



## SIMULAÇÃO DE MARCHA & GRADE HORÁRIA

Jd. Ângela a Santo Amaro

Monotrilho do M'Boi Mirim



São Paulo – 13 a 16 de set. de 2010

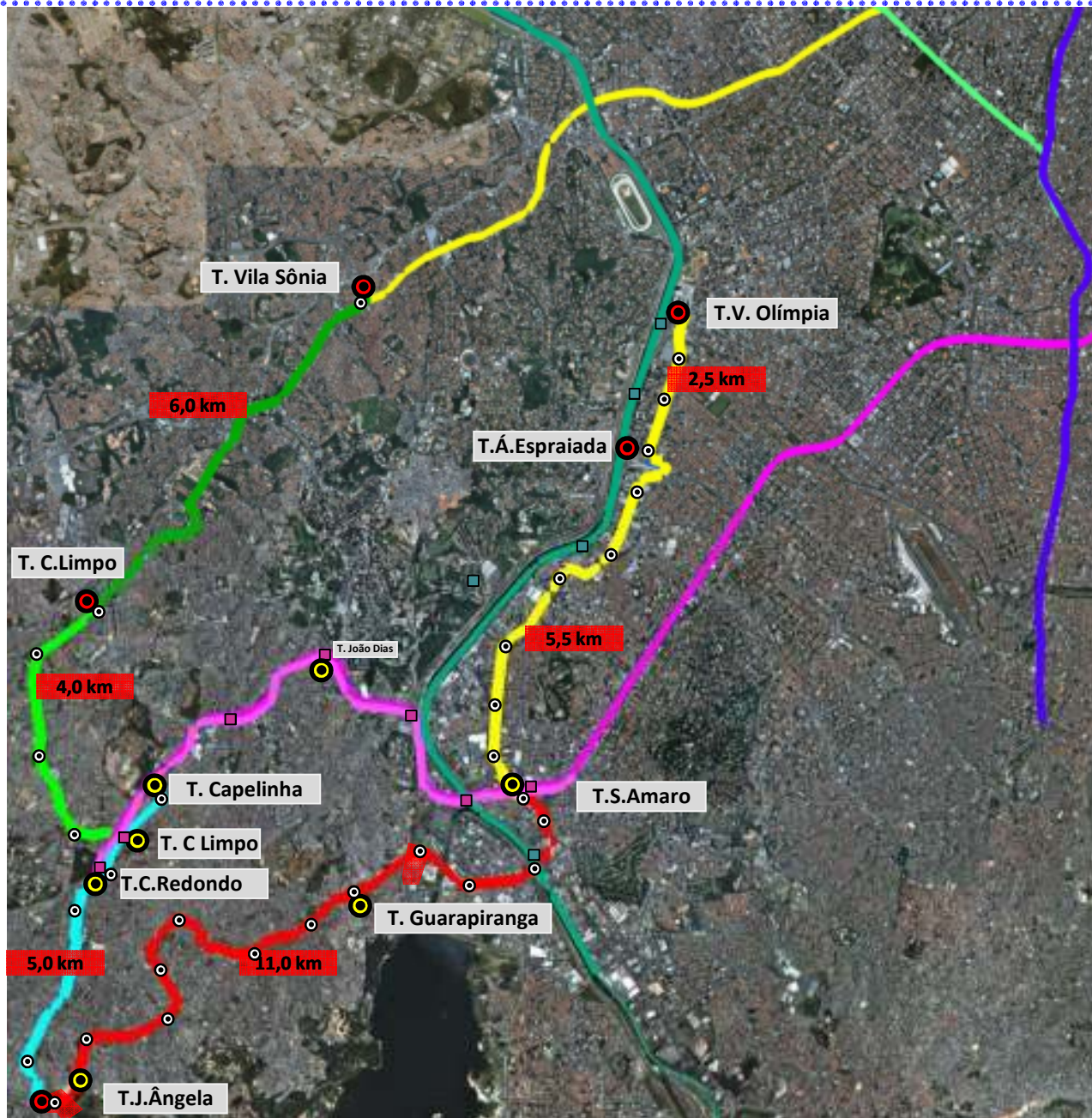
**Visam o fornecimento de dados para:**

- **O cálculo do desempenho operacional**
- **O cálculo da frota**
- **Dimensionamento de tração**
- **Dimensionamento do sistema de alimentação**

**Foram consideradas as condições de máxima oferta e máximo desempenho, de modo a assegurar que o sistema poderá atender até o limite permissível à operação com marcha suave**

**Avaliar o desempenho operacional do sistema, considerando:**

- **As velocidades atingidas nos vários trechos da linha**
- **Comportamento durante as acelerações e frenagens na partida e chegada nas estações**
- **Comportamento nas curvas e inclinações de rampas**
- **Manobras em terminais**



## ESTUDOS DE EXTENSÕES DA LINHA PRIORITÁRIA DE MONOTRILHO



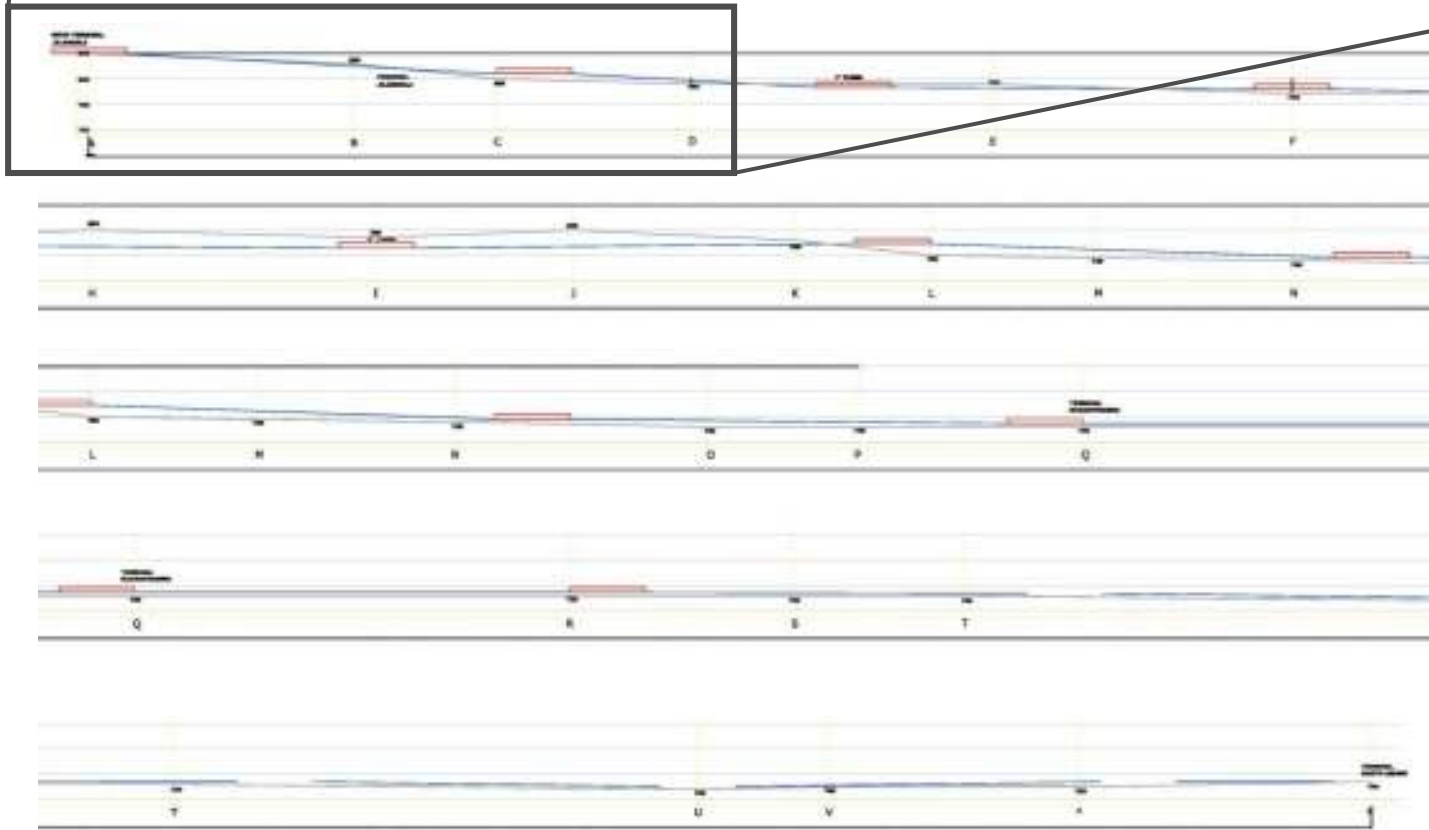
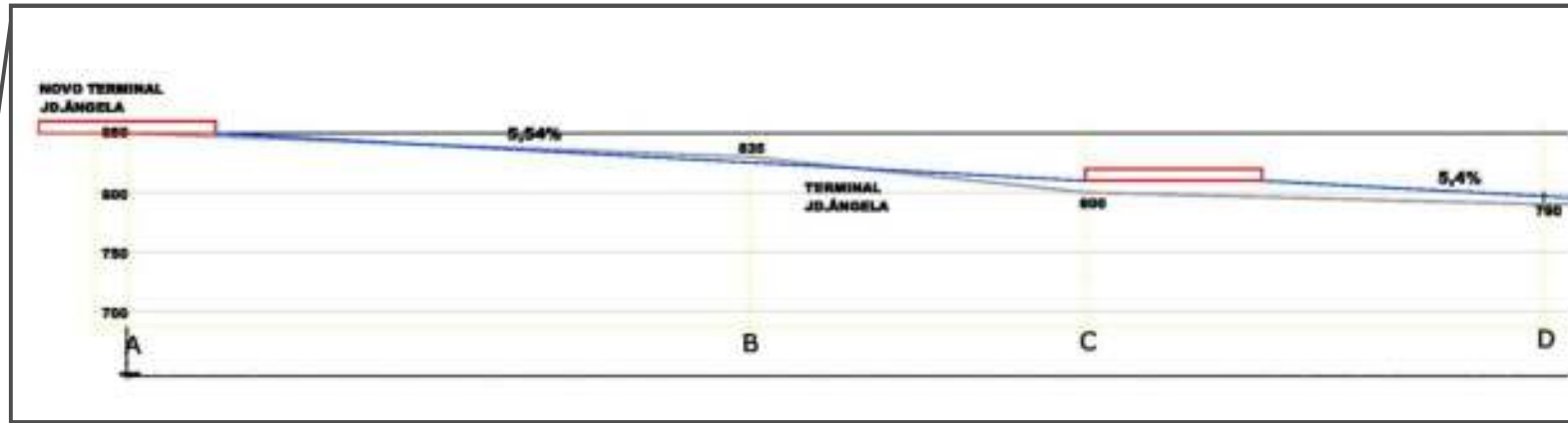


Simulação de Marcha & Grade Horária  
Monotrilho M'Boi Mirim



Simulação de Marcha & Grade Horária  
Monotrilho M'Boi Mirim



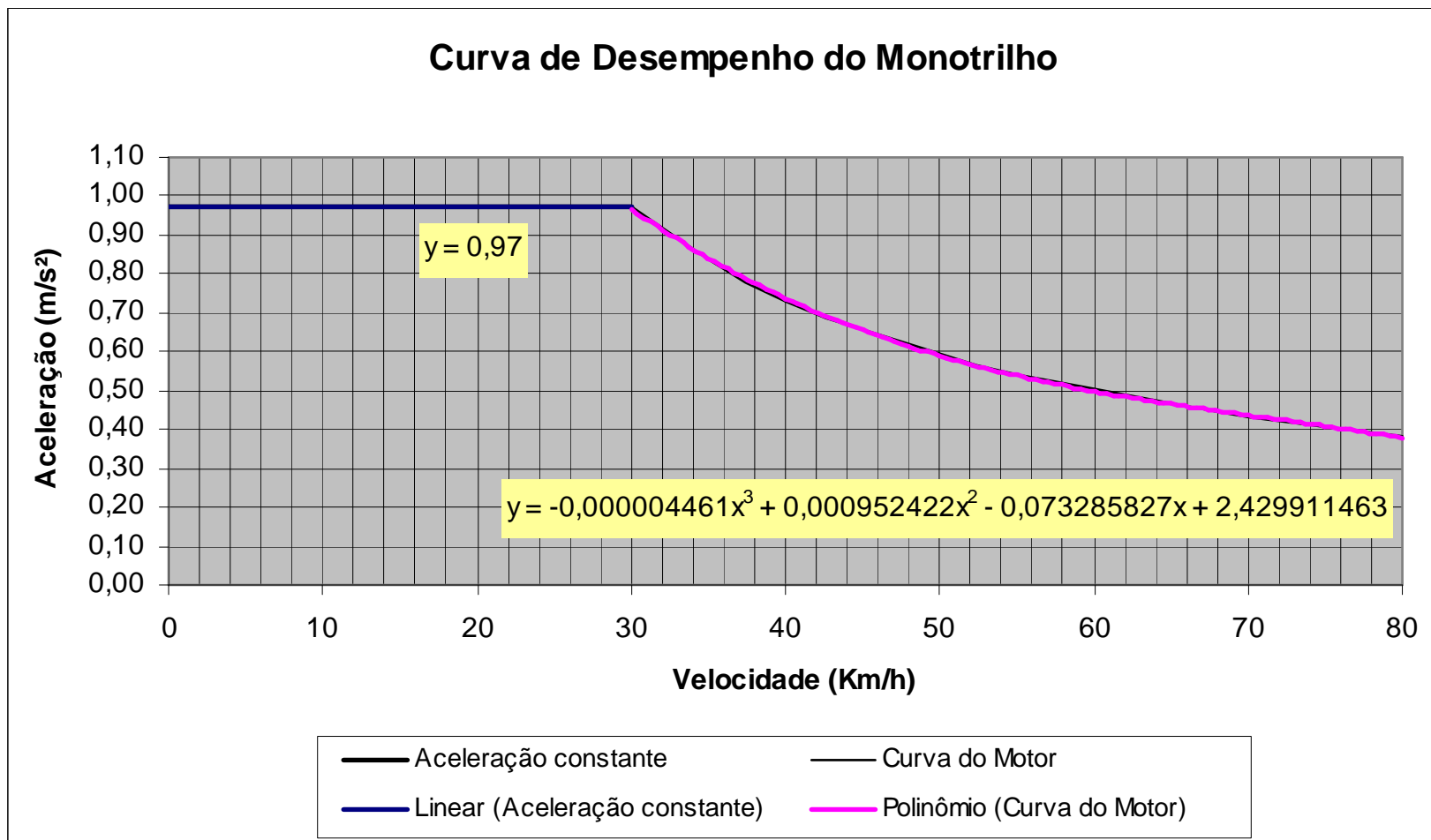


- **Formação de trem unidade:** 2A - 4 a 6B
- **Comprimento do trem:** 91 metros
- **Motorização:** todos os eixos motorizados
- **Comprimento do carro:** 11,0 a 15,0 metros
- **Massa do carro:** 13.000 a 28.000 kg
- **Capacidade (8 pass./m<sup>2</sup>):** 1100 passageiros
- **Passageiros sentados:** 25%
- **Peso por passageiro:** 70 kg
- **Carga por eixo:** 11 toneladas



- **Aceleração:**  

$$y = -0,000004461x^3 + 0,000952422x^2 - 0,073285827x + 2,429911463$$
- **Aceleração de arranque:** **0,97 m/s<sup>2</sup>**
- **Velocidade no fim de arranque:** **30 km/h**
- **Velocidade no fim da potência constante:** **50 km/h**
- **Curva do motor:** gráfico a seguir
- **Jerks:** **1,0 m/s<sup>3</sup>**
- **Frenagem de serviço:** **0,97 m/s<sup>2</sup>**
- **Frenagem de emergência:** **1,25 m/s<sup>2</sup>**
- **Aceleração centrífuga não compensada:** **0,6 m/s<sup>2</sup>**



Posição	Elemento	Comprimento	Estação	Distância
0+000			0+000	0
0+150				
	-5,65%			
0+786				
0+308.93				
	R=175	217,3		
0+526.90				
			0+861	861
0+926				
	-9,32%	-3,67%		
1+450				
1+126.45				
	R=100			
1+260.30				
			1+523	675
1+600				
	2,08	-1,52		
2+422				
			2+497	972
2+572				
	-1,79			
3+131				
2+401.86				
	R=205			
2+533.77				
2+672,4				
	R=195			
2+821.29				
			3+206	709
3+281				
	-0,79			
3+911				
3+823.25				
	R=109			
3+870.49				
			3+986	780

### AMOSTRA DO POSICIONAMENTO DAS ESTAÇÕES, CURVAS E RAMPAS

- **Intervalo de integração: 0,5 segundos**
- **Intervalo de saída dos resultados: 0,5 segundos**
- **Tolerância de erro na aceleração: 0,01 m/s<sup>2</sup>**
- **Tolerância de erro na resistência acidental:**
  - ✓ **Foram efetuadas as compensações de transição de curvas verticais e horizontais**



---

Corrida entre Área de manobra do Jardim Ângela e Santo Amaro

---

FORMACAO DO TREM UNIDADE (CARROS) .....	2A-4B
FORMACAO DO TREM UNIDADE (MOTS E REBS)..	6M
TRENS UNIDADE POR COMPOSICAO .....	1 unidade
COMPRIMENTO DO CARRO A .....	15,0 m
MASSA DO CARRO A .....	28.200 kg
MASSA MEDIA DOS CARROS .....	27.800 kg
COMPRIMENTO DO TREM .....	91,0 m
MASSA DO TREM .....	166.800 kg

ACELERAÇÃO DE ARRANQUE .....	0,97 m/s <sup>2</sup>
VELOCIDADE DE FIM DE ARRANQUE .....	30 km/h
VELOCIDADE FIM DE POTENCIA CONSTANTE ...	50 km/h
ACELERAÇÃO DE FRENAGEM .....	0,97 m/s <sup>2</sup>

Percurso entre Estação 0+000 à Estação 0+861

Instante (seg.)	Ac_veic. (m/s <sup>2</sup> )	Ac_incl. (m/s <sup>2</sup> )	Ac_Final (m/s <sup>2</sup> )	Velocidade (km/h)	Abcissa (m)	Curva(raio) (m)	Limite de veloc. (km/h)	Rampa (%)	Observação
55,0	0,00	0,00	0,00	0,0	50,0			0,00	Estação 0+000
55,5	0,97	0,00	0,97	0,0	50,0			0,00	-5,54
56,0	0,97	0,00	0,97	1,8	50,1			0,00	-5,54
56,5	0,97	0,00	0,97	3,5	50,4			0,00	-5,54
57,0	0,97	0,00	0,97	5,3	51,1			0,00	-5,54
57,5	0,97	0,00	0,97	7,0	51,9			0,00	-5,54
58,0	0,97	0,00	0,97	8,8	53,0			0,00	-5,54
58,5	0,97	0,00	0,97	10,5	54,3			0,00	-5,54
59,0	0,97	0,00	0,97	12,3	55,9			0,00	-5,54
59,5	0,97	0,00	0,97	14,0	57,7			0,00	-5,54
60,0	0,97	0,00	0,97	15,8	59,8			0,00	-5,54
60,5	0,97	0,00	0,97	17,5	62,1			0,00	-5,54
61,0	0,97	0,00	0,97	19,3	64,7			0,00	-5,54
61,5	0,97	0,00	0,97	21,0	67,5			0,00	-5,54
62,0	0,97	0,00	0,97	22,8	70,5			0,00	-5,54
62,5	0,97	0,00	0,97	24,5	73,8			0,00	-5,54
63,0	0,97	0,00	0,97	26,3	77,3			0,00	-5,54
63,5	0,97	0,00	0,97	28,0	81,1			0,00	-5,54
64,0	0,97	0,00	0,97	29,8	85,1			0,00	-5,54
142,5	0,00	0,00	0,00	0,0	906,0			0,00	Estação 0+861
143,0	0,00	0,00	0,00	0,0	906,0			0,00	Estação 0+861
143,5	0,00	0,00	0,00	0,0	906,0			0,00	Estação 0+861
144,0	0,00	0,00	0,00	0,0	906,0			0,00	Estação 0+861
144,5	0,00	0,00	0,00	0,0	906,0			0,00	Estação 0+861
145,0	0,00	0,00	0,00	0,0	906,0			0,00	Estação 0+861
145,5	0,00	0,00	0,00	0,0	906,0			0,00	Estação 0+861

Percurso entre Estação 0+000 à Estação 0+861

TEMPO DE PERCURSO =	71,0 seg.
TEMPO DE PARADA =	20,0 seg.
DISTANCIA PERCORRIDA =	856,0 m
VELOCIDADE MAXIMA =	80,0 km/h
VELOCIDADE MEDIA =	43,4 km/h
VELOCIDADE COMERCIAL =	33,9 km/h
MAXIMA VELOCIDADE =	60,0 km/h

---

Percurso entre Área de manobra do Jardim Ângela à Área de manobra do Santo Amaro

---

TEMPO DE PERCURSO = 1.027,5 seg.  
TEMPO DE PARADA = 305,0 seg.  
DISTANCIA PERCORRIDA = 11.442,0 m  
VELOCIDADE MAXIMA = 80,0 km/h  
VELOCIDADE MEDIA = 40,1 km/h  
VELOCIDADE COMERCIAL = 30,9 km/h  
MAXIMA VELOCIDADE = 80 km/h

---

Percurso entre Área de manobra do Santo Amaro à Área de manobra do Jardim Ângela

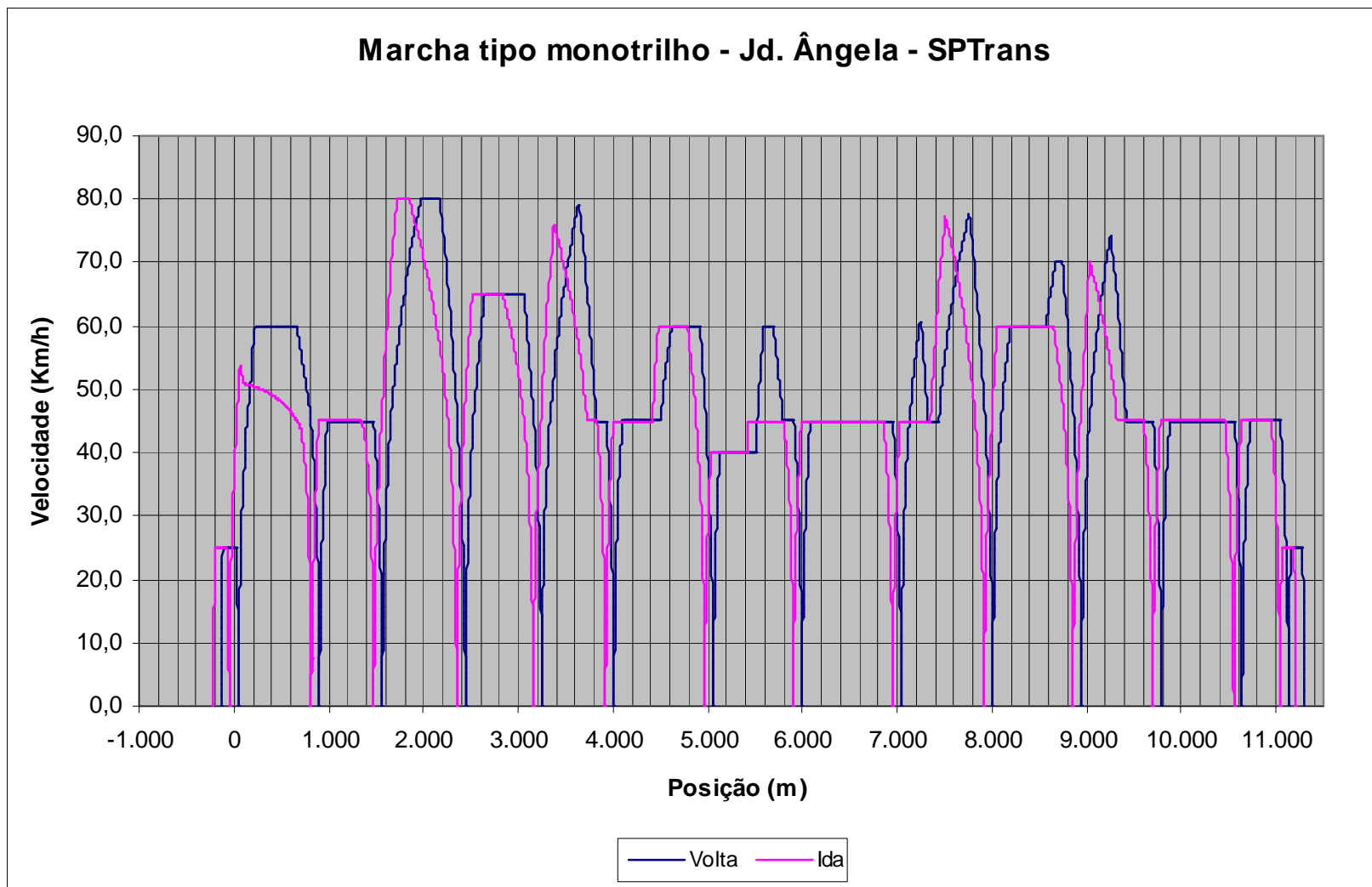
TEMPO DE PERCURSO = 1.042,0 seg.  
TEMPO DE PARADA = 305,0 seg.  
DISTANCIA PERCORRIDA = 11.430,0 m  
VELOCIDADE MAXIMA = 80,0 km/h  
VELOCIDADE MEDIA = 39,5 km/h  
VELOCIDADE COMERCIAL = 30,6 km/h  
MAXIMA VELOCIDADE = 80 km/h

Percurso -Ida e volta - Ciclo completo

---

TEMPO DE PERCURSO = 2.069,5 seg.  
TEMPO DE PARADA = 610,0 seg.  
DISTANCIA PERCORRIDA = 22.872,0 m  
VELOCIDADE MAXIMA = 80,0 km/h  
VELOCIDADE MEDIA = 39,8 km/h  
VELOCIDADE COMERCIAL = 30,7 km/h  
MAXIMA VELOCIDADE = 80 km/h  
TEMPO DE VIAGEM = 2.679,5 seg. = 44,66 minutos.  
Fator de correção de atrasos = 10%  
VELOCIDADE MÉDIA COMERCIAL COM FATOR DE CORREÇÃO DE ATRASO = 27,9 km/h

---





Cálculo da frota do MONOTRILHO com 14 paradas e com manobra nos terminais				
				HW
				90
Descrição	Unidade	Trem com 4 carros	Trem com 6 carros	Trem com 8 carros
Quantidade de passageiros/ m <sup>2</sup>	pass/m <sup>2</sup>	8	8	8
Capacidade do trem	pass	756	1.158	1.512
Demanda	pass/hora	30.240	46.320	60.480
n <sup>o</sup> trem/hora	trem/hora	40	40	40
Distância total (ida e volta)	km	22,86	22,86	22,86
Velocidade Média	km/hora	27,9	27,9	27,9
Tempo de viagem (ida e Volta)	minuto	49,12	49,12	49,12
HW	segundos	90	90	90
N <sup>o</sup> trens operacional	trens	33	33	33
Trens de reseva	trens	3	3	3
total de carros	carros	144	216	288
Descrição	Unidade	Trem com 4 carros	Trem com 6 carros	Trem com 8 carros
Quantidade de passageiros/ m <sup>2</sup>	pass/m <sup>2</sup>	6	6	6
Capacidade do trem	pass	598	916	1.196
Demanda	pass/hora	23.920	36.640	47.840
n <sup>o</sup> trem/hora	trem/hora	40	40	40
Distância total (ida e volta)	km	22,86	22,86	22,86
Velocidade Média	km/hora	27,9	27,9	27,9
Tempo de viagem (ida e Volta)	minuto	49,12	49,12	49,12
HW	segundos	90	90	90
N <sup>o</sup> trens operacional	trens	33	33	33
Trens de reseva	trens	3	3	3
total de carros	carros	144	216	288

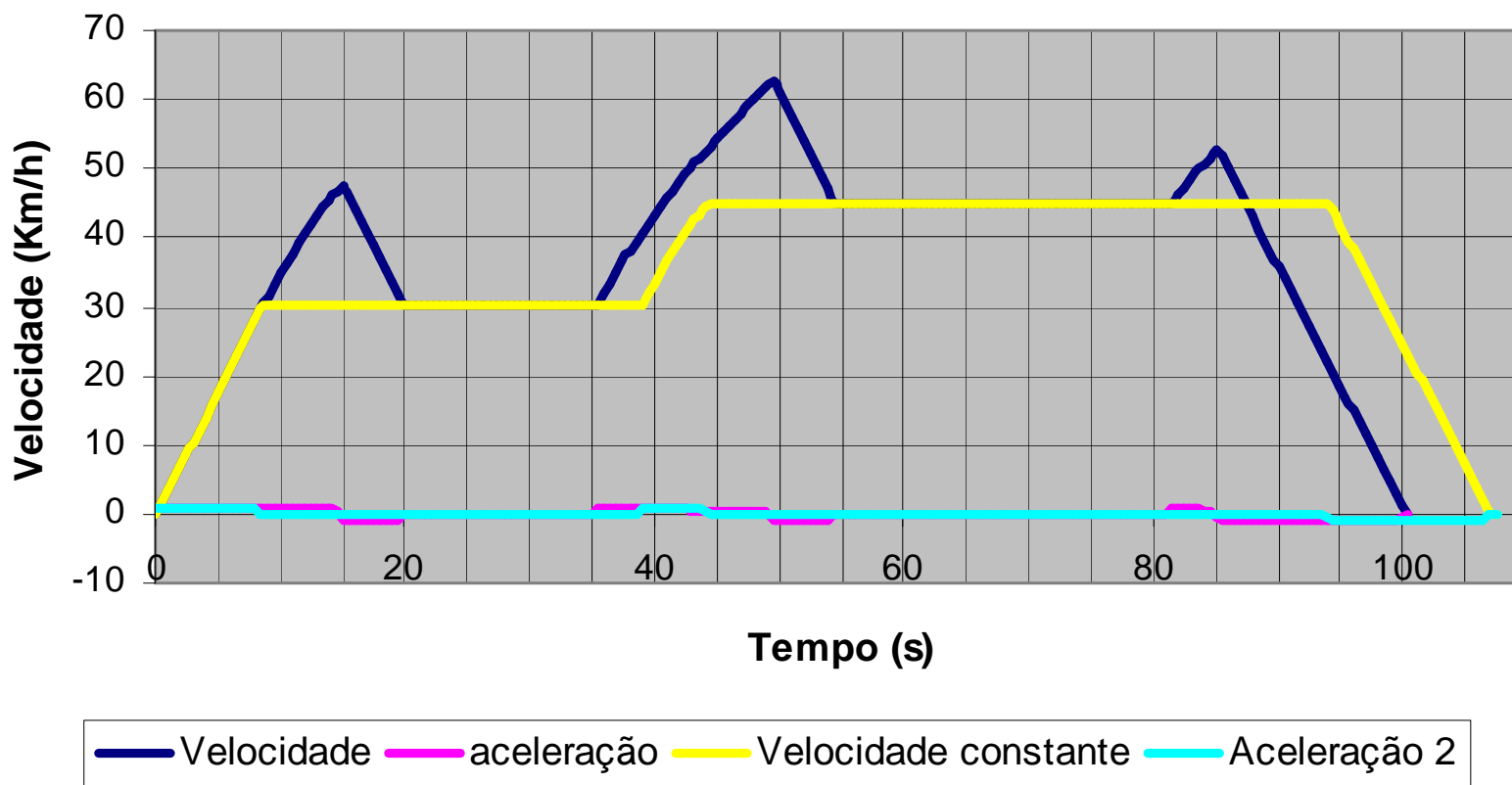
Especificação Técnica					
<b>Capacidade</b>					
	Cabeceira	Intermediário	Trem de 4 carros	Trem de 6 carros	Trem de 8 carros
6 pass/m <sup>2</sup>	140	159	598	916	1.196
8 pass/m <sup>2</sup>	177	201	756	1.158	1.512
<b>Dimensão</b>					
	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)		
Trem de 8 carros	122	3	5		
Trem de 6 carros	91	3,0	5,3		
Trem de 4 carros	61	3,0	5,3		
<b>Carga por eixo</b> 11 ton.					
<b>Desempenho</b>					
Velocidade máxima operacional	80km/h				
Taxa de aceleração	0,97m/s <sup>2</sup>				
Taxa de desaceleração (serviço)	0,97m/s <sup>2</sup>				
Taxa de desaceleração (emergência)	1,25m/s <sup>2</sup>				
Alimentação de Tração	1.500VDC				
Sistema de Propulsão	IGBT Inversor com motor de indução AC				
Alimentação do sistema auxiliar	IGBT Inversor frequência fixa				
Sistema de Ar condicionado	R407C - montado no teto				
Truque por carro			2		
Rampa máxima			6%		
Curva - raio mínimo recomendado			100m		

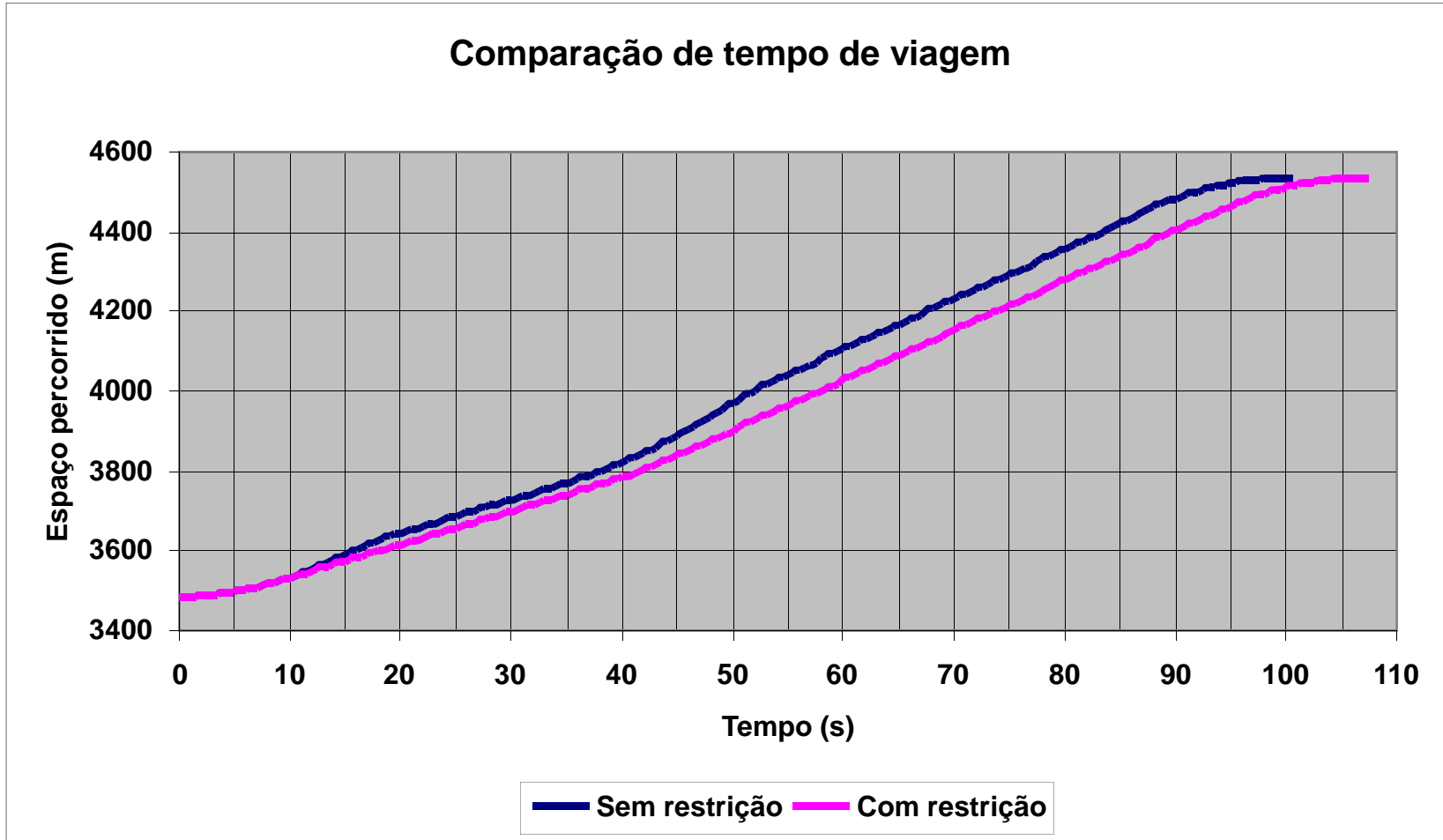
Simulação de marcha do corredor Monotrilho - Jd. Ângela - SPTrans		Santo Amaro-> J. Ângela		J.Ângela -> Santo Amaro	
Cálculo de tempo de viagens para 12 paradas e 2 terminais		sem manobra	com manobra	sem manobra	com manobra
	Tempo parada manobra (seg.)		25		
Tempo de percurso entre estações	Tempo de paradas (seg.)		20		
Distância total (metros)		11090	11430	11080	11430
Tempo de percurso entre estações (seg.)		280	330	280	330
Tempo total de paradas (seg.)		958	1017	940,5	1002,5
Tempo Total de percurso (seg.)		1238	1347	1220,5	1332,5
Tempo de viagem (ida e volta ) prevista (min.)		20,63	22,45	20,34	22,21
Fator de correção de atrasos 10%		1,1	1,1	1,1	1,1
<b>Tempo de viagem (ida ) com correção (min.)</b>		<b>22,70</b>	<b>24,70</b>	<b>22,38</b>	<b>24,43</b>
		Nº de viagens	Nº de viagens	Nº de viagens	Nº de viagens
percurso entre paradas		13	13	13	13
Manobra			2		2
			14		14
Nº de paradas		14	15	14	15
<b>Velocidade média (km/h)</b>		<b>29,3</b>	<b>27,8</b>	<b>29,7</b>	<b>28,1</b>

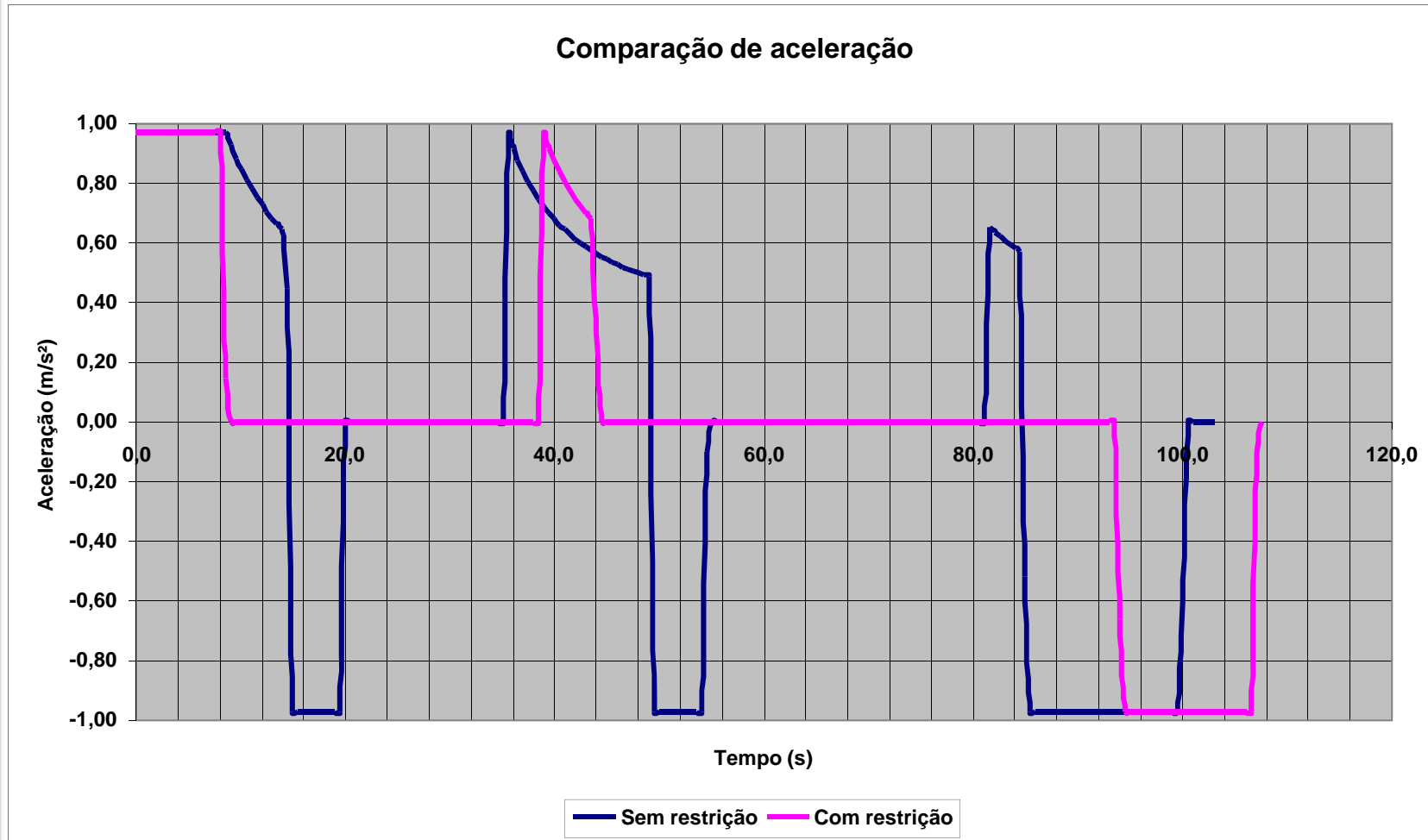
Simulação de marcha do corredor Monotrilho - Jd. Ângela - Via M'Boi			
Cálculo de tempo de viagens para 12 paradas e 2 terminais		sem manobra	com manobra
	Tempo parada manobra (seg.)		25
	Tempo de paradas (seg.)		20
Distância total (metros)		22170	22860
Tempo de percurso entre estações (seg.)		1938,5	2069,5
Tempo total de paradas (seg.)		520	610
Tempo Total de percurso (seg.)		2458,5	2679,5
Tempo de viagem (ida e volta ) prevista (min.)		40,98	44,66
fator de correção de atrasos 10%		1,1	1,1
<b>Tempo de viagem (ida e Volta) com correção (min.)</b>		<b>45,07</b>	<b>49,12</b>
		Nº de viagens	Nº de viagens
percurso entre paradas		26	26
Manobra			4
Nº de paradas		26	30
<b>Velocidade média (km/h)</b>		<b>29,5</b>	<b>27,9</b>

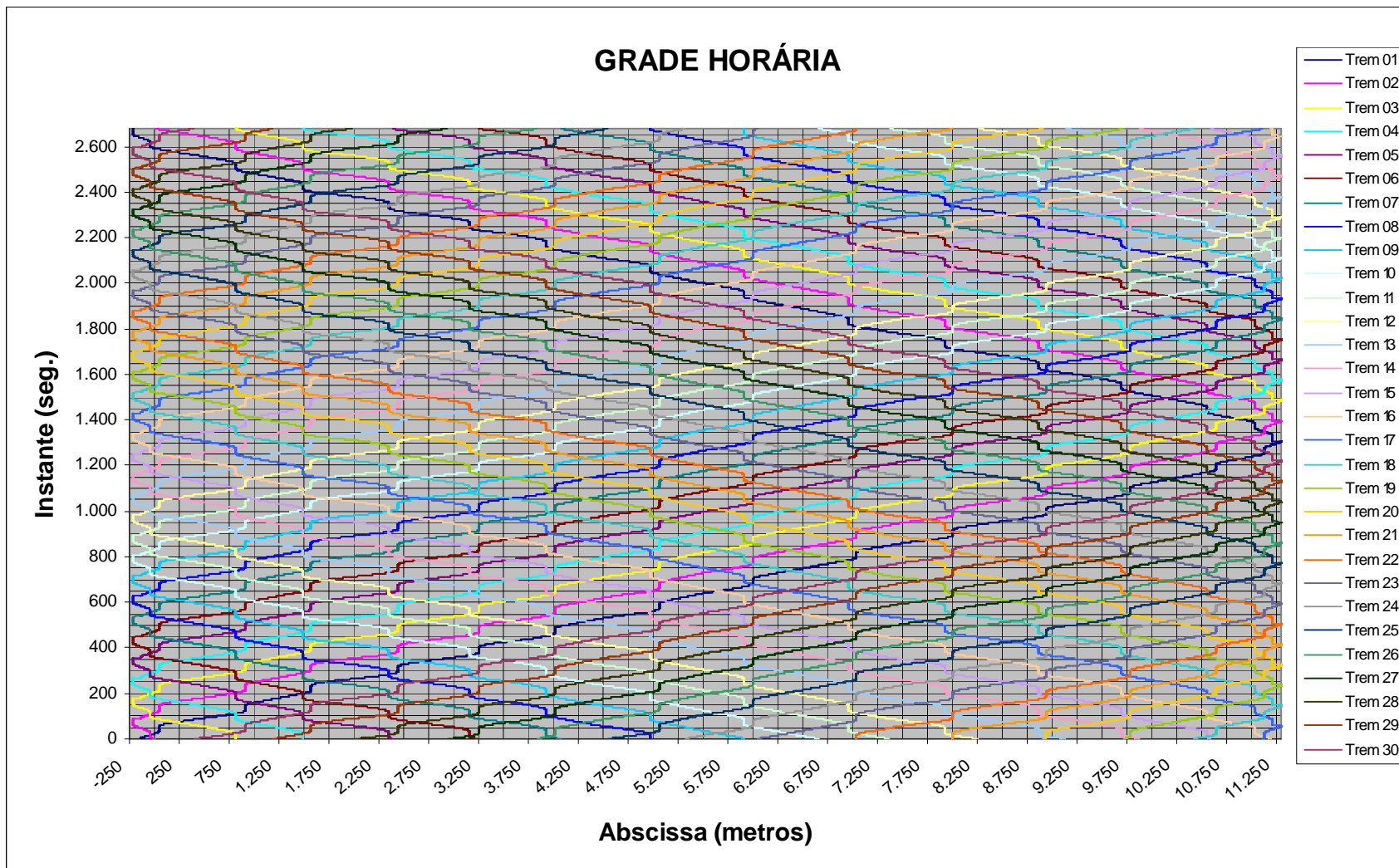


## Simulação entre estação









- A simulação mostrou que o percurso de 22.860 metros o monotrilho executará em 44 minutos e 40 segundos com velocidade comercial de 30,7 km/h;
- Devido a os imprevistos durante a viagem foi previsto um fator de correção de atraso de 10%, assim a velocidade média adotado deverá ser de 27,9 km/h;
- A operação do sistema monotrilho de 90 segundos de HW com velocidade média de 27,9 km/h serão necessário 33 trens operacionais mais 3 trens de reserva;
- Para melhor conforto para os passageiros poderá ser utilizada a marcha suave sem aceleração e desaceleração freqüentes, evitando os solavancos de aceleração e desaceleração, neste caso poderá ter acréscimo de tempos de viagem em 7%.



**Prefeitura de São Paulo  
Gilberto Kassab**

**Secretaria Municipal de Transportes  
Marcelo Cardinale Branco**

**São Paulo Transporte S. A.  
Marcelo Cardinale Branco**

**APOIO AO PROJETO**

**Diretoria de Planejamento de Transporte e Gestão Corporativa**  
Pedro Luiz de Brito Machado

**Diretoria de Infra-Estrutura**  
Roberto Lucca Molin

**Diretoria de Serviços de Transporte**  
Roberto Antônio Diniz

**Diretoria de Relações Internas**  
Cláudio Bispo dos Santos

**Diretoria Adjunta de Gestão de Tecnologia da Informação e Receita**  
Maurício Lima Ferreira

**Diretoria Adjunta de Gestão do Sistema Contratado**

**Diretoria Adjunta de Assuntos Jurídicos**  
Sandra S. N. Grapella

**Superintendência de Planejamento de Transporte - DT/SPT**

Laurindo Martins Junqueira Filho  
Carlos Ivan Nogueira Laíso

Carlos Meira Ribeiro  
Edelis Alves Ribeiro

Eduardo Tavares de Carvalho  
Hughson Paiva de Castro  
Janaina Uchôa Ab'Saber  
Lucimeire Lino dos Santos Lourenço

Luíz Álvaro de Toledo Barros Jr.  
Maria Cristina Fernando Biondilo  
Oswaldo Lucarelli Filho

Rosilda Maria Vedovato Domingues

Sandra Mara Nunes  
Sílvio Rogério Tôrres  
Tácito Pio da Silveira

Yang I Ti

**Gerência de Projetos de Arquitetura – DI/SPR/GAR**  
Roberto de Moraes Moura

**Gerência de Proj. Cívís e de Sistemas – DI/SPR/GCS**  
Gilberto Teixeira  
Andréa Franklin Silva Vieira

**Superintendência de Manutenção – DI/SMA**  
Antonio Maria Claret Reis de Andrade  
Brazil Itirou Atope

**Assessoria de Apoio Adm. e Gestão – DI/AAG**  
Antonio Carlos Guimarães Leite  
Janaina Penteado

**Gerência de Implantações Regionais - DI/GIR**  
Vera Primazi

**SEHAB – Secretaria Municipal de Habitação**  
Resolo  
Habi-Sul

**CET – Companhia de Engenharia de Tráfego**  
Francisco Pedroso Neto



## **Simulação de Marcha & Grade Horária**

**Brazil Itirou Atobe  
Engenheiro Mecânico**

[brazil.atobe@sptrans.com.br](mailto:brazil.atobe@sptrans.com.br)

**(11) 3115.5144 – ramal 254**

**São Paulo Transporte S.A. – SPTrans  
Diretoria de Infra-Estrutura - DI  
Superintendência de Manutenção – DI/SMA  
Gerência de Engenharia de Manutenção – DI/SMA/GEM**