



**COMPANHIA PAULISTA DE
TRENS METROPOLITANOS**



Simulação de Marcha para Sistema de Sinalização Ferroviária

Integrantes:

- **Motohisa Yano**
- **Walter K. Sanuki**

Trabalho de Monografia PECE/POLI

Orientador: Prof. Dr. Sílvio I. Nabeta

OBJETIVO



Desenvolver metodologia de Simulação de Marcha, com apresentação gráfica, para aplicação em projetos de Sinalização Ferroviária

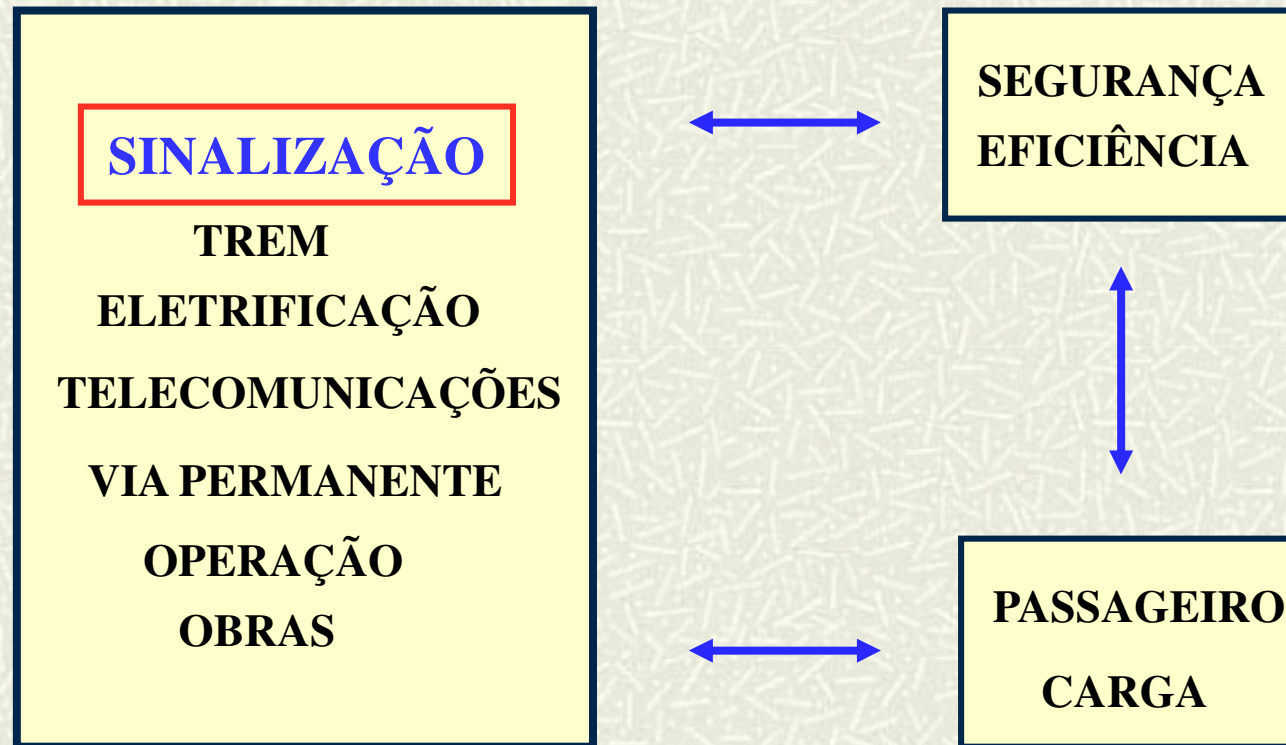
Simulações existentes:

- Resultados são apresentados em forma de planilhas de dados.
- Análise é complexa e de difícil comprovação.
- Metodologias e aplicativos são “caixas pretas”.

Metodologia proposta:

- Resultados são apresentados em forma de gráficos.
- Análise simplificada e direta.
- Permite realizar auditoria, análise e validação de outras simulações.

INTERAÇÃO ENTRE SISTEMAS NO TRANSPORTE FERROVIÁRIO



MODELAGEM DA SIMULAÇÃO



CONCEITUAÇÃO DO MODELO



COLETA DE PARÂMETROS DE ENTRADA (CRÍTICOS)



FORMULAÇÃO DAS EQUAÇÕES CINEMÁTICAS

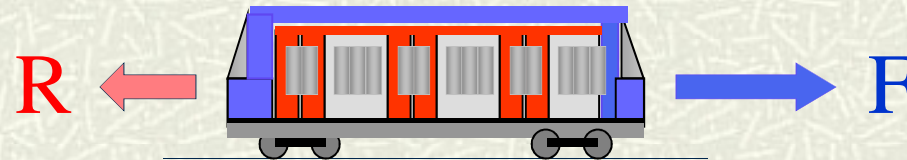


ELABORAÇÃO DOS PROGRAMAS SIMPLIFICADOS



APLICAÇÃO DO MODELO SOBRE UMA VIA EXISTENTE

CONCEITOS BÁSICOS

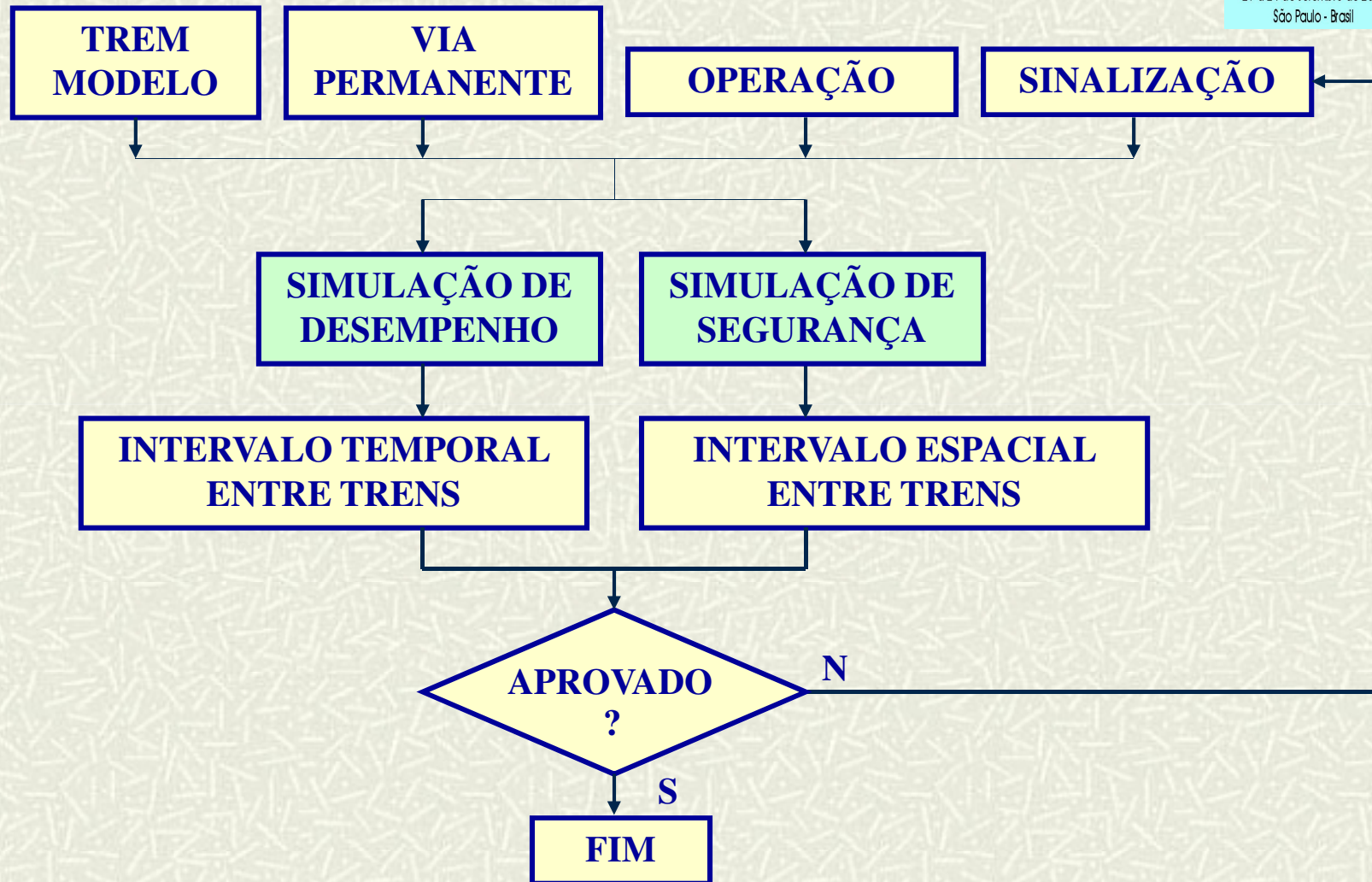


Resistência ao Movimento

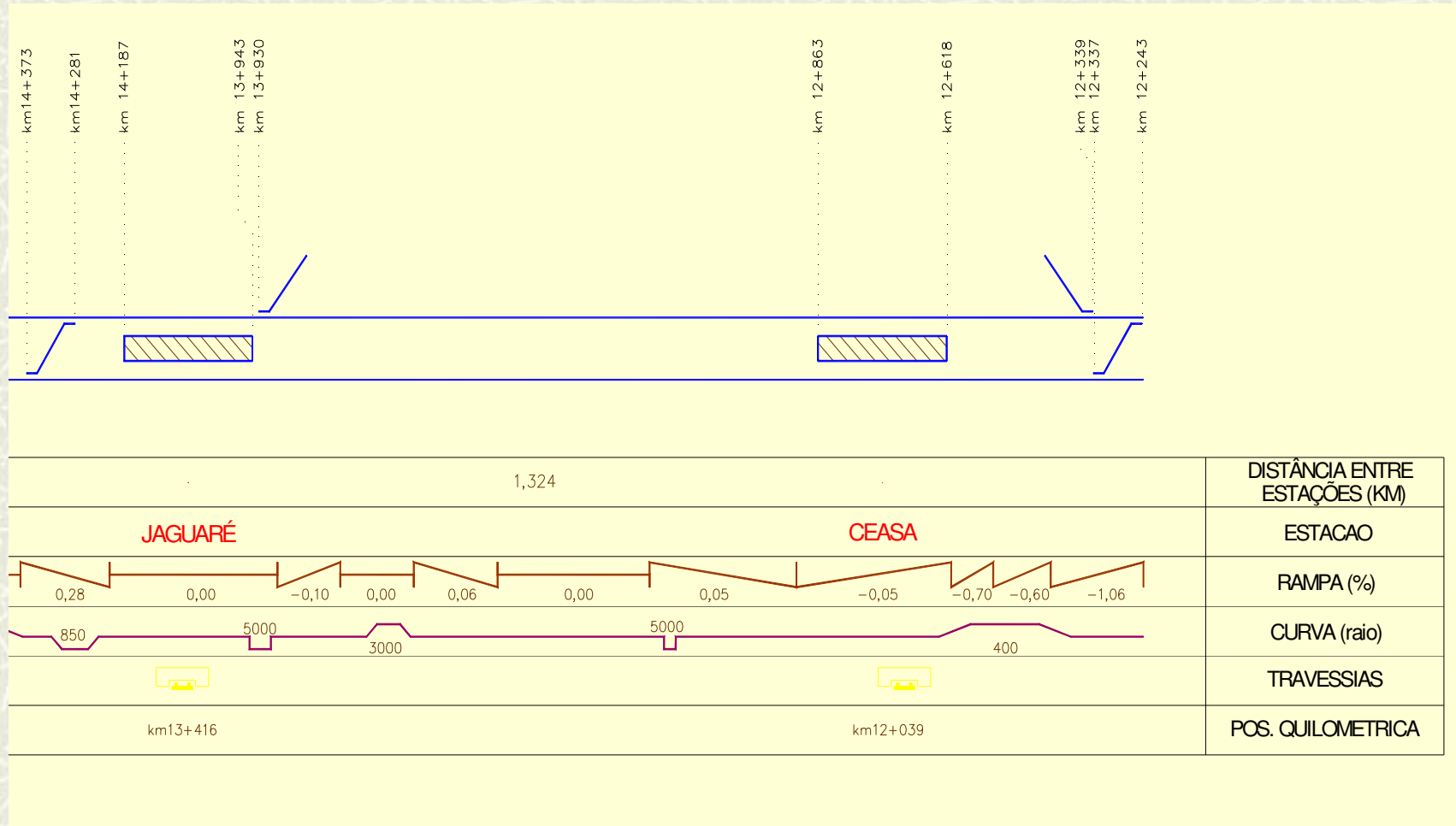
- Normais
- Acidentais {
 - Curvatura da via
 - Rampa
- Inércia

Esforço de Tração do Trem

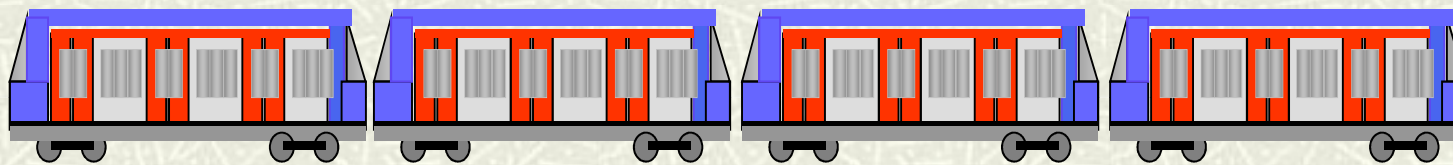
METODOLOGIA DA SIMULAÇÃO



PARÂMETROS DE VIA



PARÂMETROS DO TREM



M

R

R

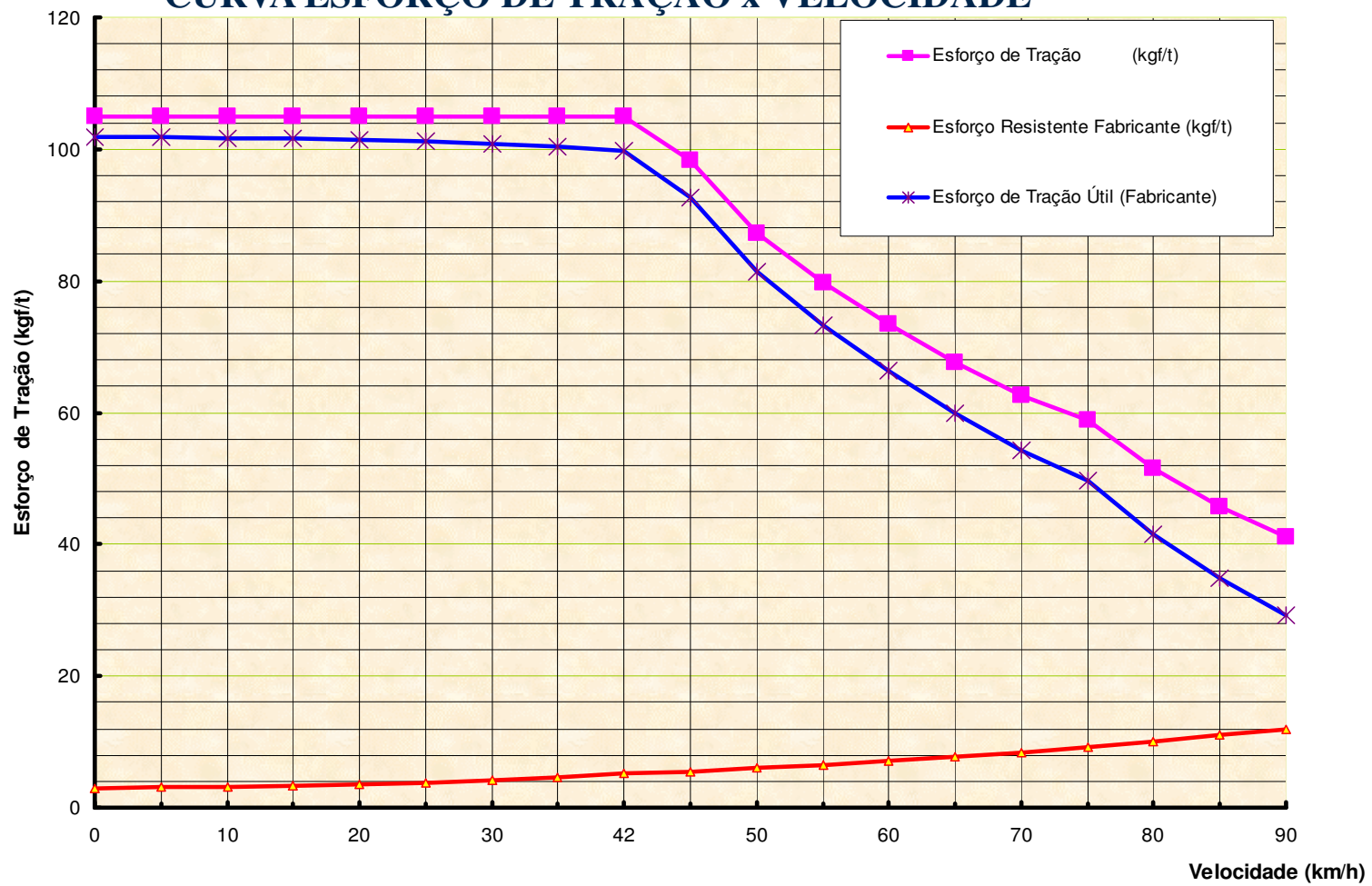
M

Trem série 3000 - Siemens

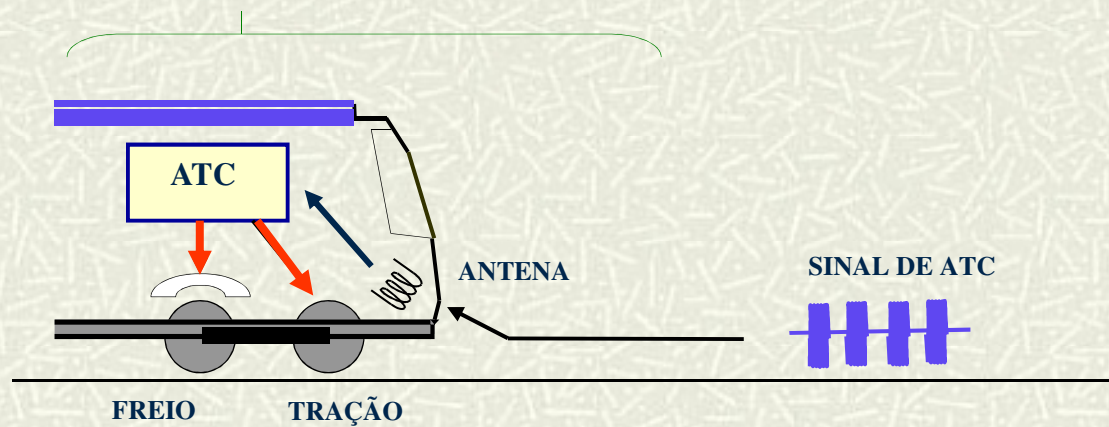
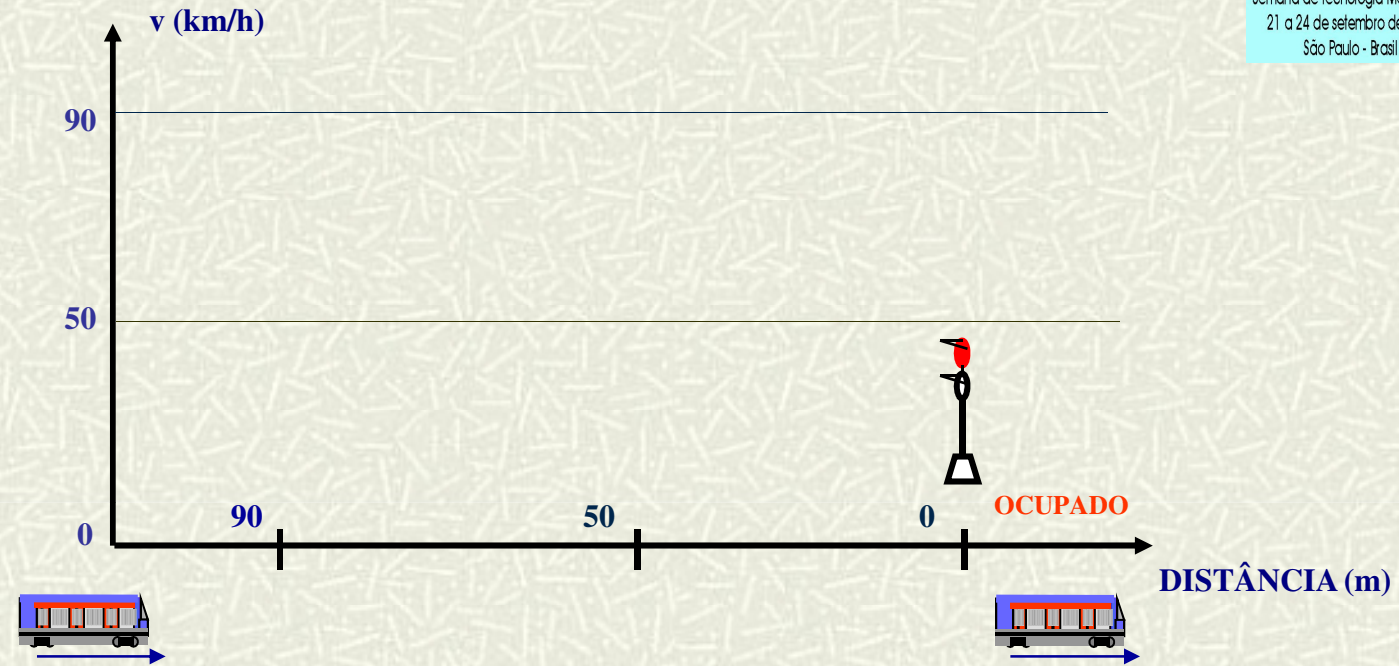
PARÂMETROS DO TREM



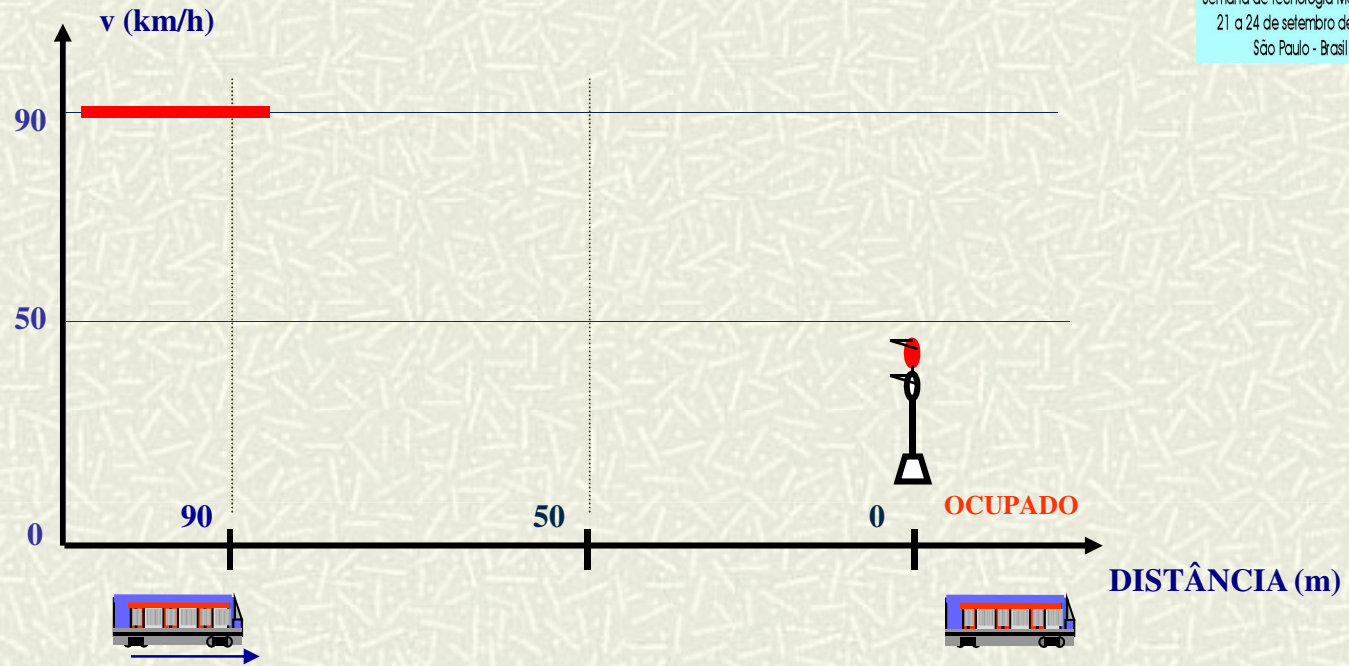
CURVA ESFORÇO DE TRAÇÃO x VELOCIDADE



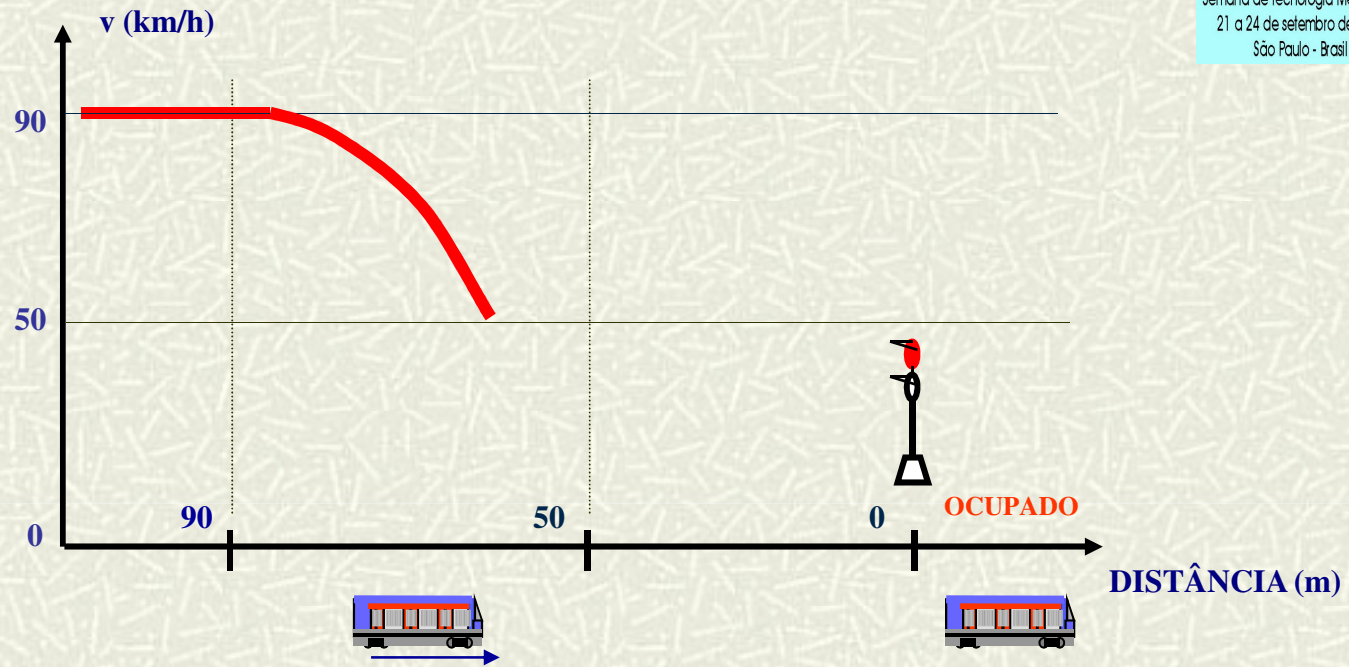
PARÂMETROS DE SINALIZAÇÃO



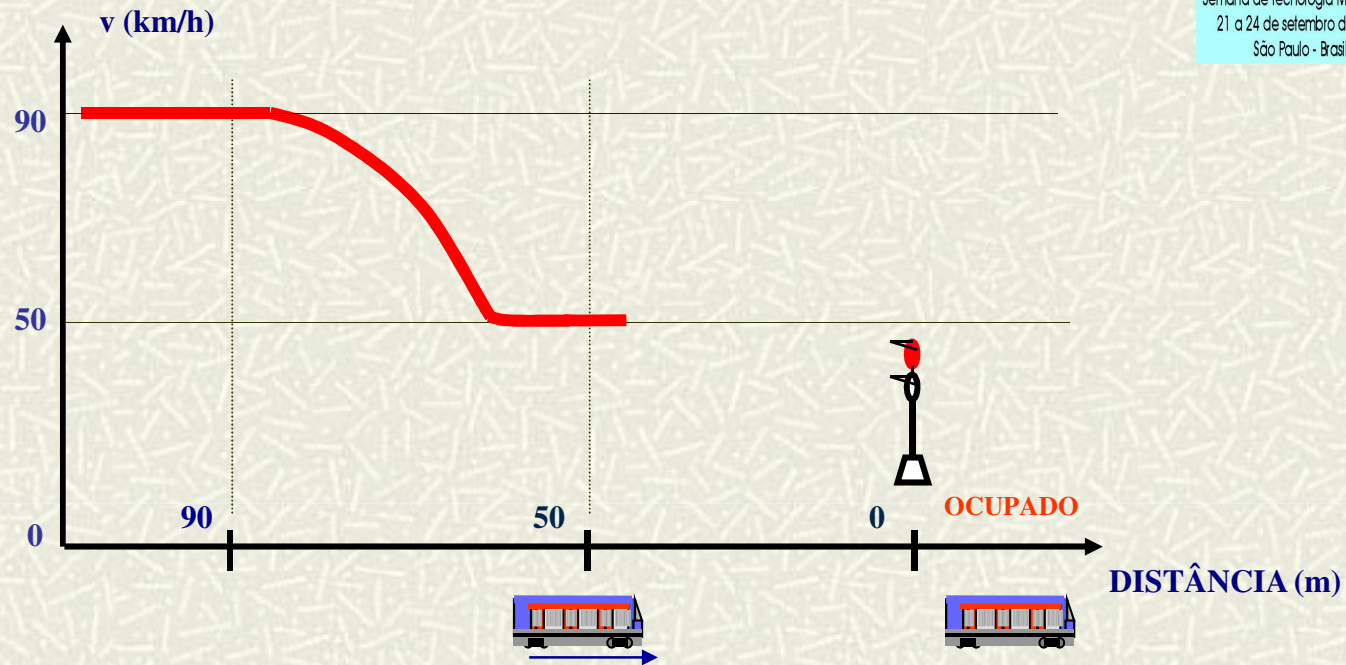
PARÂMETROS DE SINALIZAÇÃO



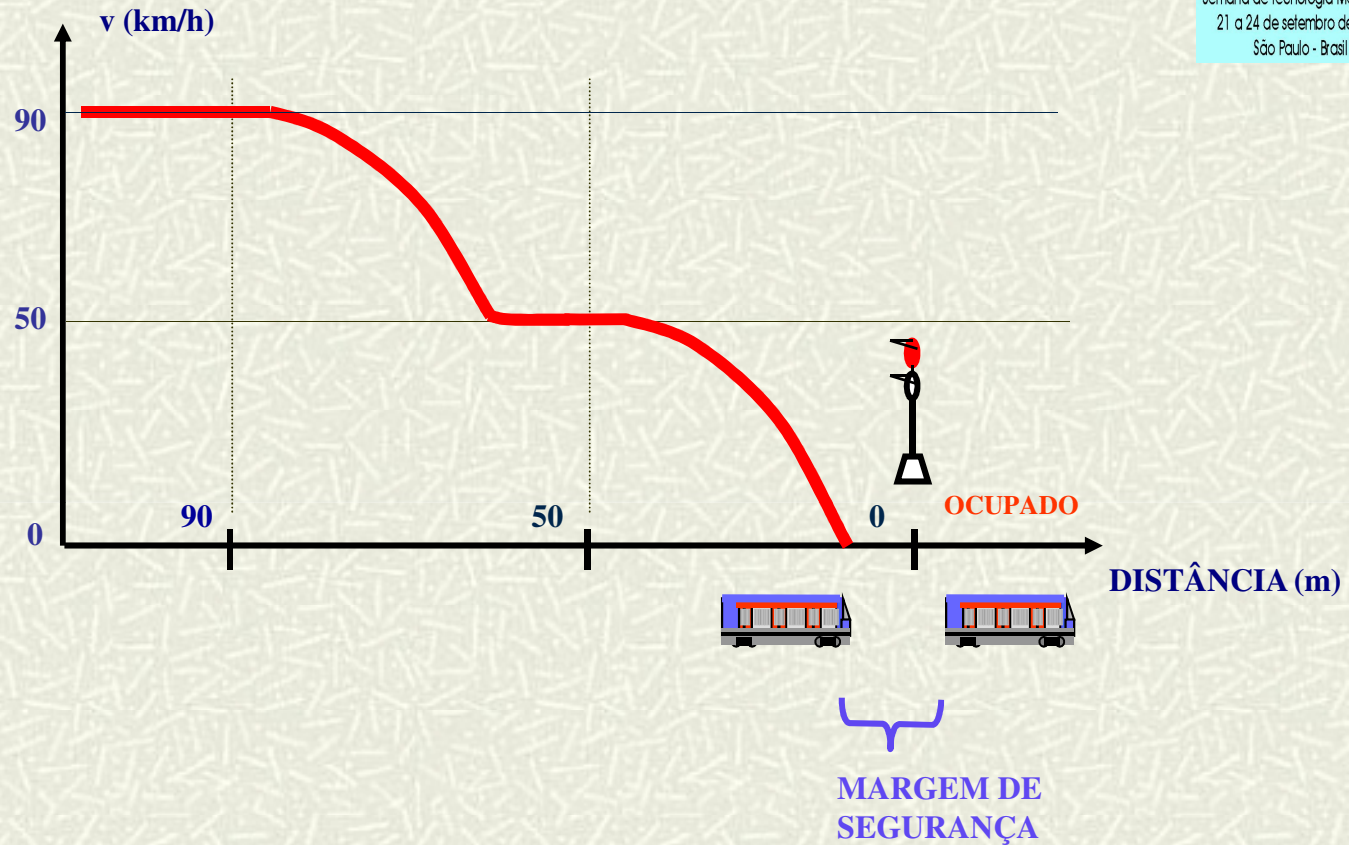
PARÂMETROS DE SINALIZAÇÃO



PARÂMETROS DE SINALIZAÇÃO



PARÂMETROS DE SINALIZAÇÃO

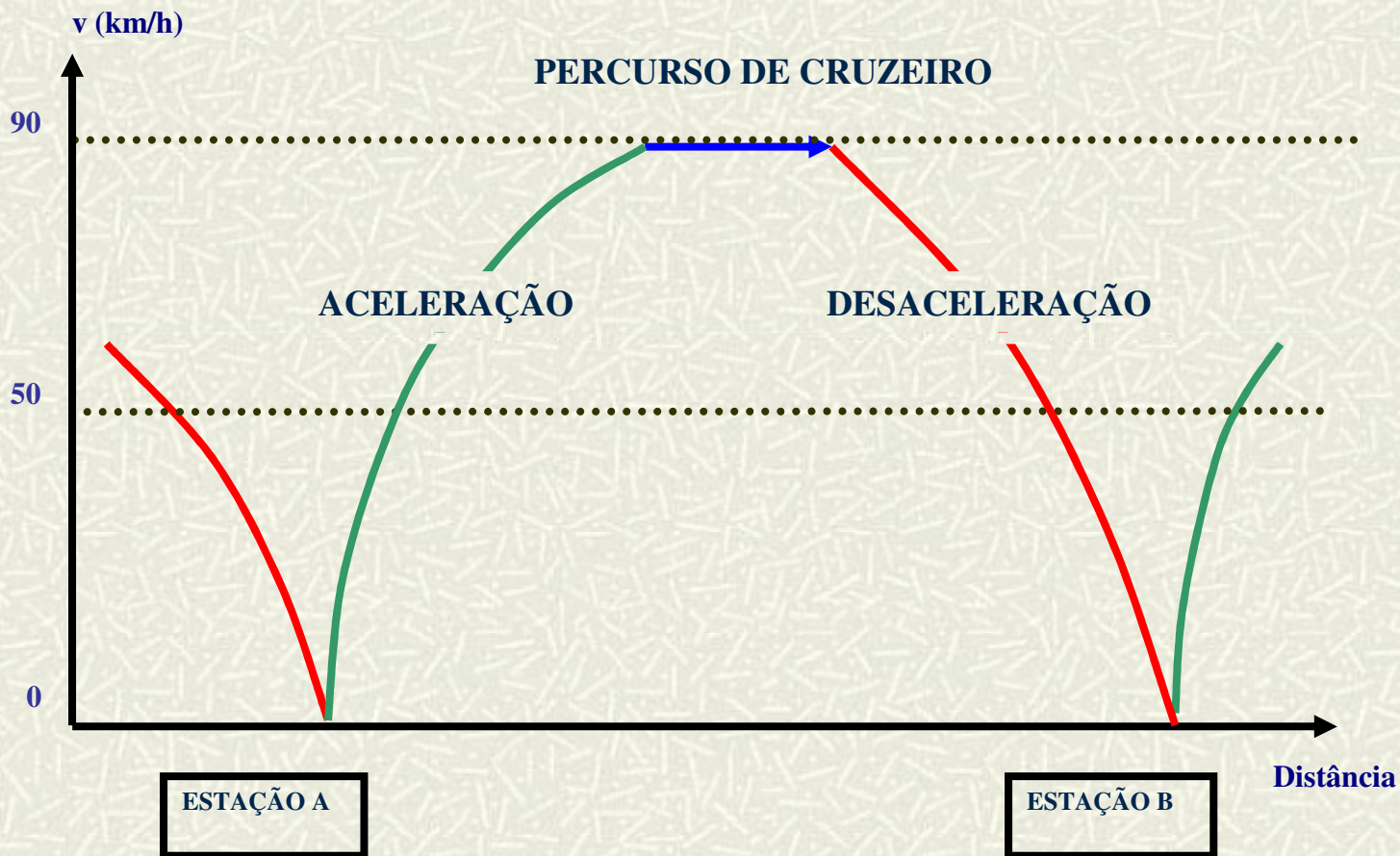


PARÂMETROS OPERACIONAIS



- Intervalo entre trens 3 min. Operacional
2,5 min. Projeto
- Tempo de parada na estação 30 s
- Tempo de reversão de cabine 90 s
- Velocidade de passagem na estação 50 km/h
- Velocidade de passagem sobre AMVs;
- Níveis de Desempenho.

COMPORTAMENTO DINÂMICO DO TREM



EQUAÇÕES DO PERCURSO



■ Aceleração

$$S = \frac{4,33 \cdot (v_2^2 - v_1^2)}{F} \quad [\text{m}]$$

na qual:

S - Distância percorrida (m)

F - Esforço trator útil (kgf/t)

v_1 - Velocidade inicial (km/h)

v_2 - Velocidade final (km/h)

■ Desaceleração

$$S = \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{25,92 \cdot d_e} \quad [\text{m}]$$

na qual:

S - distância percorrida [m]

d_e - taxa de desaceleração efetiva [m/s²]

d_n - taxa de desaceleração nominal [m/s²]

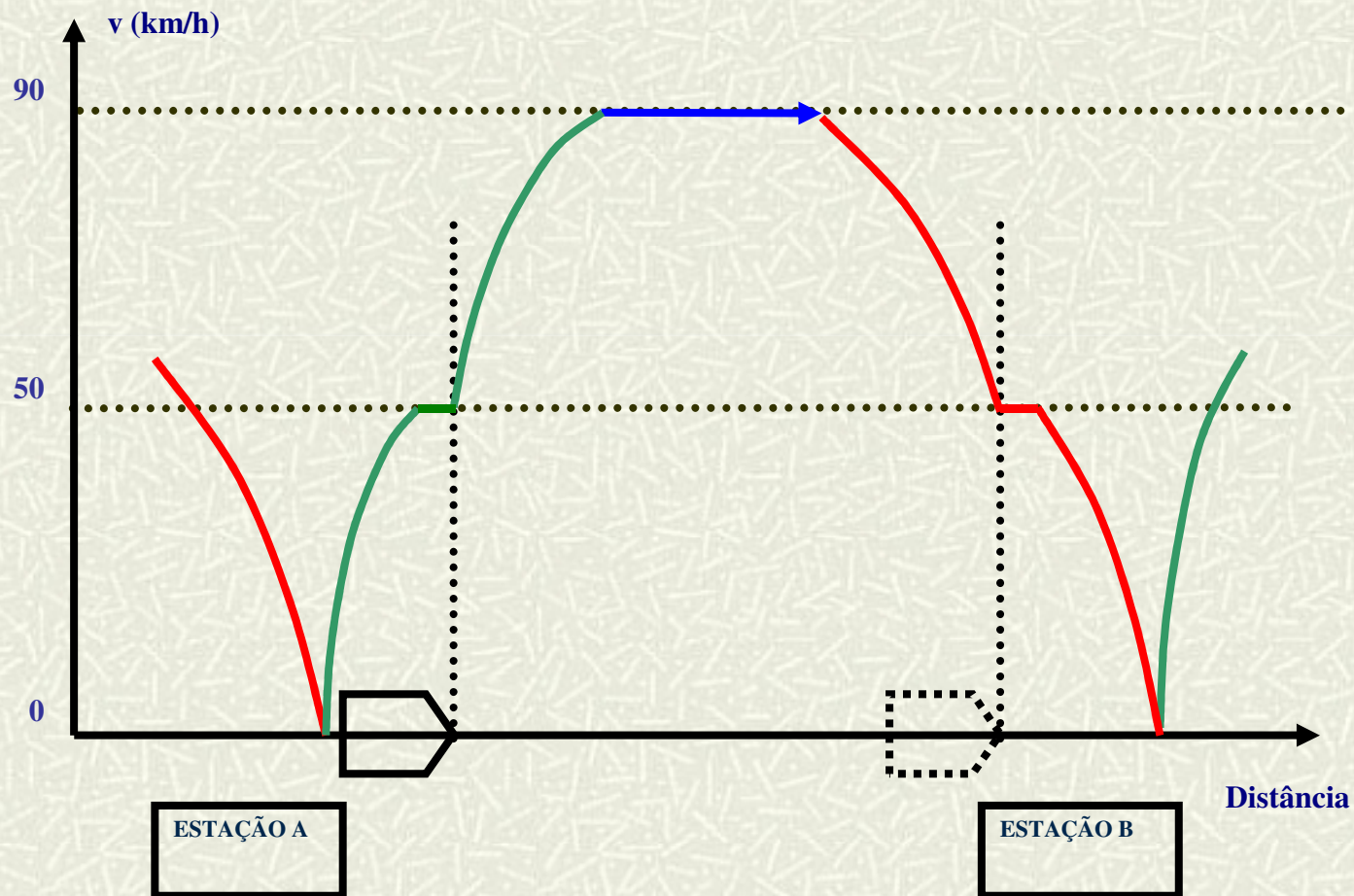
i - rampa [‰]

v_1 - Velocidade inicial [km/h]

$$d_e = d_n \pm 0,0089 \cdot i$$

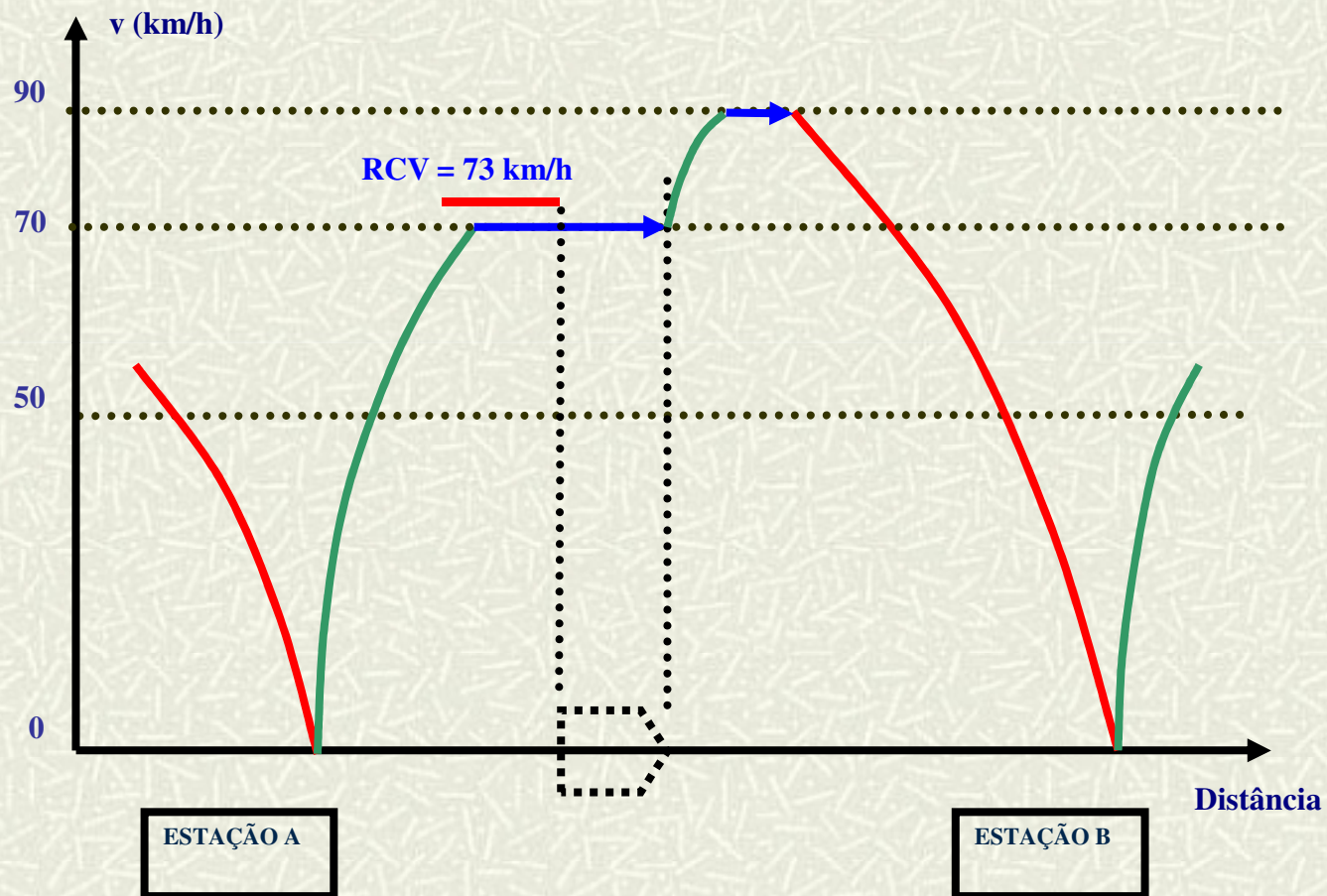
CASOS OPERACIONAIS

Caso 1: Restrição de velocidade na plataforma



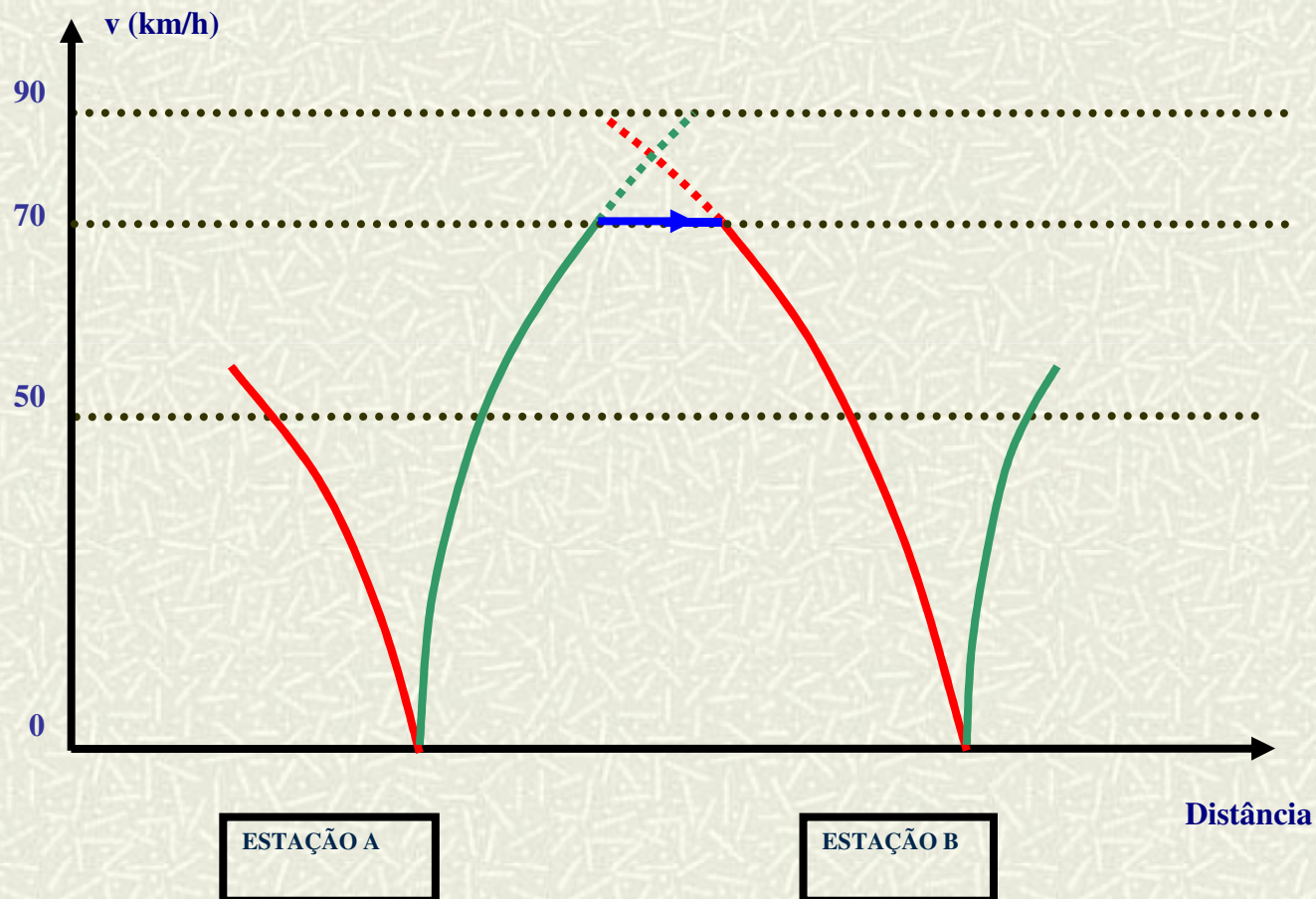
CASOS OPERACIONAIS

Caso 2: Restrição Civil de velocidade na via



CASOS OPERACIONAIS

Caso 3: Estações próximas entre si



TEMPO DE PERCURSO DO TREM

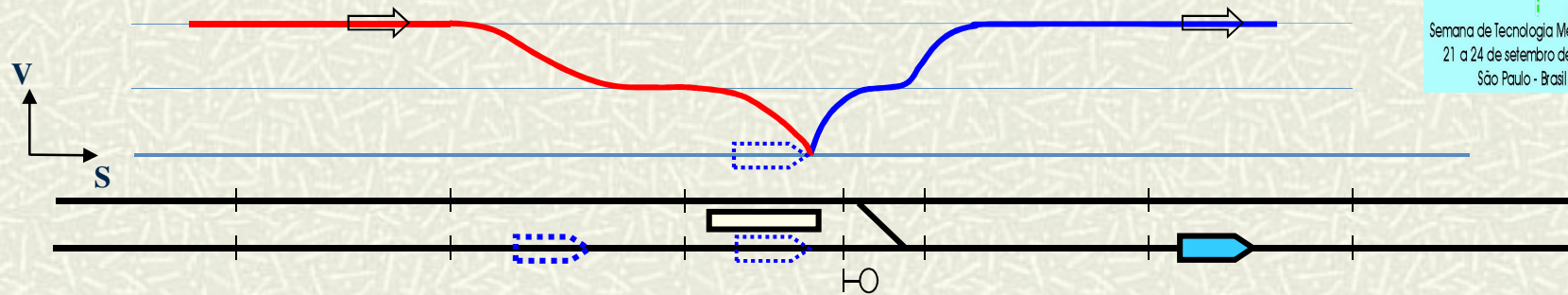


Trecho	Pontos Notáveis		Marco Quilométrico (m)	Velocidade (km/h)	Tempo Parcial (s)	Tempo Total (s)
CEA	Partida	Acel.	13423,0	0	0,0	0,0
			13424,1	5	1,5	1,5
			13427,3	10	3,1	3,1
			13432,6	15	4,6	4,6
		
			14521,9	55	65,8	65,8
		MU	14540,3	50	67,1	67,1
		Desacel.	14659,4	50	75,8	75,8
			14676,0	45	77,1	77,1
			14690,9	40	78,4	78,4
		
			14739,1	15	84,7	84,7
			14743,5	10	85,9	85,9
			14746,1	5	87,2	87,2
JAG	Chegada		14747,0	0	88,4	88,4
JAG	Partida	Acel.	14747,0	0	0,0	118,4
			14748,1	5	1,5	120,0
		14751,3	10	3,1	121,5	
		

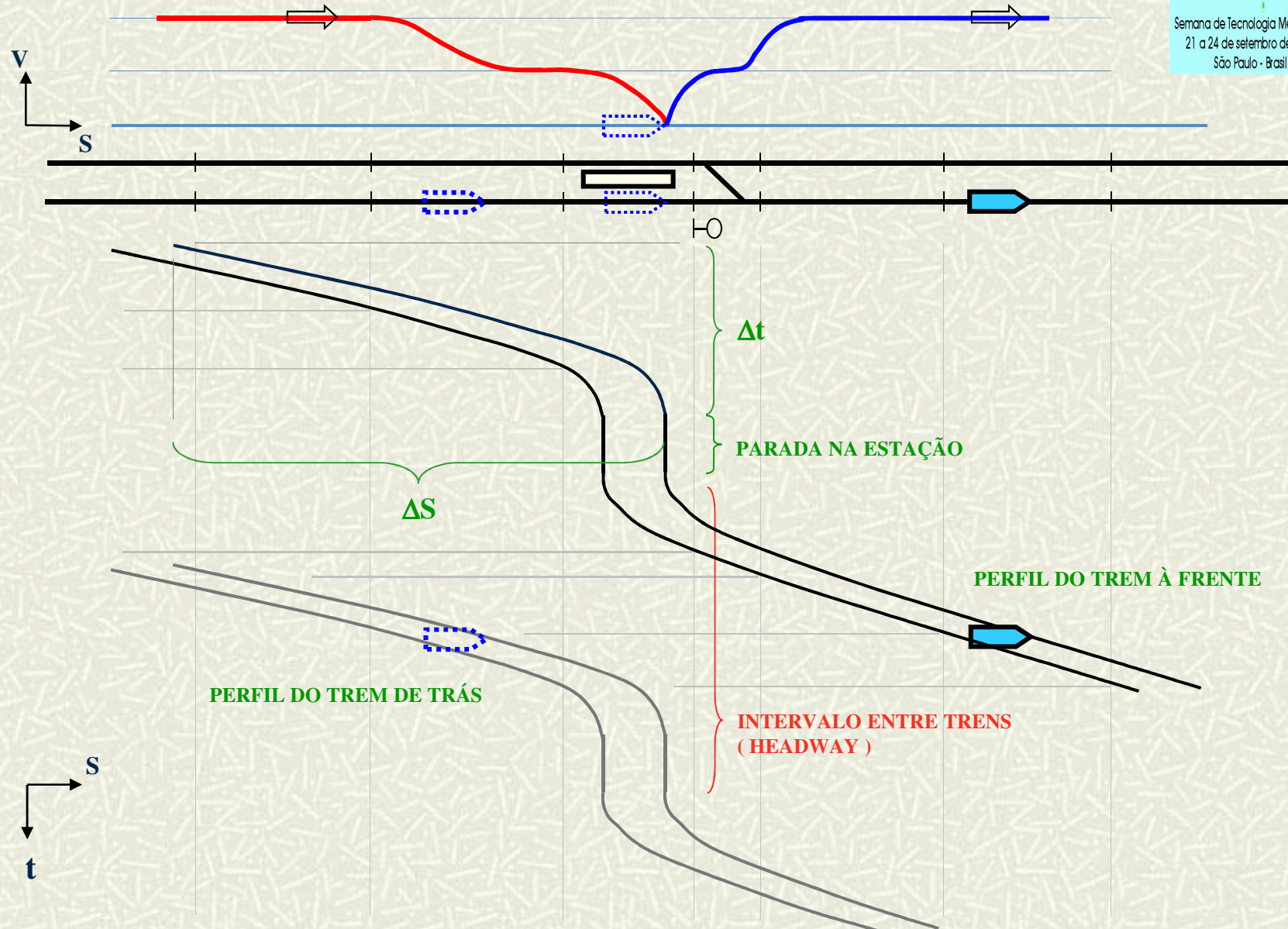


APLICAÇÃO DE SIMULAÇÃO DE MARCHA NO PROJETO DE SINALIZAÇÃO

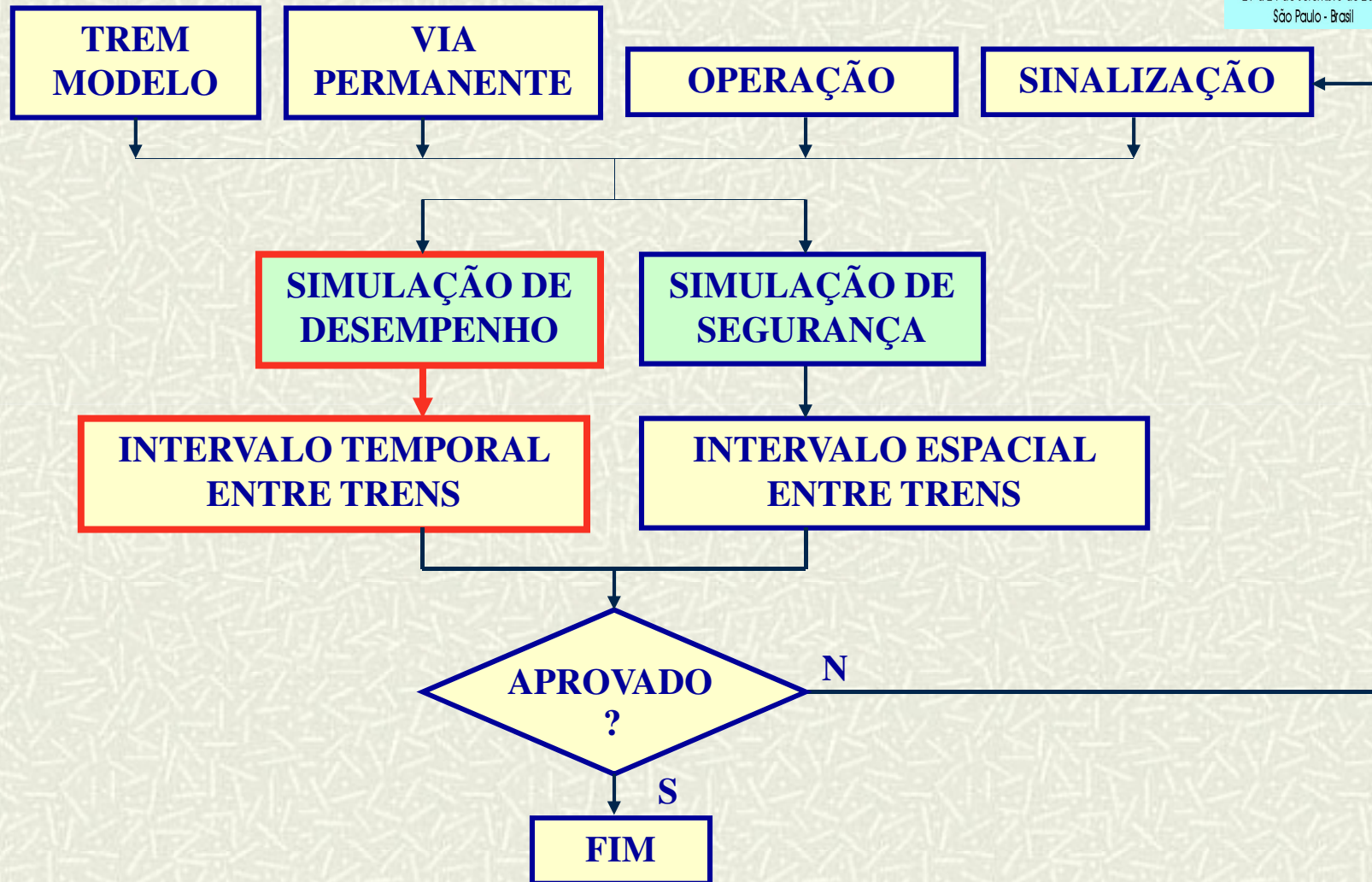
DIMENSIONAMENTO DE HW



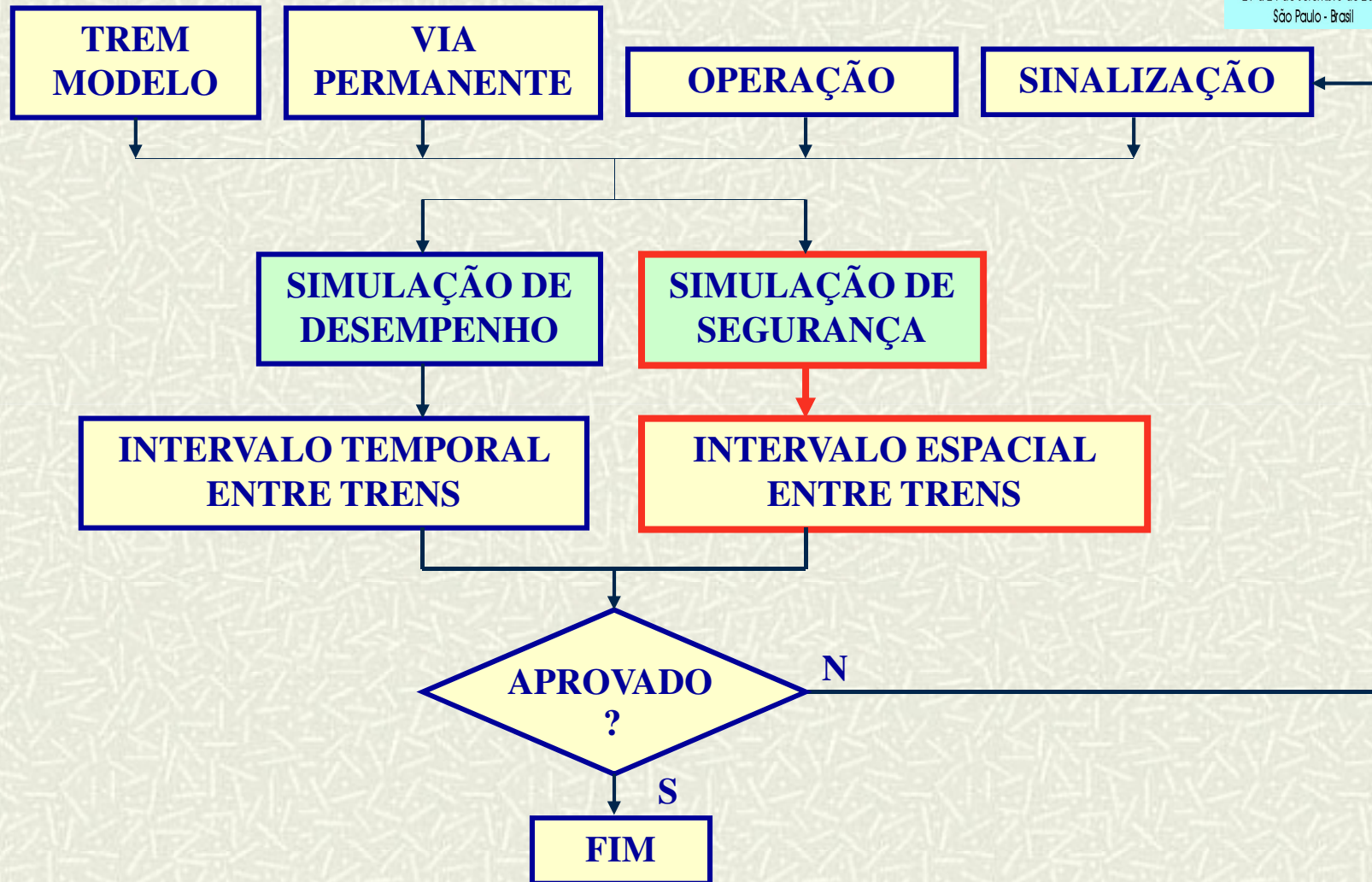
DIMENSIONAMENTO DE HW



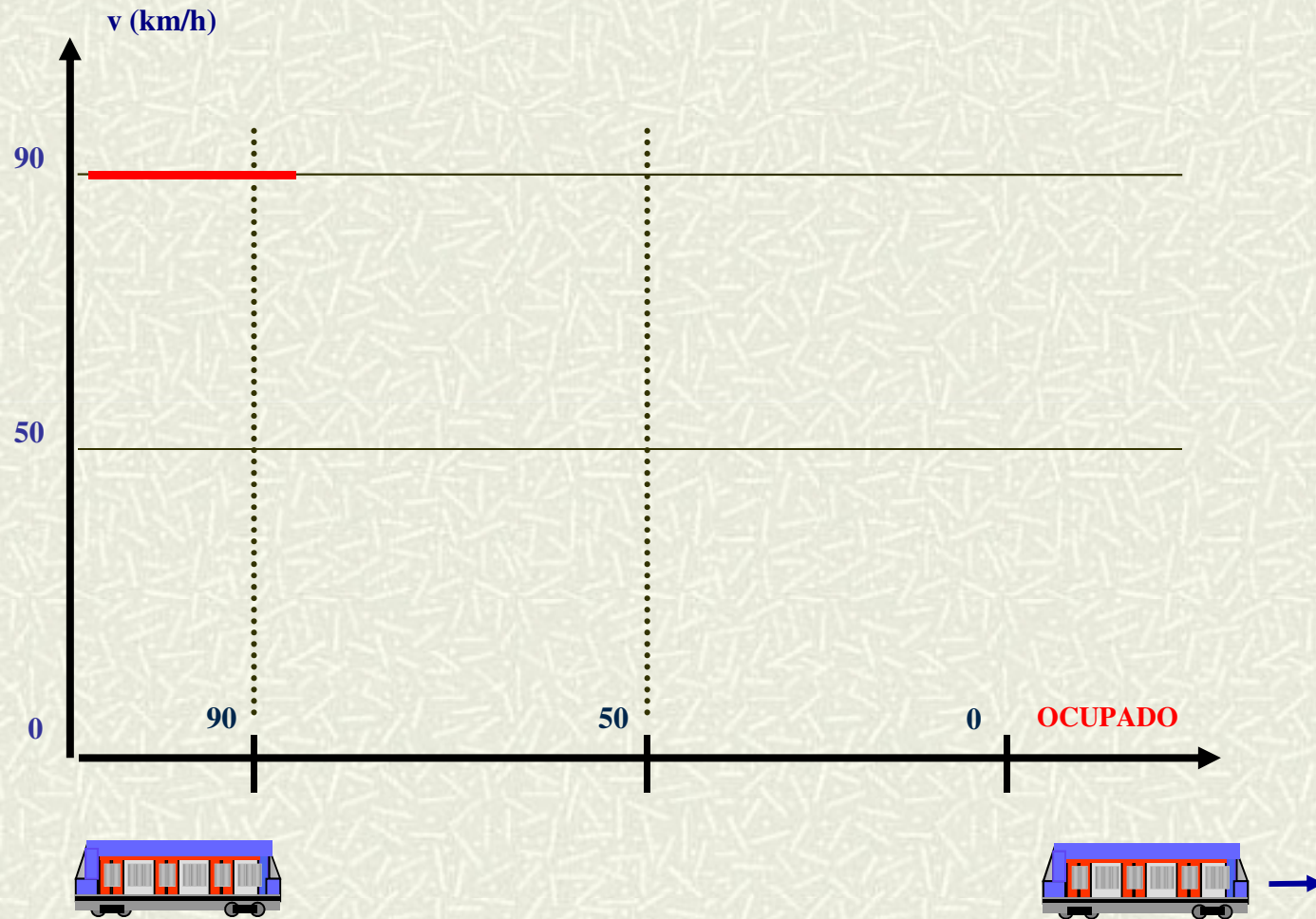
METODOLOGIA DA SIMULAÇÃO



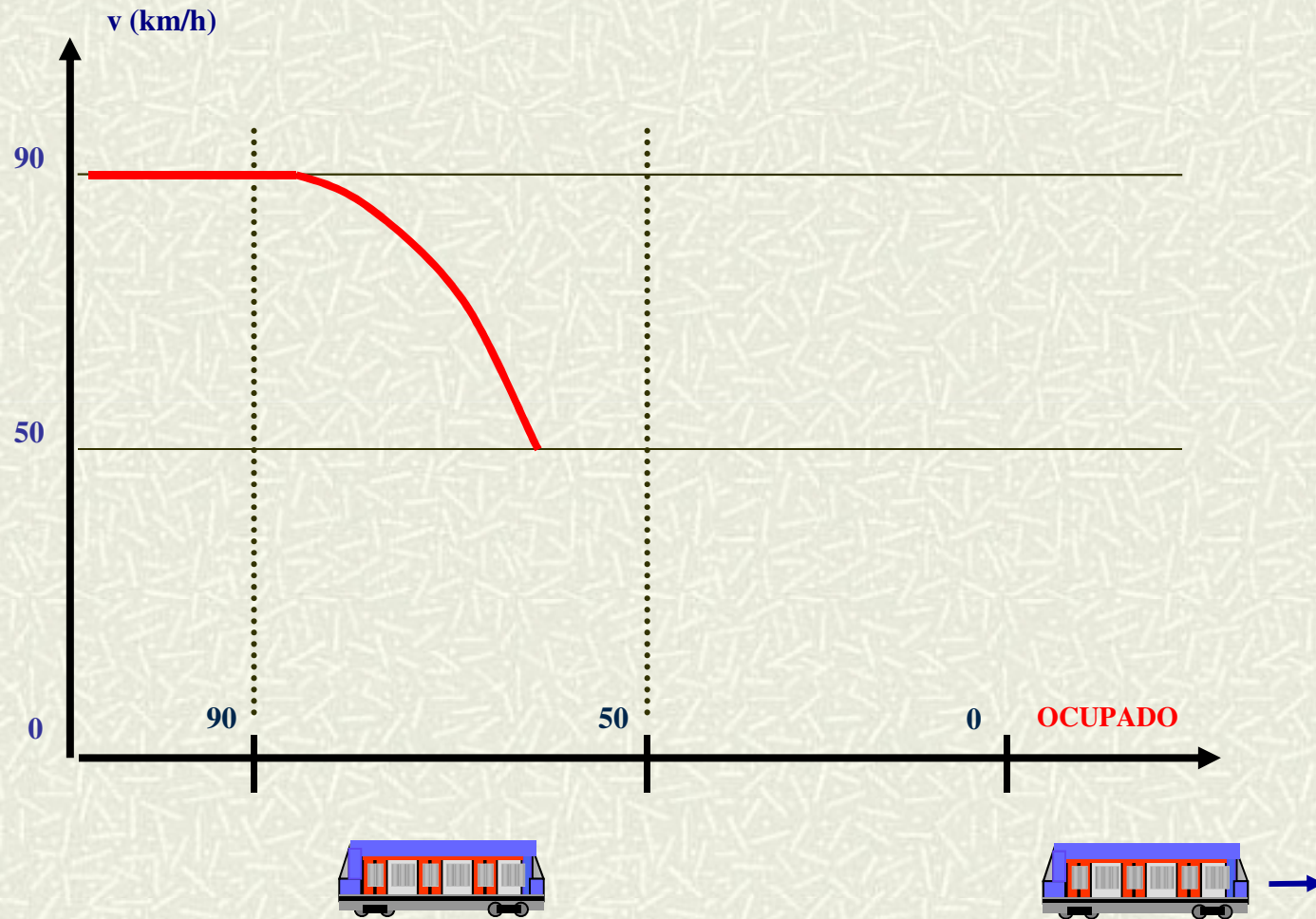
METODOLOGIA DA SIMULAÇÃO



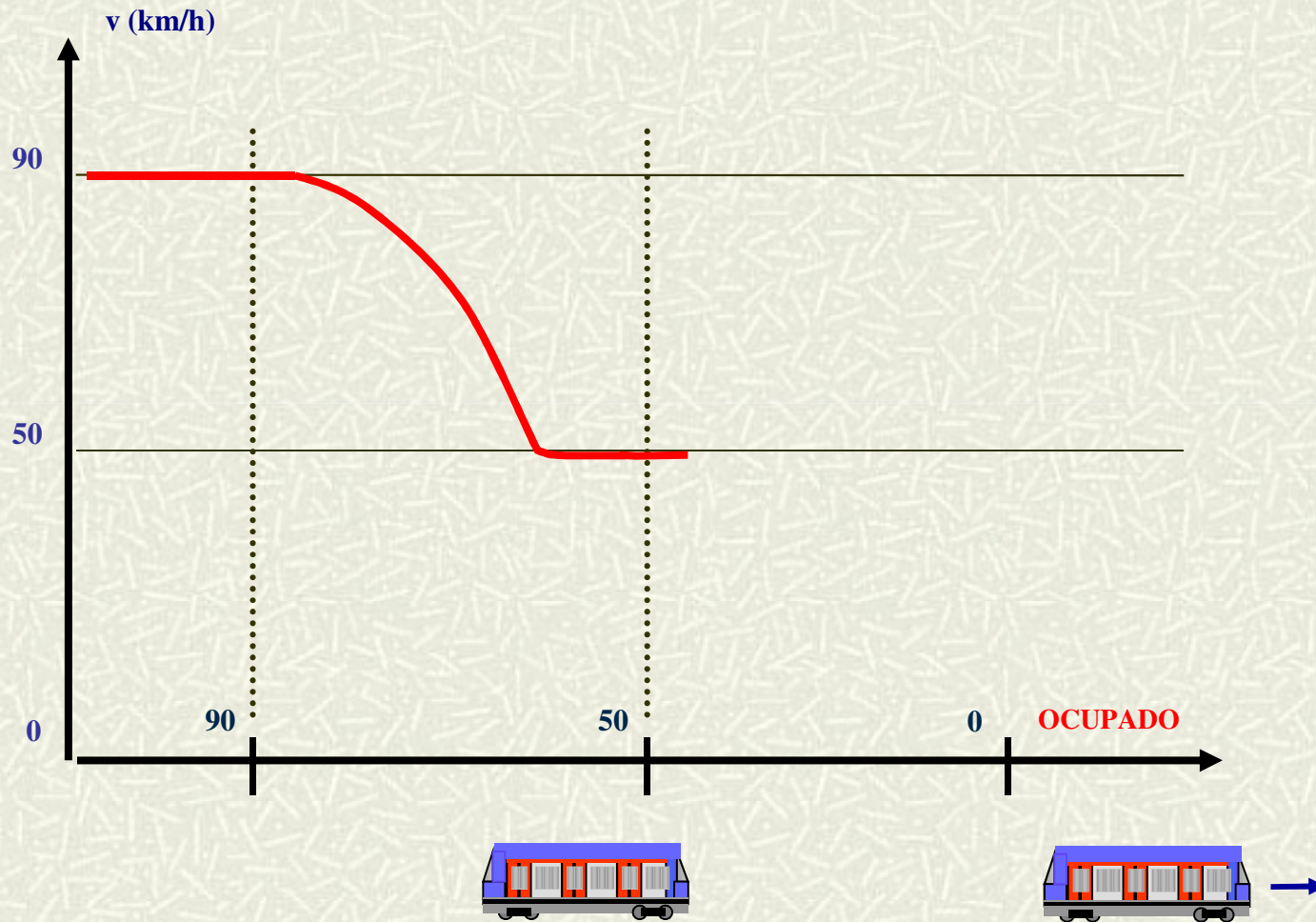
DISTÂNCIA DE FREAGEM



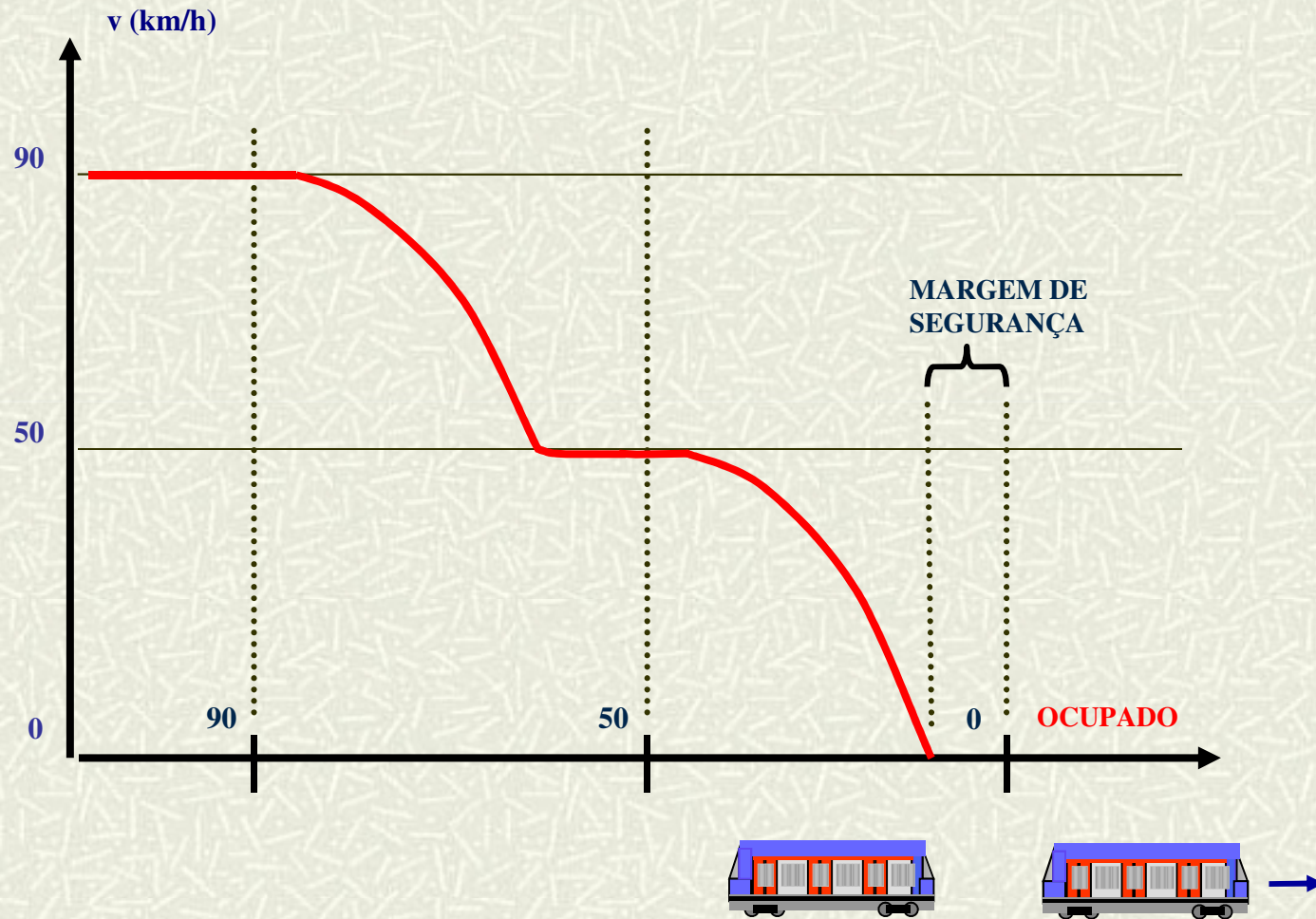
DISTÂNCIA DE FREAGEM



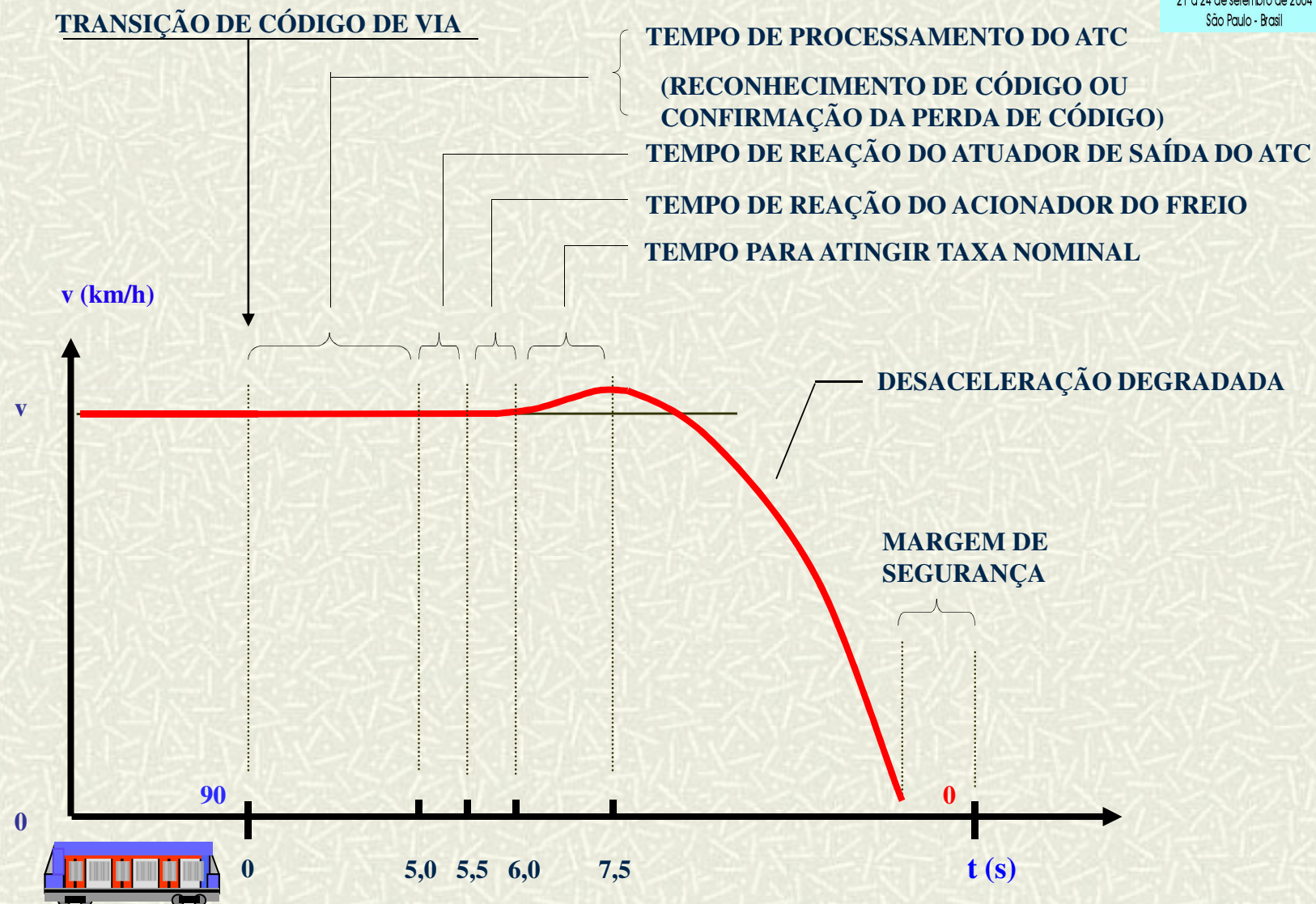
DISTÂNCIA DE FREAGEM



DISTÂNCIA DE FREAGEM



PERFIL DE FREIAGEM



PERFIL DE FREAGEM



$$S = \frac{(v_{INICIAL} + \Delta v_{MAX})^2}{25,92 \cdot (d_{DEG} \pm 0,0089 \cdot i)} + \left[\frac{v_{INICIAL}}{3,6} \cdot (t_{REAÇÃO}) \right] + ms$$

no qual: S - distância de freagem de segurança (m)

d_{DEG} - taxa de desaceleração degradada = 0,57 m/s²

i - rampa (‰)

$v_{INICIAL}$ - velocidade inicial da freagem (km/h)

Δv_{MAX} - variação max. da velocidade na condição crítica = 5 km/h

$t_{REAÇÃO}$ - somatória dos tempos de reações (ATC + freio) = 7,5 s

ms - margem de segurança = 20 m

Gráfico Sx t com códigos de velocidade

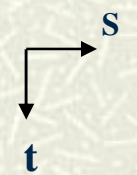
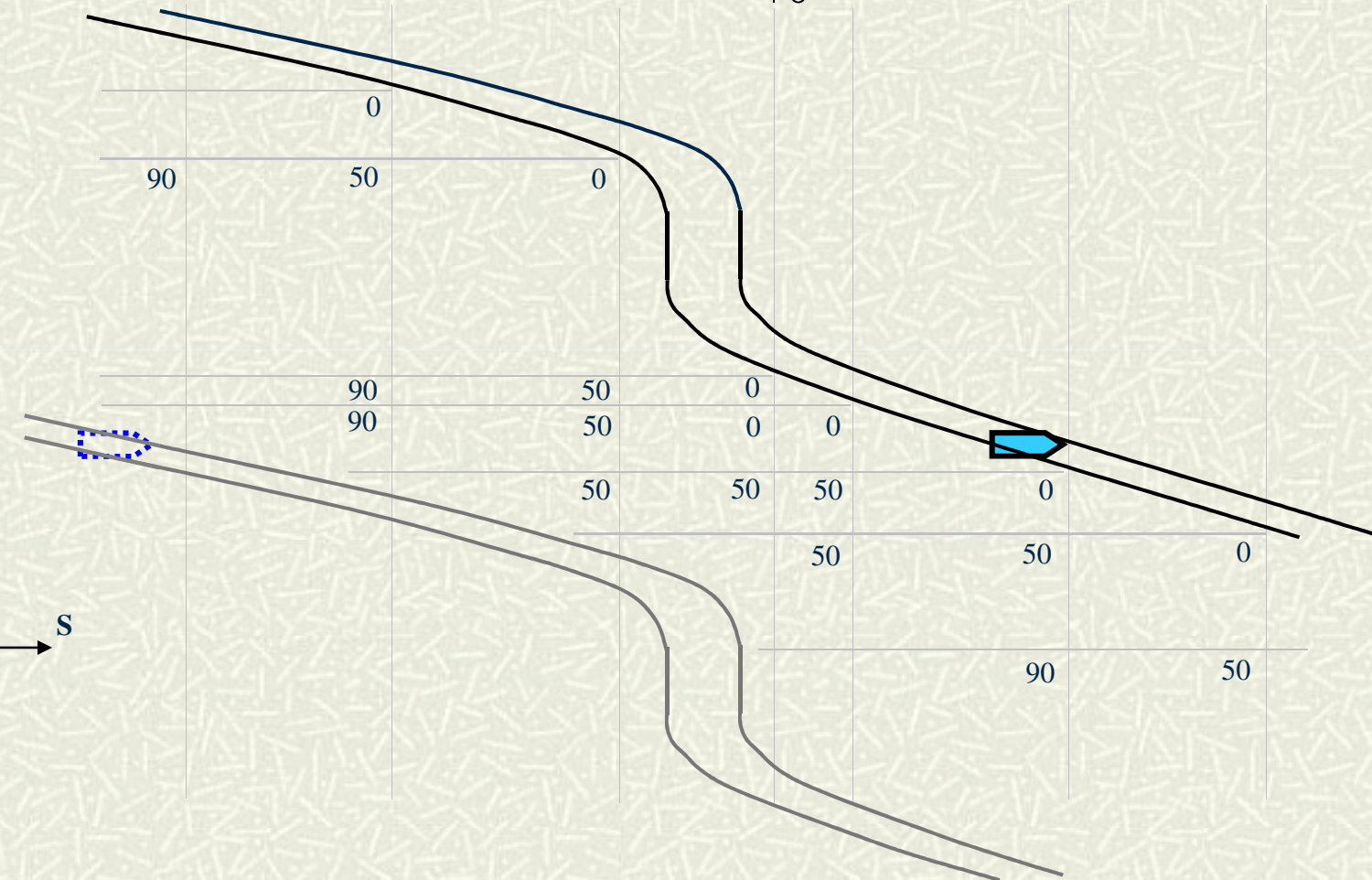
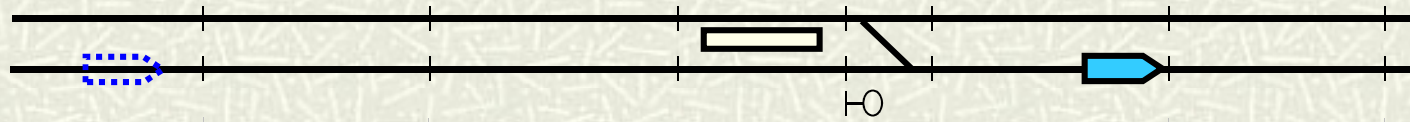
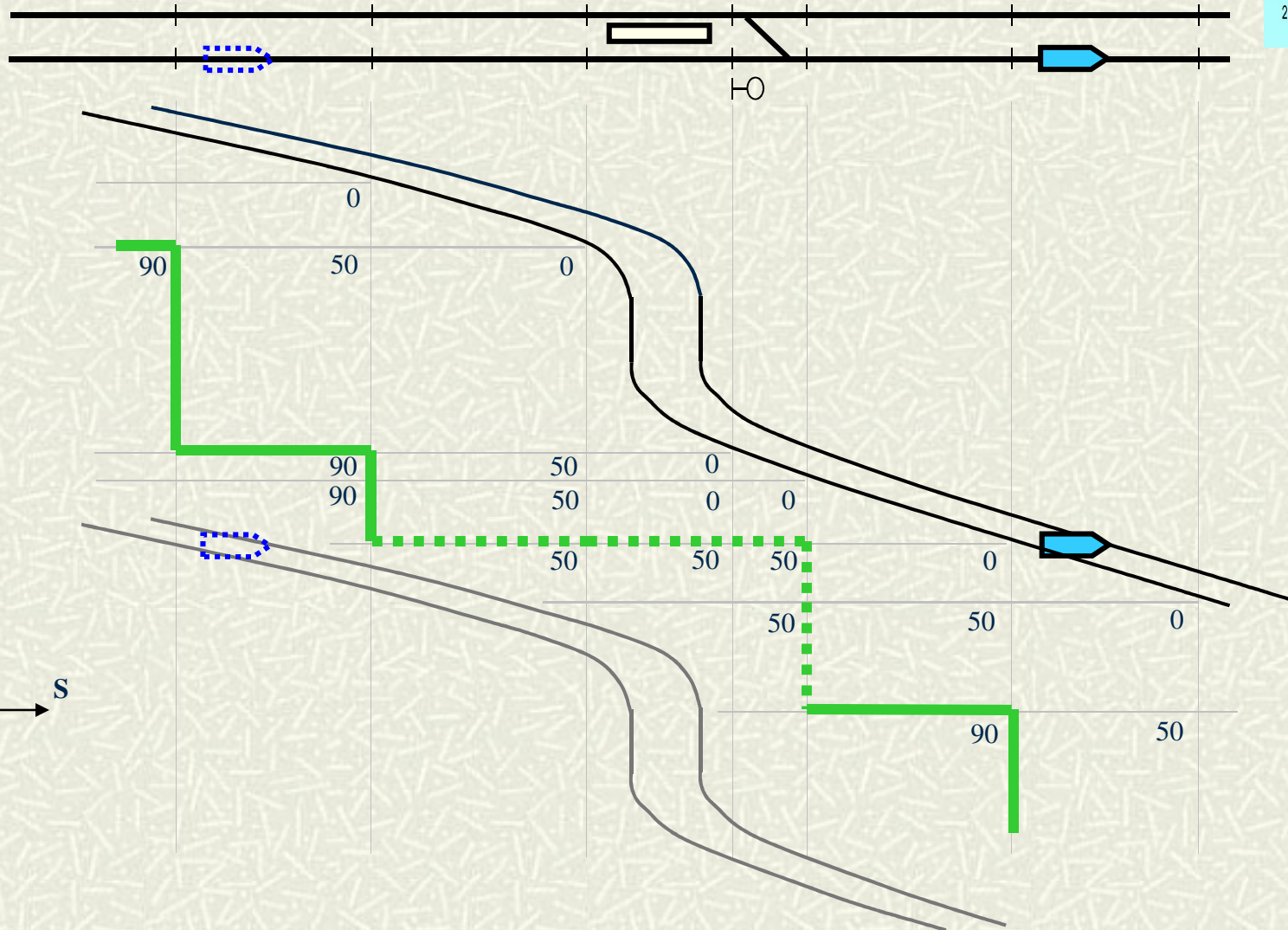


Gráfico Sx t com códigos de velocidade



Relatório de Simulação de Movimento de Trens (Tradicional)

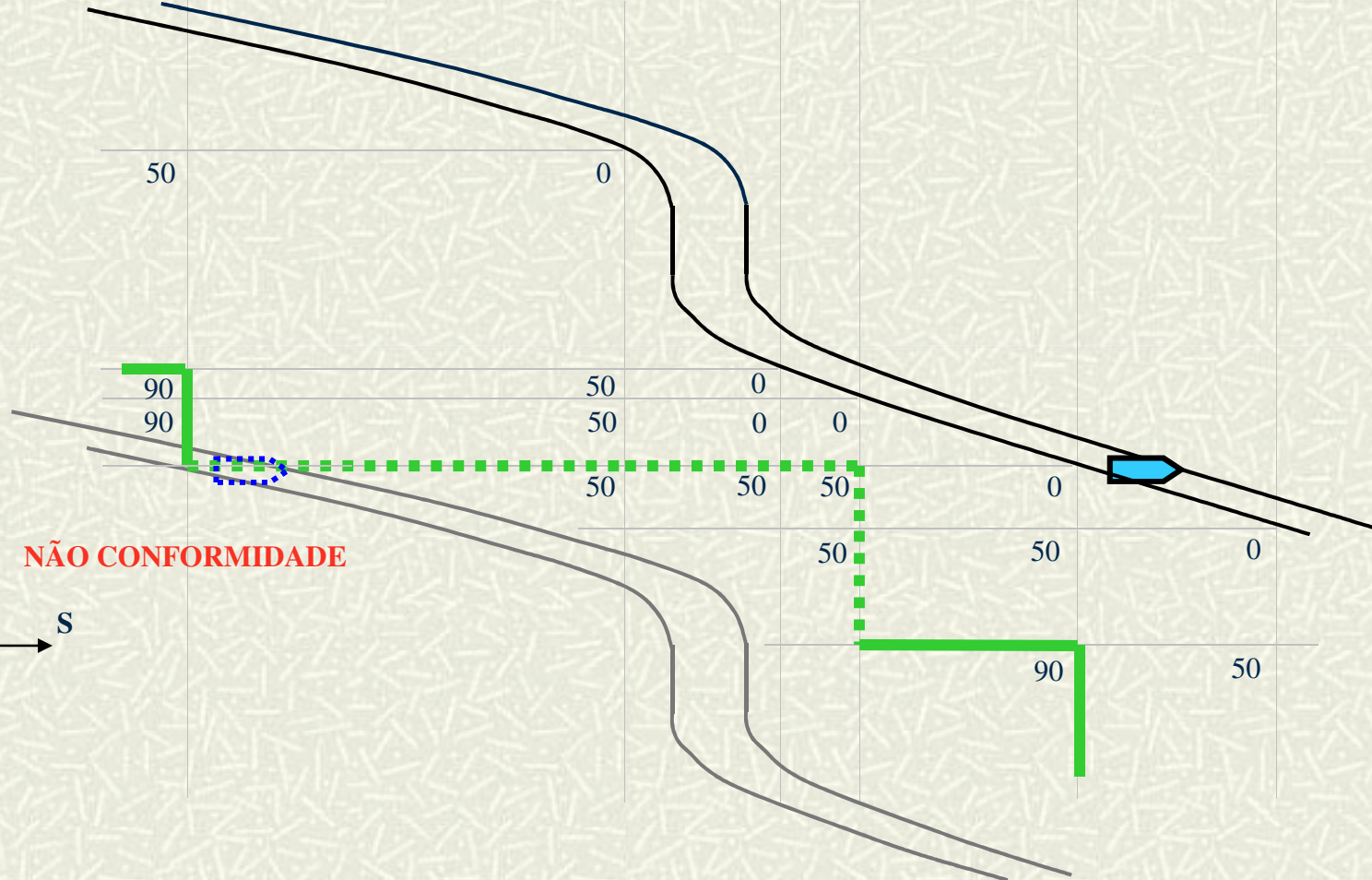
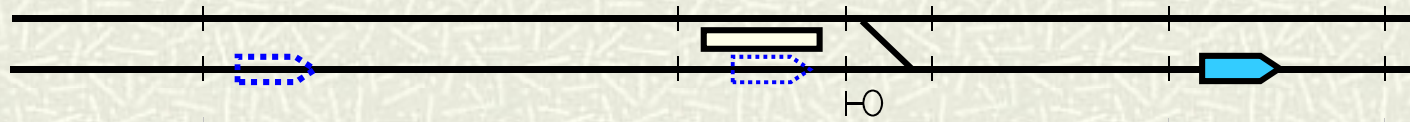


RELATORIO DE SIMULACAO DO MOVIMENTO DE TRENS																	
			POSICAO DA FRENTE			POSICAO DA TRASEIRA									POSICAO DIST. PARADA SEG.		
TS	IND	S	VIA	NOME CDV	COTA	VIA	NOME CDV	COTA	GRADE	ACELER	VEL TREM	COD_REC	COD_ATC	VEL_PP	MOV.	HDW	COTA
0.00	1	N	1	CEAIT1	12162.0	1	CEAIT1	12000.8	0.00	0.000	0.000	50.0	50.0	0.00			12384.0
2.55	1	N	1	CEAIT1	12163.8	1	CEAIT1	12002.6	-0.05	0.900	6.226	50.0	50.0	0.00	ACEL		12384.0
5.00	1	N	1	CEAIT1	12170.7	1	CEAIT1	12009.5	-0.05	0.900	14.207	50.0	50.0	0.00	ACEL		12384.0
7.50	1	N	1	CEAIT1	12183.4	1	CEAIT1	12022.2	-0.05	0.900	22.351	50.0	50.0	0.00	ACEL		12384.0
10.00	1	N	1	CEAIT1	12201.8	1	CEAIT1	12040.6	-0.05	0.900	30.495	50.0	50.0	0.00	ACEL		12384.0
12.50	1	N	1	CEAIT1	12225.7	1	CEAIT1	12064.5	-0.05	0.716	38.256	50.0	50.0	0.00	ACEL		12384.0
15.00	1	N	1	CEAIT1	12254.2	1	CEAIT1	12093.0	-0.04	0.500	43.390	50.0	50.0	0.00	ACEL		12384.0
17.50	1	N	1	JAG1T4	12285.9	1	CEAIT1	12124.7	-0.02	0.500	47.915	50.0	70.0	0.00	ACEL		12910.8
20.05	1	N	1	JAG1T4	12319.9	1	CEAIT1	12158.7	0.00	0.000	48.000	50.0	70.0	0.00	MU		12910.8
..																	
92.50	1	N	1	JAG1T3A	13418.6	1	JAG1T3	13257.4	-0.00	-0.850	38.554	50.0	50.0	38.55	PP		13725.1
95.00	1	N	1	JAG1T3A	13442.7	1	JAG1T3A	13281.5	-0.00	-0.850	30.904	50.0	50.0	30.90	PP		13725.1
97.50	1	N	1	JAG1T3A	13461.5	1	JAG1T3A	13300.3	-0.00	-0.850	23.254	50.0	50.0	23.25	PP		13725.1
100.00	1	N	1	JAG1T3A	13475.0	1	JAG1T3A	13313.8	-0.00	-0.850	15.604	50.0	50.0	15.60	PP		13725.1
102.50	1	N	1	JAG1T3A	13483.2	1	JAG1T3A	13322.0	-0.00	-0.850	7.955	50.0	50.0	7.95	PP		13725.1
105.00	1	N	1	JAG1T3A	13486.0	1	JAG1T3A	13324.8	-0.00	-0.850	0.293	50.0	50.0	0.29	PP		13725.1
105.10	Trem: 1			Chegou na Estacao:		JAG	Via: 1		Tempo de percurso: 105.1 [seg]			Tempo de Permanencia: 30.0 [seg]					
135.2	Trem: 1			Saindo da Estacao:		JAG	Via: 1										
137.50	1	N	1	JAG1T3A	13487.4	1	JAG1T3A	13326.2	-0.00	0.900	5.536	50.0	50.0	0.00	ACEL		13725.1
140.00	1	N	1	JAG1T3A	13494.1	1	JAG1T3A	13332.9	-0.00	0.900	13.640	50.0	50.0	0.00	ACEL		13725.1
1962.54	2	N	1	JUR1T2	32779.1	1	JUR1T2	32617.8	-0.07	0.000	48.000	50.0	50.0	0.00	MU	149.1	33018.3
1965.04	2	N	1	JUR1T2	32812.5	1	JUR1T2	32651.1	-0.01	0.000	48.000	50.0	50.0	0.00	MU	149.1	33018.3
1967.54	2	N	1	JUR1T2	32845.9	1	JUR1T2	32684.4	0.04	0.000	48.000	50.0	50.0	0.00	MU	149.1	33018.3
1970.05	2	N	1	JUR1T2	32879.3	1	JUR1T2	32717.7	0.09	0.000	48.000	50.0	50.0	0.00	MU	149.1	33018.3
1971.2	Fechou o Bloqueio:			JUR10	Ocupacao do Circuito de Via:			JUR1T1									
1972.55	2	N	1	JUR1T1	32912.7	1	JUR1T2	32751.0	0.14	0.000	48.000	50.0	50.0	0.00	MU	149.1	33293.1
1975.00	2	N	1	JUR1T1	32945.4	1	JUR1T2	32783.7	0.16	0.000	48.000	50.0	50.0	0.00	MU	149.1	33293.1
1977.50	2	N	1	JUR1T1	32978.8	1	JUR1T2	32817.1	0.15	0.000	48.000	50.0	50.0	0.00	MU	149.1	33293.1
1980.01	2	N	1	JUR1T1	33012.2	1	JUR1T2	32850.5	0.10	0.000	48.000	50.0	50.0	0.00	MU	149.1	33293.1
1982.51	2	N	1	JUR1T1	33045.6	1	JUR1T2	32883.9	0.06	0.000	48.000	50.0	50.0	0.00	MU	149.1	33293.1
1985.01	2	N	1	JUR1T1	33079.0	1	JUR1T1	32917.3	0.01	0.000	48.000	50.0	50.0	0.00	MU	149.1	33293.1
1987.4	Abriu o Bloqueio:			JUR24	Apos 0 [segundos] da			Desocupacao do Circuito de Via:			JUR1T2						
1987.4	Trem: 2			TERMINOU A SIMULACAO													
***** F I M D A S I M U L A C A O *****																	

Trem [1] - Tempo de percurso: 1761.1 [seg], Vel. Comercial: 42.82 [Km/h]
 Trem [2] - Tempo de percurso: 1761.3 [seg], Vel. Comercial: 42.82 [Km/h]

O headway entre o trem [1] e o trem [2] e' 149.1 [seg]

Gráfico Sx t com códigos de velocidade



NÃO CONFORMIDADE

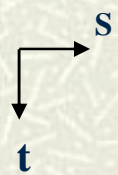
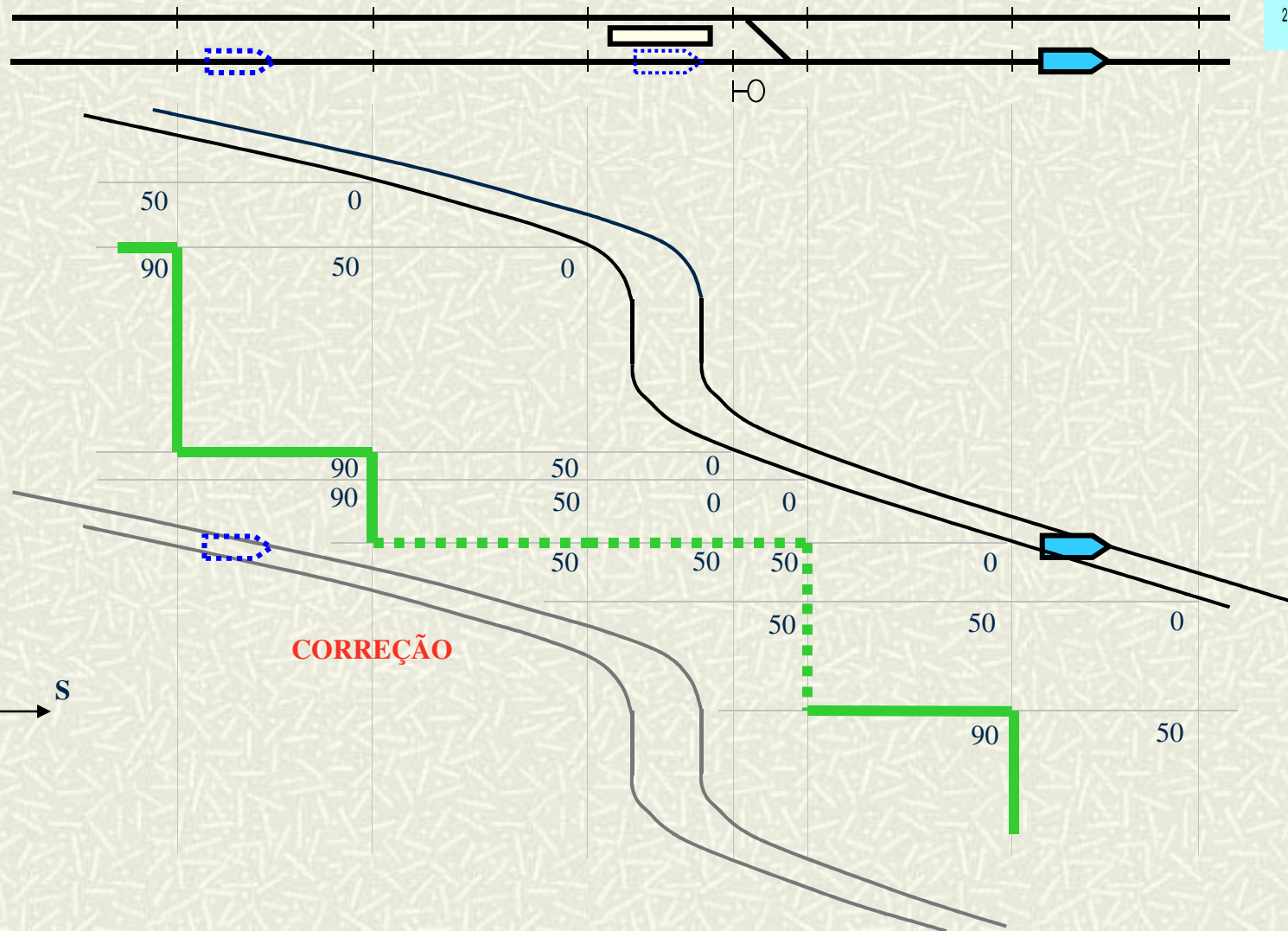


Gráfico Sx t com códigos de velocidade



METODOLOGIA DA SIMULAÇÃO



CONCEITUAÇÃO DO MODELO



COLETA DE PARÂMETROS DE ENTRADA (CRÍTICOS)



FORMULAÇÃO DAS EQUAÇÕES CINEMÁTICAS



ELABORAÇÃO DOS PROGRAMAS SIMPLIFICADOS



APLICAÇÃO DO MODELO SOBRE UMA VIA EXISTENTE



VALIDAÇÃO DO MODELO

VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS



Trecho entre estações	Tempo de Percurso (s)			
	Cronometrado na via	Simulado Projeto PECE	Simulação Fornecedor Trem	Projeto Fornecedor Sinalização
Sentido : CEA-JUR				
CEA-JAG	85,0	88,4	90,0	105,1
JAG-USP	141,0	139,5	140,7	158,6
USP-PIN	101,0	98,2	93,1	104,8
PIN-EMT	74,0	73,2	72,7	75,3
EMT-CJD	98,0	91,8	96,9	111,5
CJD-VOL	85,0	84,2	76,8	87,9
VOL-BRR	98,0	94,5	89,1	104,9
BRR-MRB	120,0	118,5	113,6	135,9
MRB-GJT	87,0	86,7	86,7	92,3
GJT-SAM	216,0	203,3	195,7	217,3
SAM-SOC	83,0	83,6	83,5	89,7
SOC-JUR	128,0	115,9	108,3	117,3

DIFERENÇA	REFERÊNCIA	2,5 %	4,7 %	7,1 %
------------------	------------	--------------	--------------	--------------

CONCLUSÕES



- Método prático e ágil para análise de projetos;
- Equivalência técnica em relação às outras simulações mais complexas;
- Utilização de programas simples (Excel[®] e AutoCAD[®]) sem redução de precisão dos resultados.

UTILIZAÇÃO DO MÉTODO NA CPTM



- Aplicação prática da metodologia no Projeto Integração Centro;
- Redução dos custos de projetos.



**COMPANHIA PAULISTA DE
TRENS METROPOLITANOS**



AGRADECIMENTOS:

à AEAMESP

à AEEFSJ

à CPTM