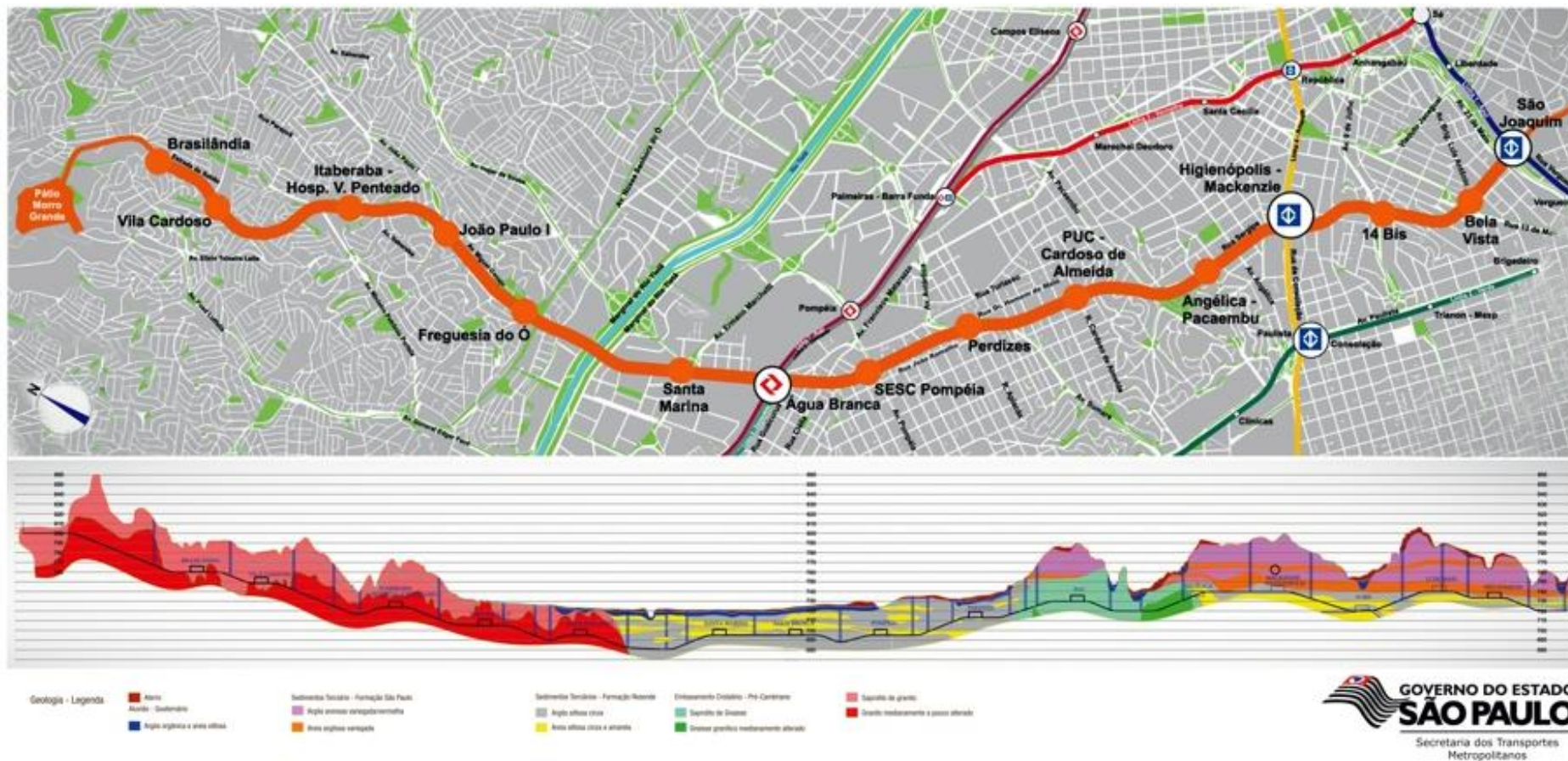
# O Desafio

A **Move São Paulo** é a Concessionária responsável pela PPP da Linha 6 Laranja do Metrô de São Paulo

**MOVE**  
**SÃO PAULO** **6**

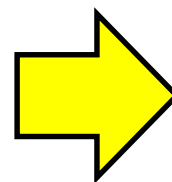


# 15Km de extensão – 15 estações



# Questões

- O traçado da via permanente é mais adequado a operação?
- Qual trem possui a melhor performance, dentre os disponíveis?
- Quantas composições?
- Qual a velocidade máxima ideal?
- Qual a energia consumida?
- Qual o comportamento/impacto em diferentes situações de anormalidade?



***Simulação***

# O Estudo de Simulação



Empresa brasileira com mais de 20 anos de experiência em tomada de decisão com simulação.

## Experiência em simulação:

- EFVM, Carajás e Pátio de Tubarão
- Malha da MRS
- Malha da ALL na região sul
- Ferrovias da Cerrejón e Paz del Río na Colômbia
- Canal do Panamá

...entre outros



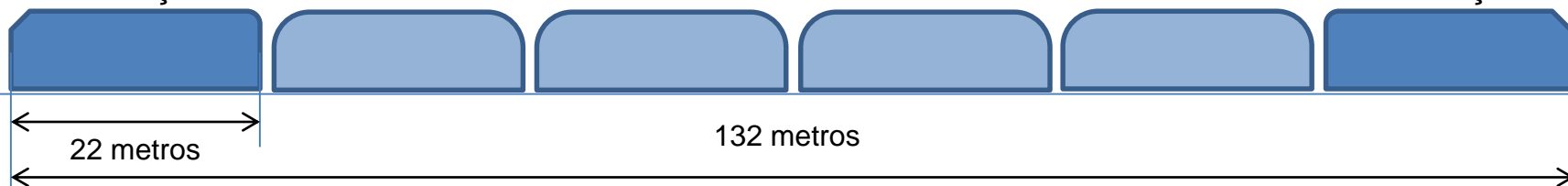
# Números do Projeto

- Cenários elaborados para atender a demanda de 35.233 passageiros/hora (diretriz do Contrato de Concessão);
- A aceleração máxima utilizada é de  $1,0 \text{ m/s}^2$  e a desaceleração de  $0,85 \text{ m/s}^2$ ;
- Peso das composições variável, conforme especificações de cada fornecedor;
- O tempo de parada do trem na plataforma é de 36 segundos;
- Foi adotado a taxa de ocupação de passageiros em AW3, que assume 6 passageiros por  $\text{m}^2$  no interior dos trens;
- Todos os carros possuem tração;
- Intervalo entre trens não pode exceder 6 minutos
- O trem deve entrar na estação no máximo a  $60 \text{ Km/h}$

Carro com console  
de condução

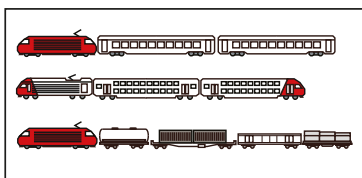
Carros intermediários sem console

Carro com console  
de condução

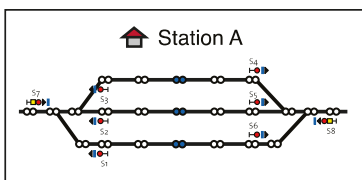


# Ferramenta

## Dados de entrada



Material circulante

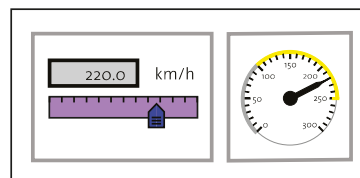


Infra-estrutura

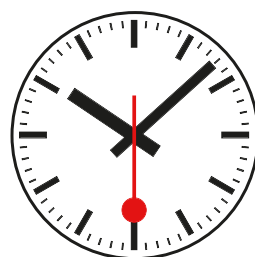
Course ID	Station	Arrival	Departure	Wait
IC 5000	IGG	HH:MM:SS	o8:20:00	o
IC 5000	YPS	o8:24:00	o8:25:00	60
IC 5000	OBE	HH:MM:SS	o8:31:00	30
IC 5000	AAT	HH:MM:SS	o8:38:00	60
IC 5000	GR5	HH:MM:SS	HH:MM:SS	o
IC 5000	PEW	HH:MM:SS	HH:MM:SS	o
IC 5000	WED	o8:55:00	HH:MM:SS	60

Horários

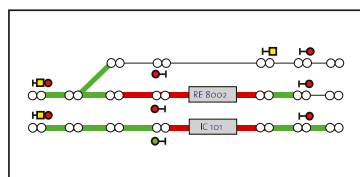
## Simulação



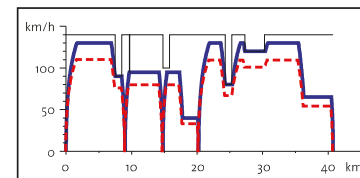
Inter-actividade



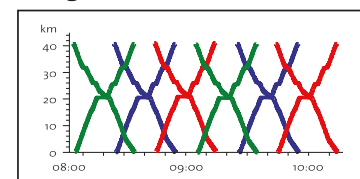
Animação



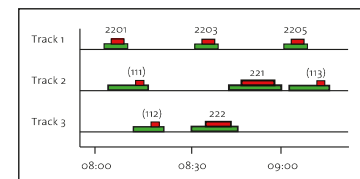
## Dados de saída



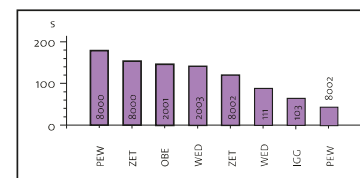
Diagramas



Gráficos de comboios



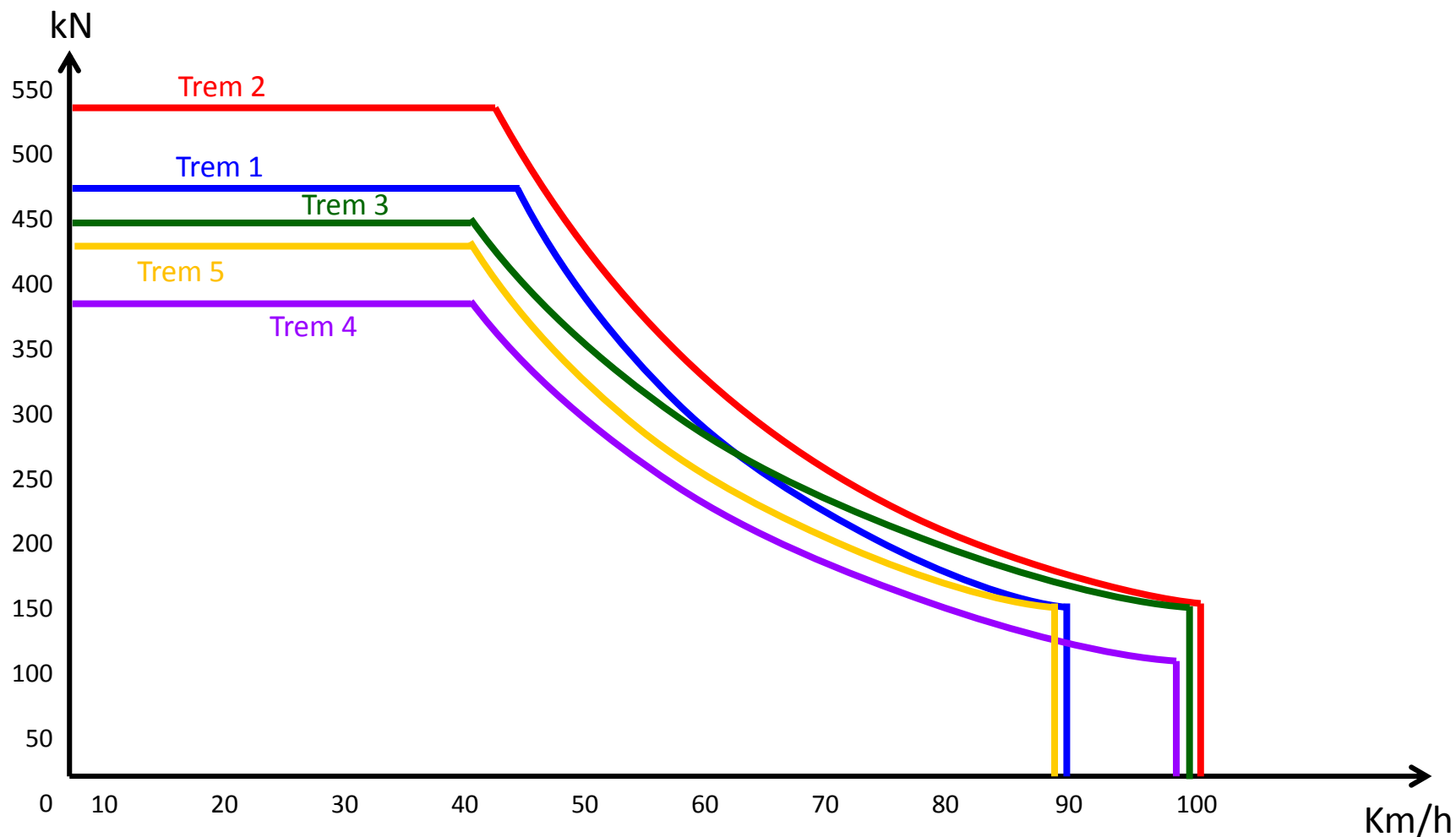
Ocupação das vias



Dados estatísticos



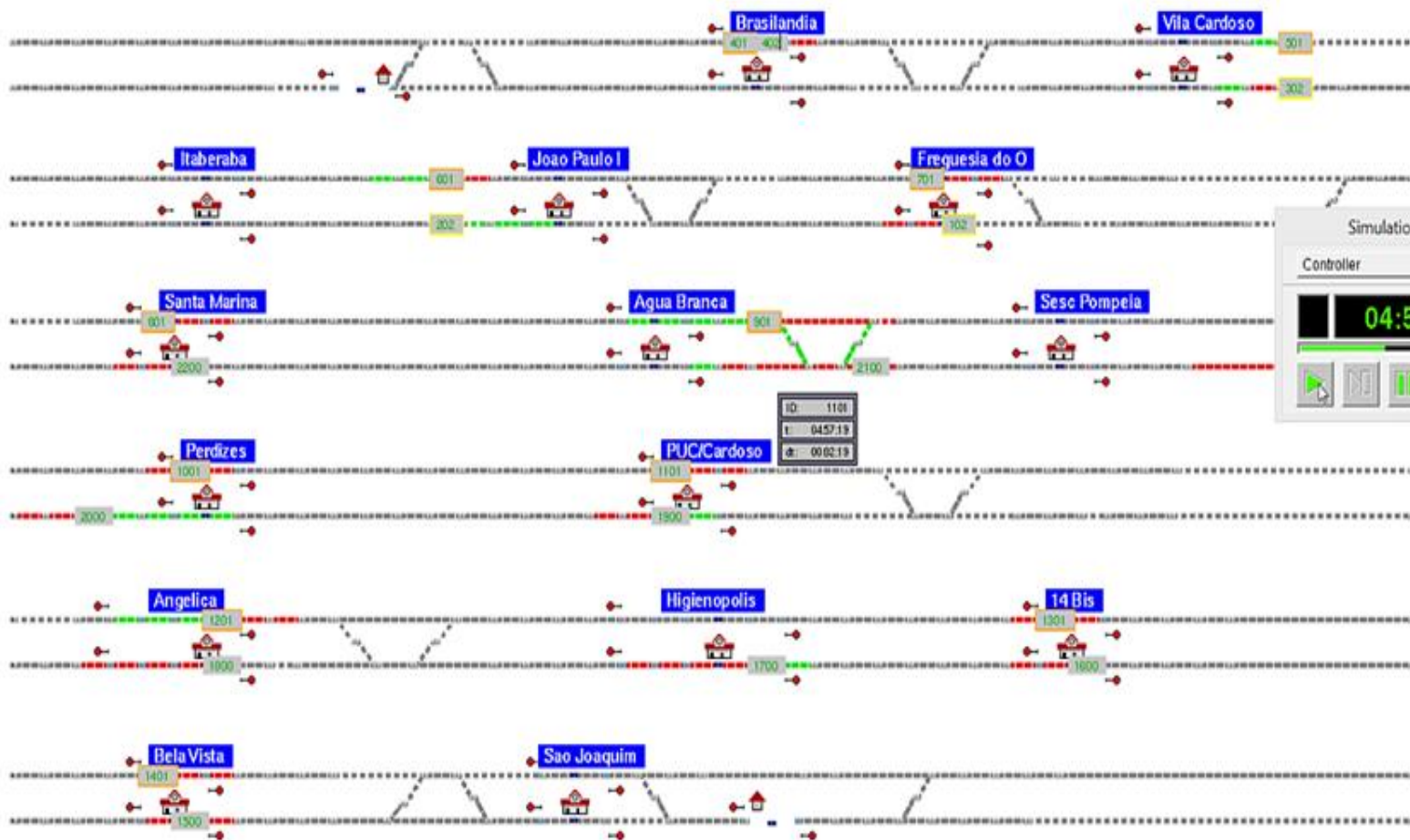
## Curvas de esforço trator variáveis, conforme especificações dos fornecedores



Obs.: As curvas apresentadas são apenas ilustrativas, não representando as curvas reais dos fornecedores.



## Linha 6 - Laranja



Simulation Controller

04:57:38



# Resultados para velocidade máxima de 80Km/h

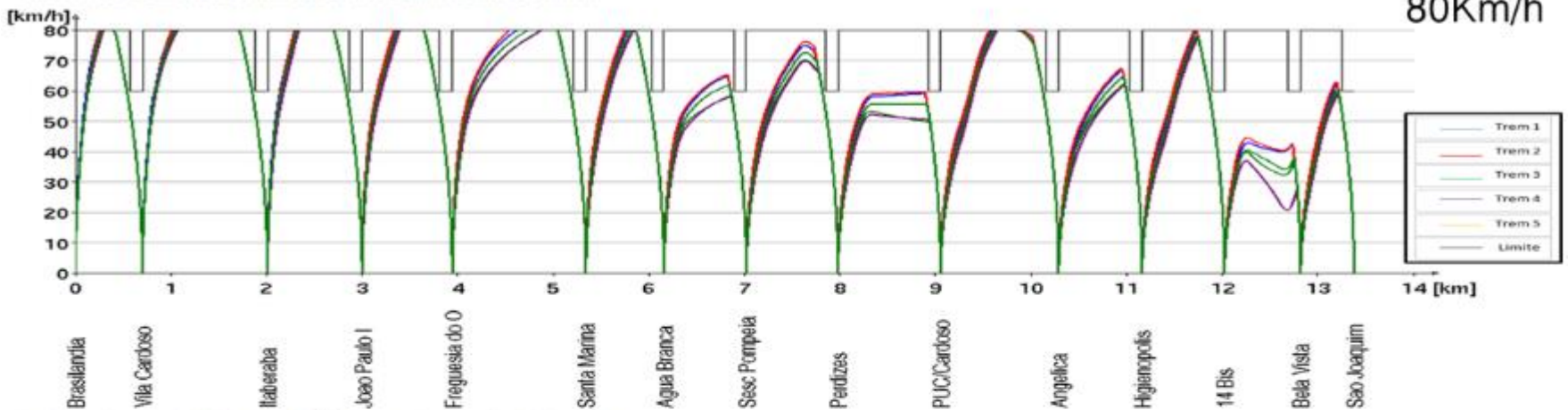
#	Cenário	Número de trens	Velocidade Máxima (Km/h)	Tempo de ciclo (min.)	Headway (seg)	Headway ótimo (seg)	Energia consumida ciclo (MJ)	Energia consumida hora pico (MWh)	Energia total consumida hora pico (MWh)	Passageiros Transportados/hora	Percentual Atendimento
1	Avaliação trem 1	20	80	0:51:12	153.6	144.2	4,321	1.41	28	36,820	104.5%
2		21	80	0:51:12	146.3	144.2	4,321	1.41	30	38,661	109.7%
3		22	80	0:51:12	139.6	144.2	4,321	1.41	31	40,502	115.0%
4		23	80	0:51:12	133.6	144.2	4,321	1.41	32	42,343	120.2%
5	Avaliação trem 2	20	80	0:50:52	152.6	143.8	4,435	1.45	29	36,944	104.9%
6		21	80	0:50:52	145.3	143.8	4,435	1.45	31	38,791	110.1%
7		22	80	0:50:52	138.7	143.8	4,435	1.45	32	40,638	115.3%
8		23	80	0:50:52	132.7	143.8	4,435	1.45	33	42,485	120.6%
9	Avaliação trem 3	20	80	0:52:25	157.3	143.2	4,161	1.32	26	35,714	101.4%
10		21	80	0:52:25	149.8	143.2	4,161	1.32	28	37,500	106.4%
11		22	80	0:52:25	143.0	143.2	4,161	1.32	29	39,285	111.5%
12		23	80	0:52:25	136.7	143.2	4,161	1.32	30	41,071	116.6%
13	Avaliação trem 4	20	80	0:53:26	160.3	146.1	4,109	1.28	26	35,731	101.4%
14		21	80	0:53:26	152.7	146.1	4,109	1.28	27	37,517	106.5%
15		22	80	0:53:26	145.7	146.1	4,109	1.28	28	39,304	111.6%
16		23	80	0:53:26	139.4	146.1	4,109	1.28	29	41,090	116.6%
17	Avaliação trem 5	20	80	0:52:04	156.2	145.1	4,211	1.35	27	36,415	103.4%
18		21	80	0:52:04	148.8	145.1	4,211	1.35	28	38,236	108.5%
19		22	80	0:52:04	142.0	145.1	4,211	1.35	30	40,056	113.7%
20		23	80	0:52:04	135.8	145.1	4,211	1.35	31	41,877	118.9%

# Resultados para velocidade máxima de 90Km/h

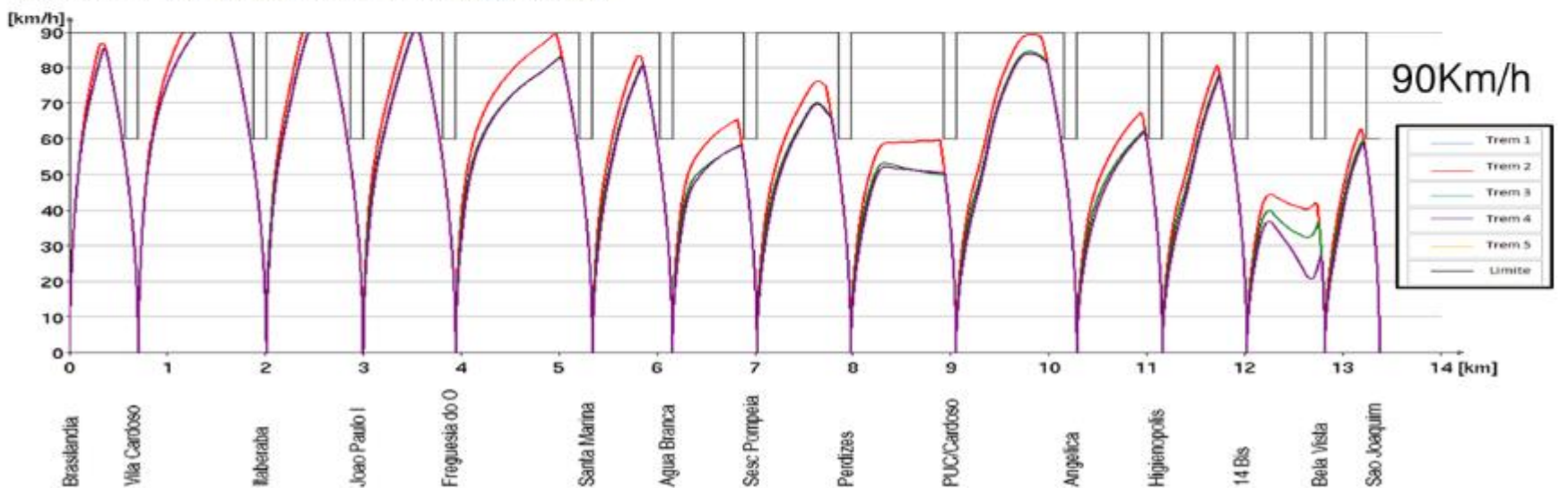
#	Cenário	Número de trens	Velocidade Máxima (Km/h)	Tempo de ciclo (min.)	Headway (seg)	Headway ótimo (seg)	Energia consumida ciclo (MJ)	Energia consumida hora pico (MWh)	Energia total consumida hora pico (MWh)	Passageiros Transportados/hora	Percentual Atendimento
21	Avaliação trem 1	20	90								
22		21	90								
23		22	90								
24		23	90								
25	Avaliação trem 2	20	90	0:50:28	151.4	143.8	4,721	1.56	31	37,236	105.7%
26		21	90	0:50:28	144.2	143.8	4,721	1.56	33	39,098	111.0%
27		22	90	0:50:28	137.6	143.8	4,721	1.56	34	40,960	116.3%
28		23	90	0:50:28	131.7	143.8	4,721	1.56	36	42,822	121.5%
29	Avaliação trem 3	20	90	0:52:07	156.4	143.2	4,358	1.39	28	35,919	101.9%
30		21	90	0:52:07	148.9	143.2	4,358	1.39	29	37,715	107.0%
31		22	90	0:52:07	142.1	143.2	4,358	1.39	31	39,511	112.1%
32		23	90	0:52:07	136.0	143.2	4,358	1.39	32	41,307	117.2%
33	Avaliação trem 4	20	90	0:53:10	159.5	146.1	4,297	1.35	27	35,910	101.9%
34		21	90	0:53:10	151.9	146.1	4,297	1.35	28	37,705	107.0%
35		22	90	0:53:10	145.0	146.1	4,297	1.35	30	39,501	112.1%
36		23	90	0:53:10	138.7	146.1	4,297	1.35	31	41,296	117.2%
37	Avaliação trem 5	20	90								
38		21	90								
39		22	90								
40		23	90								

# Gráficos de Velocidade X Espaço

Velocidades - Sentido Brasilândia/São Joaquim (Limite 80 km/h)



Velocidades - Sentido Brasilândia/São Joaquim (Limite 90 km/h)



# Operação Degradada

14



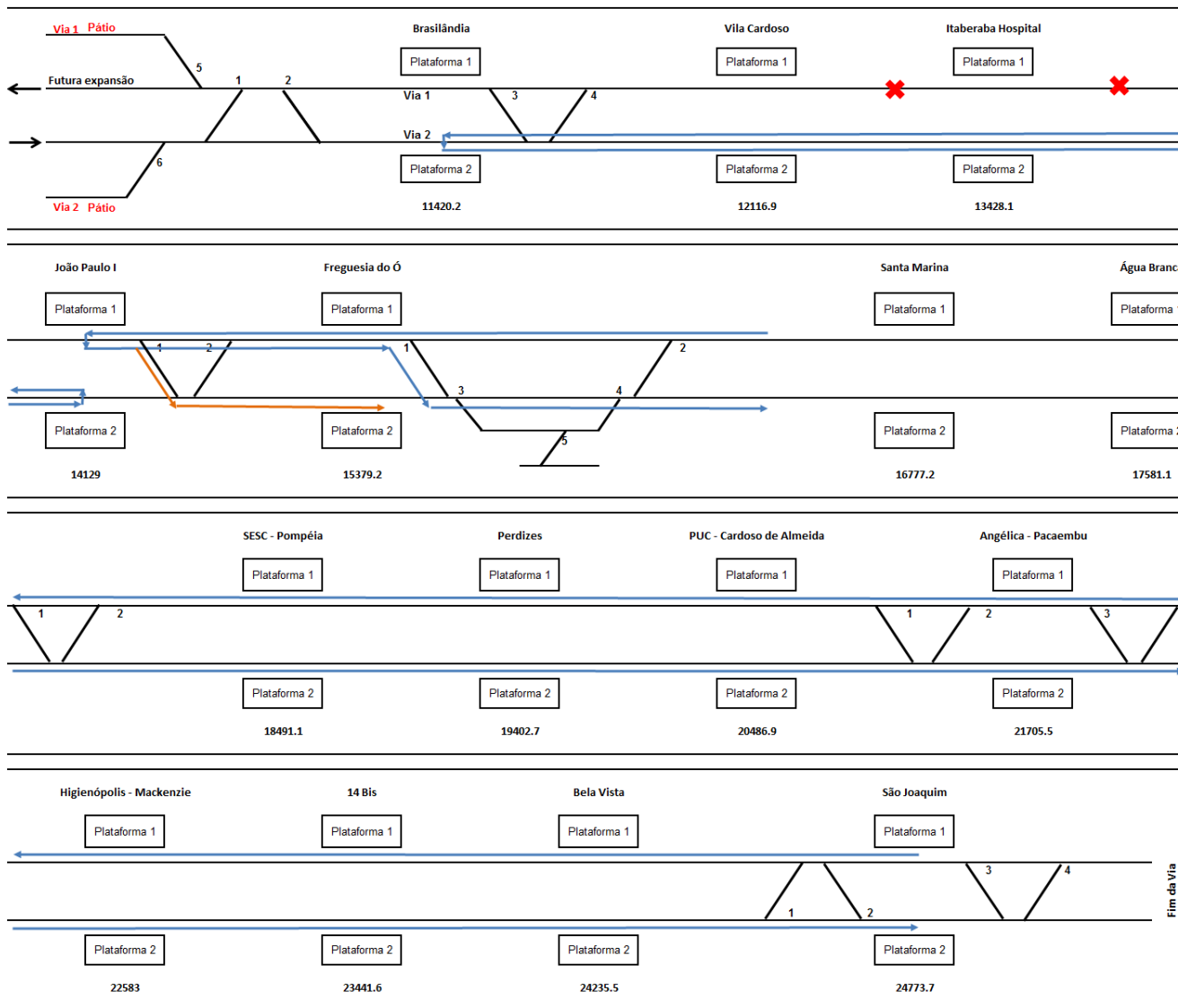
1. Paralisação no trecho Brasilândia - João Paulo I nas vias 1 ou 2.
2. Paralisação no trecho Brasilândia - João Paulo I na via 1.
3. Paralisação no trecho Brasilândia - João Paulo I na via 2.
4. Paralisação no trecho Freguesia do Ó - Santa Marina na via 1, entre os Travessões 1 e 2.
5. Paralisação no trecho Freguesia do Ó - Santa Marina na via 1, entre os Travessões 1 e 2.
6. Paralisação no trecho entre Freguesia do Ó Santa Marina na via 1 após o travessão 3.
7. Paralisação no trecho entre Freguesia do Ó Santa Marina entre os Travessões 3 e 4 na Via 2.
8. Paralisação no trecho entre Freguesia do Ó Santa Marina após o Travessões 4 na via 2.
9. Paralisação no trecho entre Santa Marina e Água Branca na via 1;
10. Paralisação no trecho entre Santa Marina e Água Branca na Via 2;
11. Paralisação no trecho entre Água Branca e PUC nas Vias 1 e 2;
12. Paralisação no trecho entre Água Branca e SESC Pompéia após o Travessão 2 na Via 1;
13. Paralisação no trecho entre Água Branca e SESC Pompéia após o Travessão 2 na Via 2;
14. Paralisação no trecho entre SESC Pompéia e Perdizes na Via 1;
15. Paralisação no trecho entre Perdizes e PUC Cardoso na Via 2;
16. Paralisação no trecho entre SESC Pompéia e Perdizes na Via 2;
17. Paralisação no trecho entre Perdizes e PUC-Cardoso de Almeida na Via 1;
18. Paralisação na Plataforma Angélica-Pacaembu - Via 1;
19. Paralisação na Plataforma Angélica-Pacaembu - Via 2;
20. Paralisação no trecho entre Angélica-Pacaembu e Higienópolis-Mackenzie na Via 1;
21. Paralisação no trecho entre Angélica-Pacaembu e Higienópolis-Mackenzie na Via 2;
22. Paralisação no trecho entre Higienópolis-Mackenzie e 14 Bis na Via 1;
23. Paralisação no trecho entre Higienópolis-Mackenzie e 14 Bis na Via 2;
24. Paralisação no trecho entre 14 Bis e Bela Vista na Via 1;
25. Paralisação no trecho entre 14 Bis e Bela Vista na Via 2;
26. Paralisação no trecho entre Bela Vista e São Joaquim na Via 1;
27. Paralisação no trecho entre Bela Vista e São Joaquim na Via 2



# Exemplo de operação degradada



Metrô-SP - Linha 6 - Operação Degradada



# Conclusões

- Todos os trens são capazes de operar com 20 composições;
- Os ganhos de tempo com a velocidade máxima de 90Km/h são acanhados, e por isso foi adotada a velocidade de 80Km/h;
- Os cenários sob operação degradada foram adequados para o nível de serviço da linha, sendo ajustados quando necessário;
- Os projetos civis da via permanente foram revisados com foco na eliminação de restrições, melhorias operacionais, redução do tempo de ciclo e conseqüentemente aumento da oferta de transporte;
- A tecnologia de simulação foi uma escolha acertada da Move São Paulo, permitindo a diminuição dos riscos operacionais e de projeto;
- A equipe de projetos da Move São Paulo passou a utilizar simulação e a ferramenta Opentrack em sua rotina de trabalho.





# Simulação Computacional da Via Operacional da Linha 6 Laranja do metrô da cidade de São Paulo

*Marcelo Moretti Fioroni – marcelo@paragon.com.br*

# Obrigado



TRABALHO FINALISTA