

1

2007
Metropoli
13ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA



2



3



CBTC

ESTUDO DE REDUÇÃO DE INTERVALO ENTRE TRENS NO TRECHO BRÁS- BARRA FUNDA ATRAVÉS DE IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE SINALIZAÇÃO CBTC

PEDRO OLIVEIRA DOS SANTOS
LAÉRCIO ARANZANA CRUS
SÍLVIO BUENO

TRABALHO DE MONOGRAFIA APRESENTADO À
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



OBJETIVOS

- **Diminuir o intervalo entre os trens**
- **Reduzir a quantidade de equipamentos**
- **Atenuar os atos de furtos e vandalismos**
- **Aumentar a capacidade do sistema**

DESENVOLVIMENTO

Motivação

Abrangência

- Sistema CBTC (communications based train control)
- Estudo e metodologia de implantação do CBTC na linha I
- Conclusões





MOTIVAÇÃO

Face aos sistemas de sinalização estarem se tornando obsoletos, verificamos a necessidade de estudar novas tecnologias capazes de substituir as atuais, melhorando o desempenho geral do sistema: regularidade, confiabilidade, segurança e redução dos intervalos

ABRANGÊNCIA – LINHA I

Estações



Esquema das linhas

Linha I



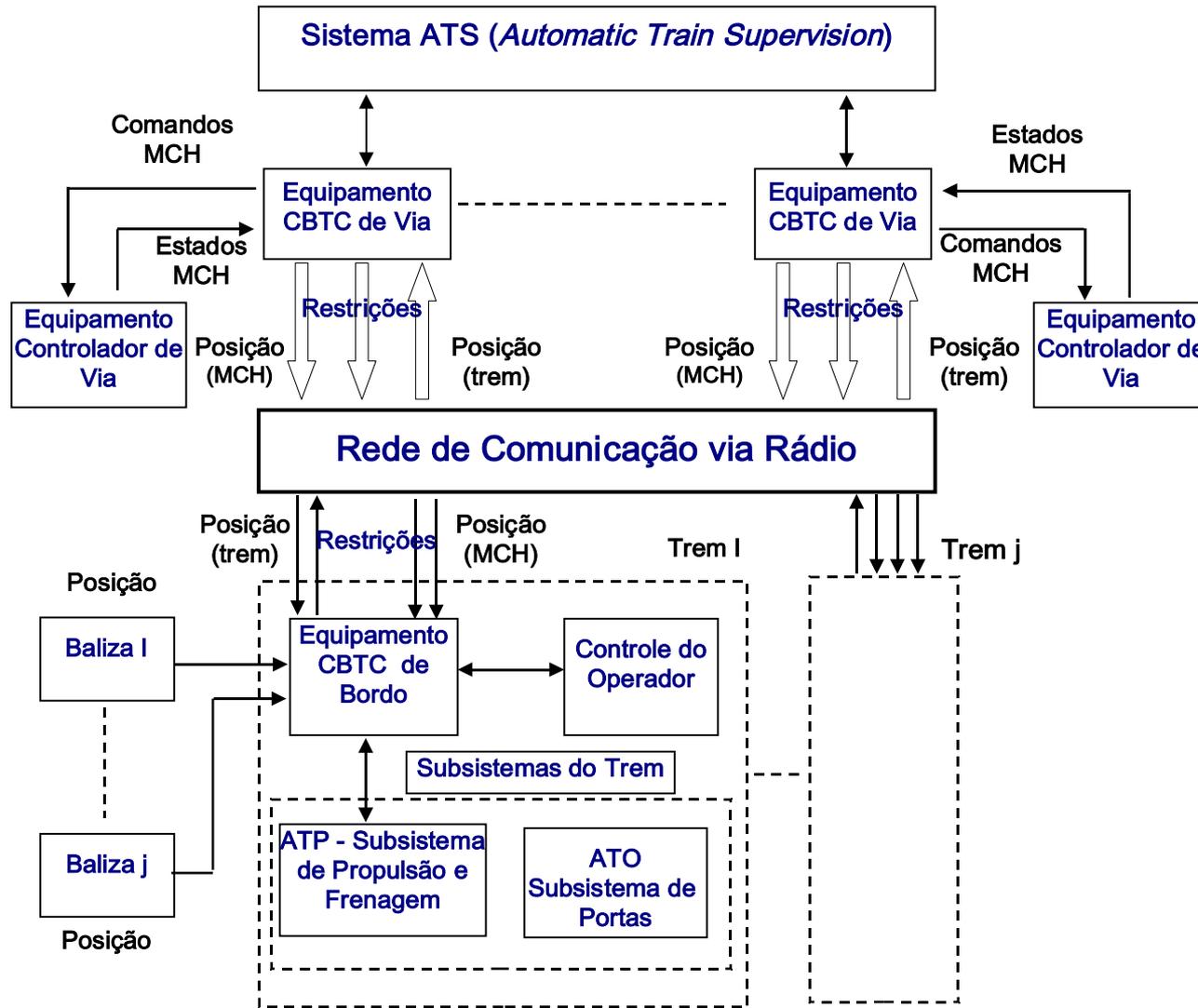
SISTEMA CBTC(Communications Based Train Control)

Tecnologia utilizada para supervisão e controle de transportes ferroviários

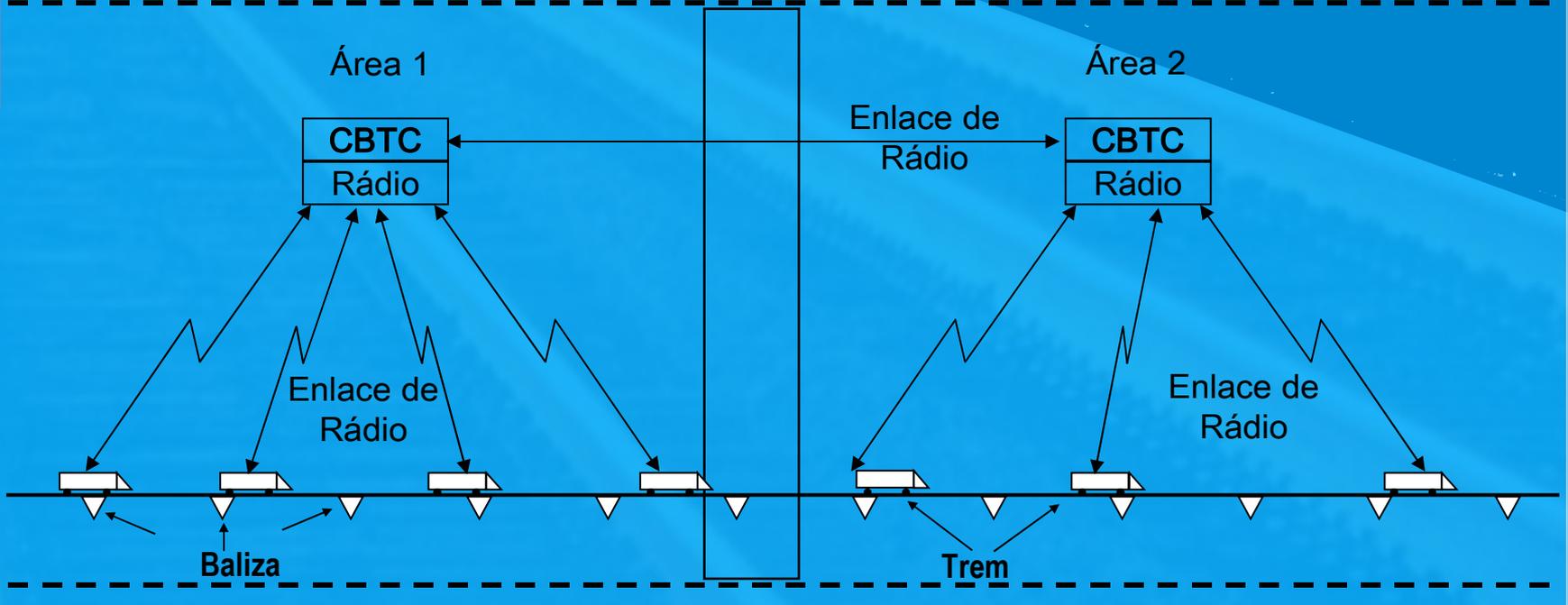
CARACTERÍSTICA PRINCIPAL:

Determinação da posição do trem na via com elevado grau de precisão em comparação ao sistema tradicional.

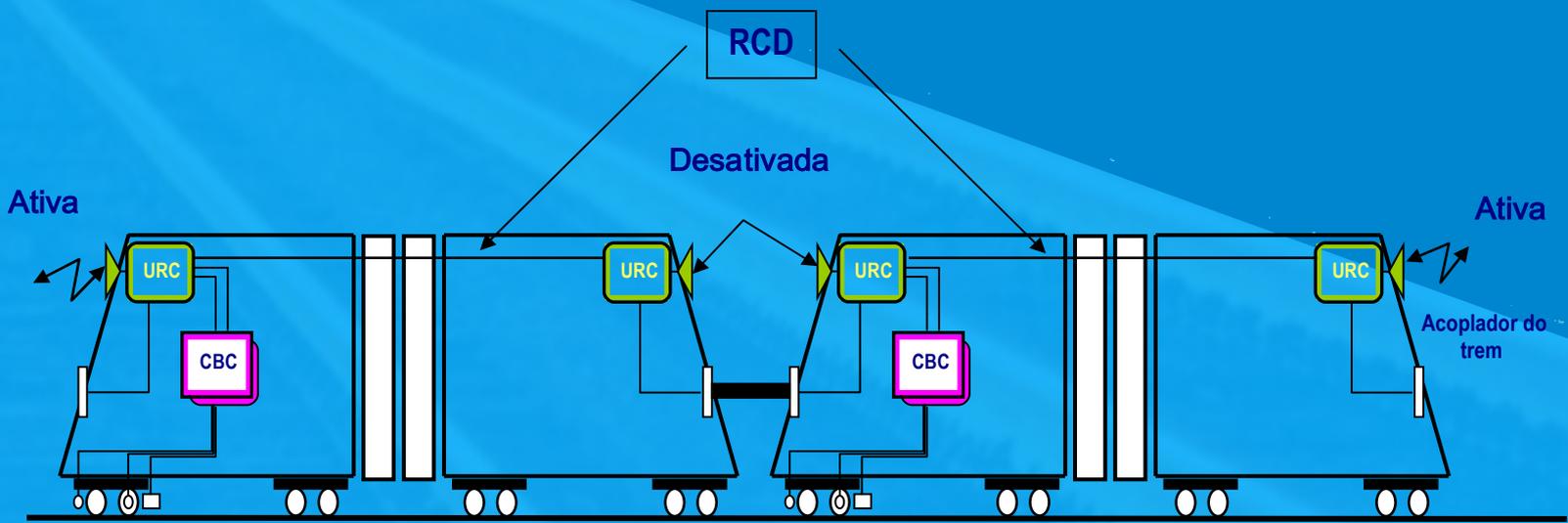
DIAGRAMA DE BLOCOS DO CBTC



ASPECTOS FUNCIONAIS



CONFIGURAÇÃO DE UNIDADES MÚLTIPLAS



CBC – Não mestre
- Recebe mensagem

CBC – Mestre
- Controla a RCD
- Recebe e envia mensagem

METODOLOGIA APLICADA PARA O DIMENSIONAMENTO DO INTERVALO ENTRE TRENS COM CBTC

- **Elaboração do cálculo de frenagem**
- **Simulação de marcha com CBTC**
- **Dimensionamento do intervalo entre os trens**





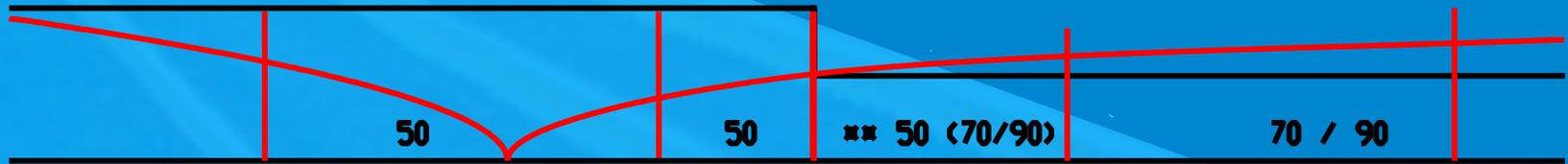
ABORAÇÃO DO CÁLCULO DE FRENAGEM

Parâmetros da via

- Parâmetros do trem série 1100
- Parâmetros do CBTC
- Dimensionamento das distâncias de frenagem

Desempenho

90 Códigos de limites de velocidades



Eixo das curvas

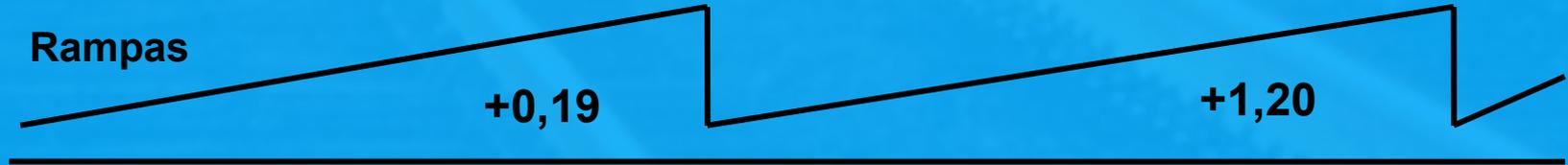
Raio das curvas 308 / 665 / 485



Rampas

+0,19

+1,20

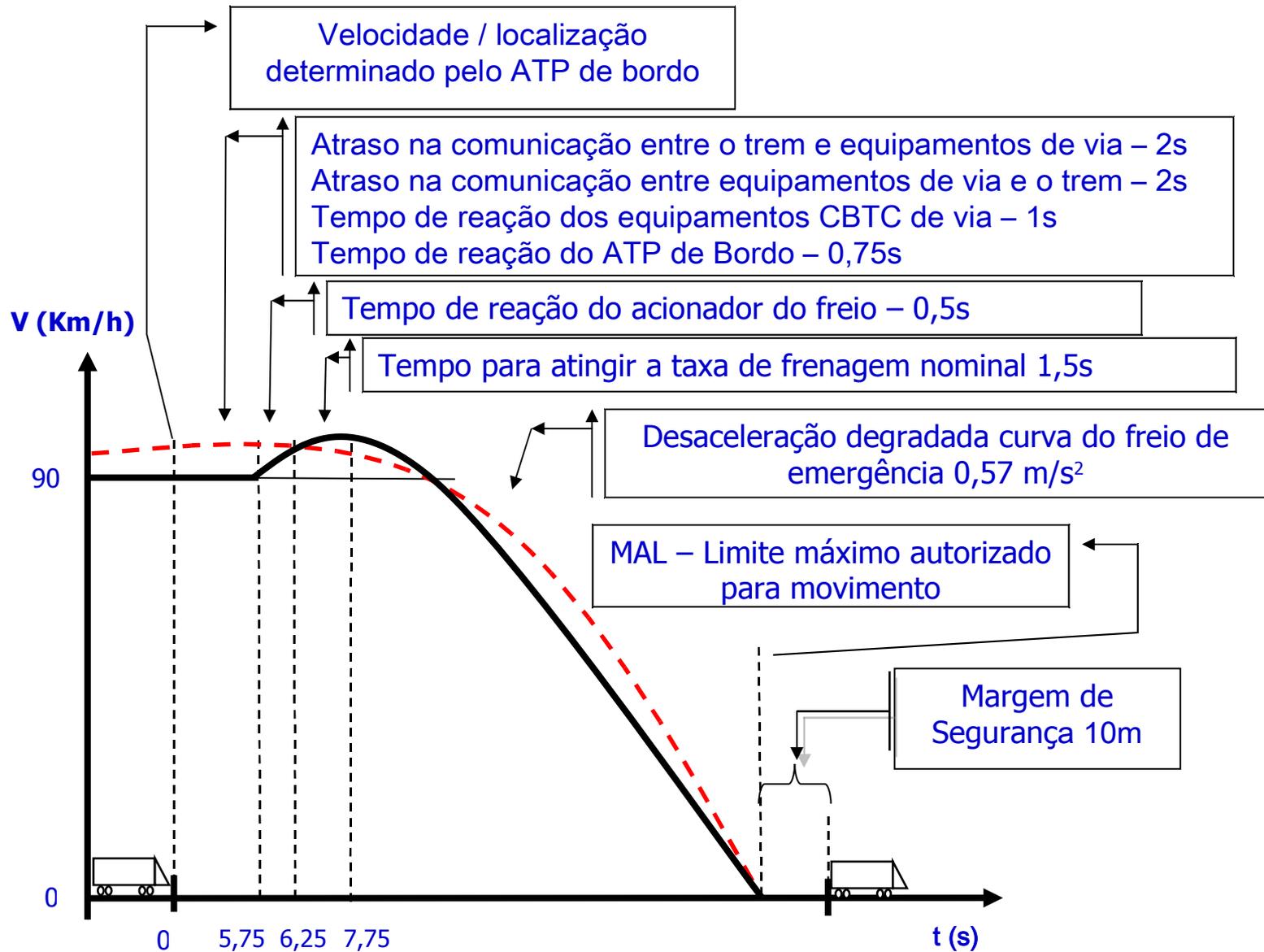




PARÂMETROS DO TREM TIPO SÉRIE 1100

- Comprimento do trem: 155,448 m;
- Aceleração máxima: $0,50 \text{ m/s}^2$;
- Frenagem máxima de serviço: $0,77 \text{ m/s}^2$ (simulação de marcha);
- Frenagem máxima de serviço: $0,57 \text{ m/s}^2$ (simulação de segurança);
- Retardos do sistema CBTC para atingir a frenagem nominal: 7,75s (simulação de segurança)

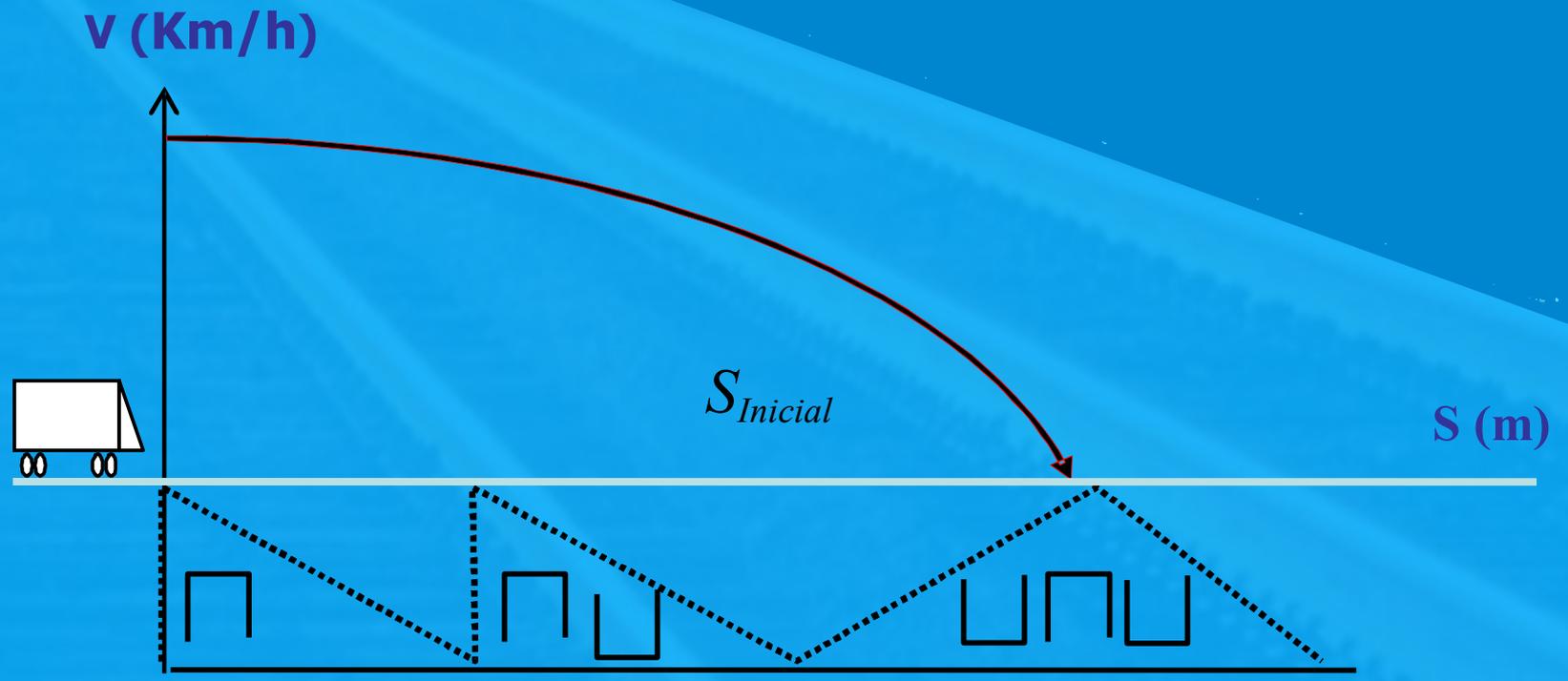
Parâmetros do CBTC



$$S_{inicial} = \frac{(V_i + \Delta V)^2 - (V_f)^2}{25,92(d_n \pm 0,0089 \cdot i)} + \left[\frac{V_i}{3,6} \cdot t_r \right] + m_s$$

- $S_{inicial}$ = distância de frenagem de segurança
- V_i = velocidade inicial [Km/h]
- V_f = velocidade final [Km/h]
- i = rampa [‰] $\xrightarrow{\hspace{1cm}}$ $+ i \Rightarrow \text{Aclive}$
 $- i \Rightarrow \text{Declive}$
- d_n = taxa de desaceleração nominal [m/s^2]
- t_r = tempo de reação do CBTC
- Δv = Variação de velocidade para o CBTC
- M_s = Margem de segurança [m]

INFLUÊNCIA DAS CURVAS NA RESISTÊNCIA AO MOVIMENTO





$$i' = \pm i + \frac{K_c}{l_t} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{r_i}$$

+ $i \Rightarrow$ *Active* - $i \Rightarrow$ *Declive*

i' - perfil compensado (‰)

i - rampa (‰)

K_c - constante da resistência específica devido a curvas

l_t [m] Comprimento total da rampa

l_i [m] - comprimento da curva

r_i [m] - raio da curva





$$i_X = \frac{\sum_{i=1}^n i'_i \times l_i}{l_T}$$

$$l_T = \sum_{i=1}^n l_i$$

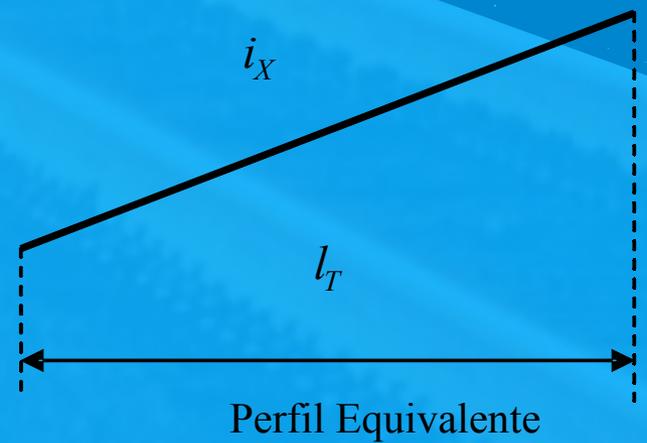
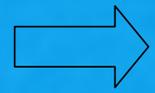
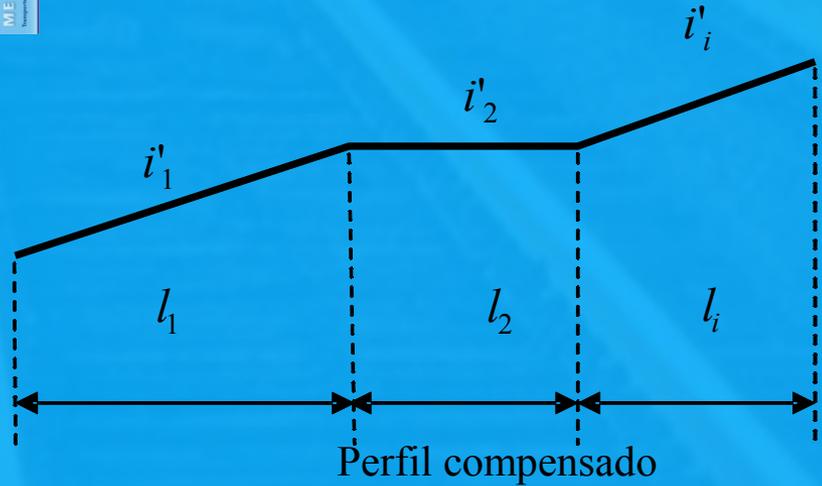
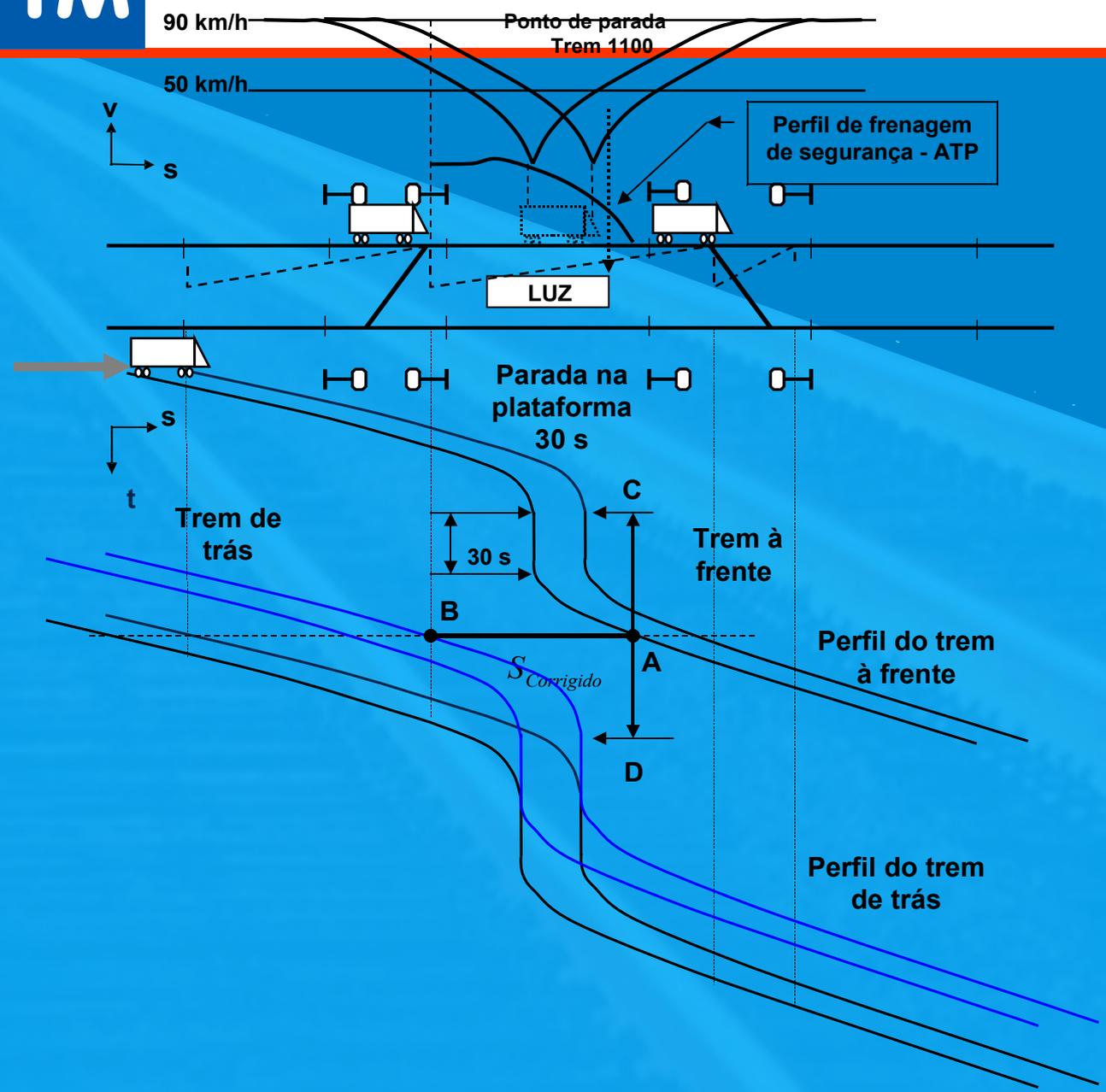


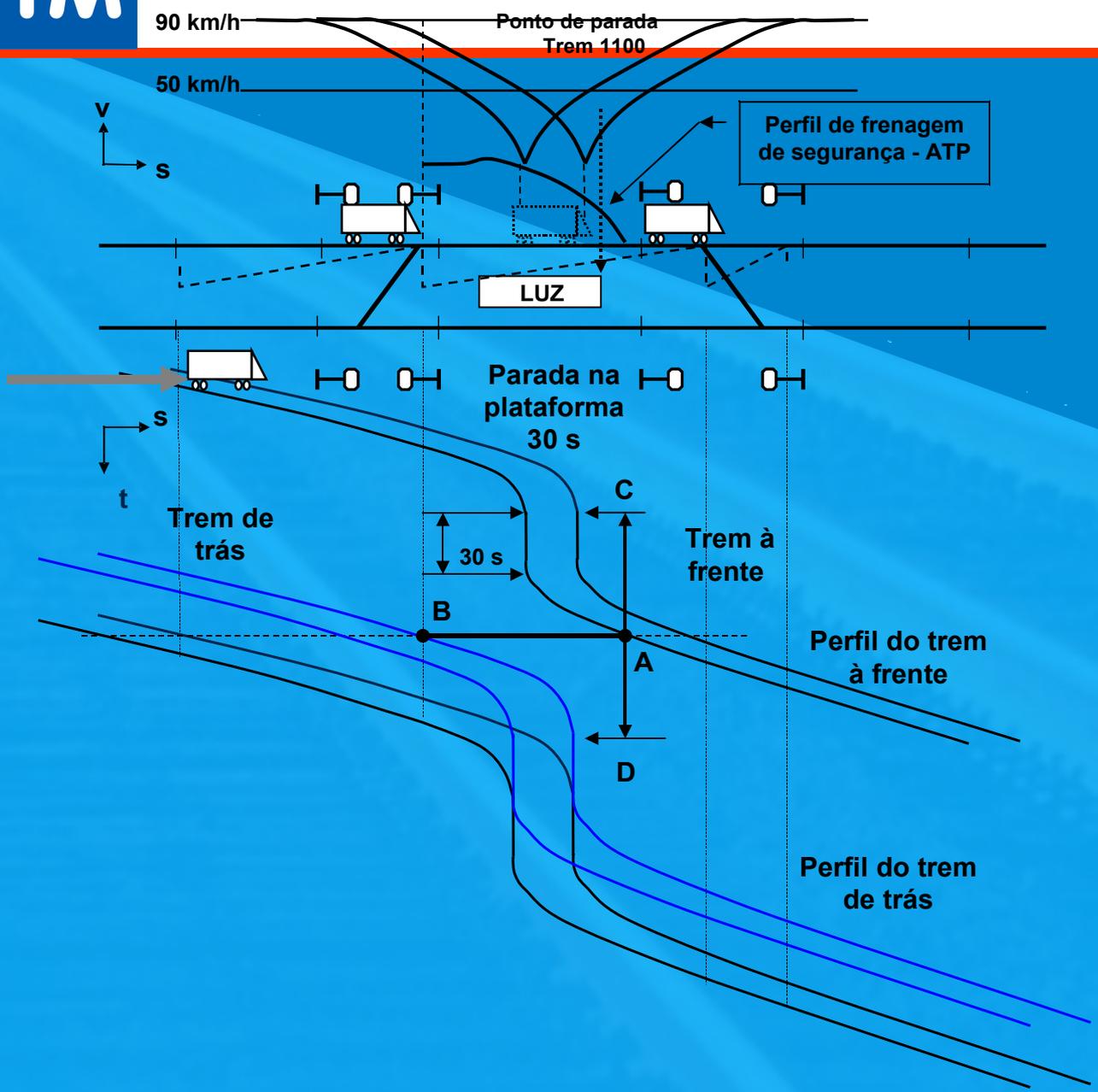
TABELA DO ESPAÇO DE FRENAGEM

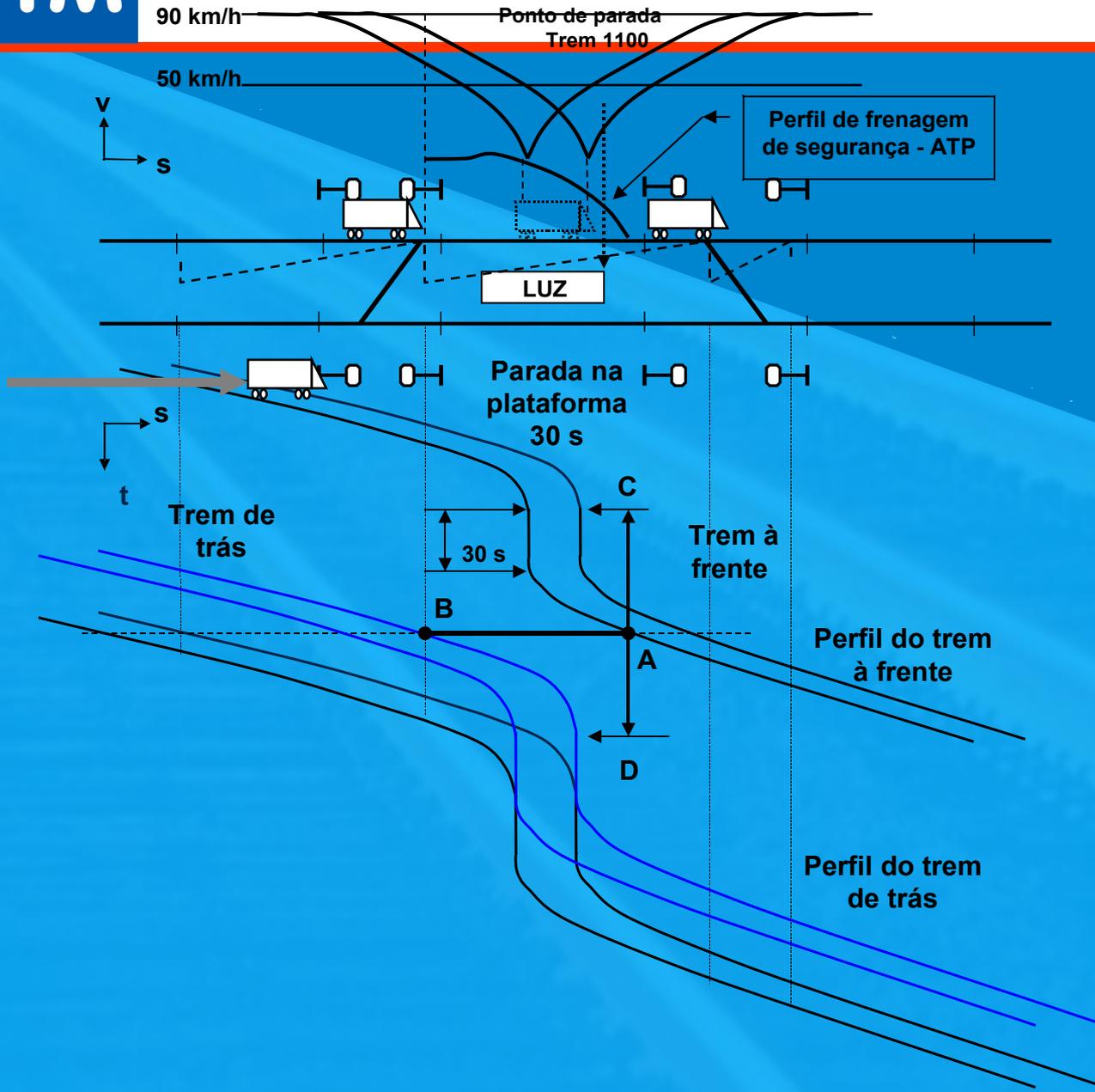
S corrigido através dos cálculos

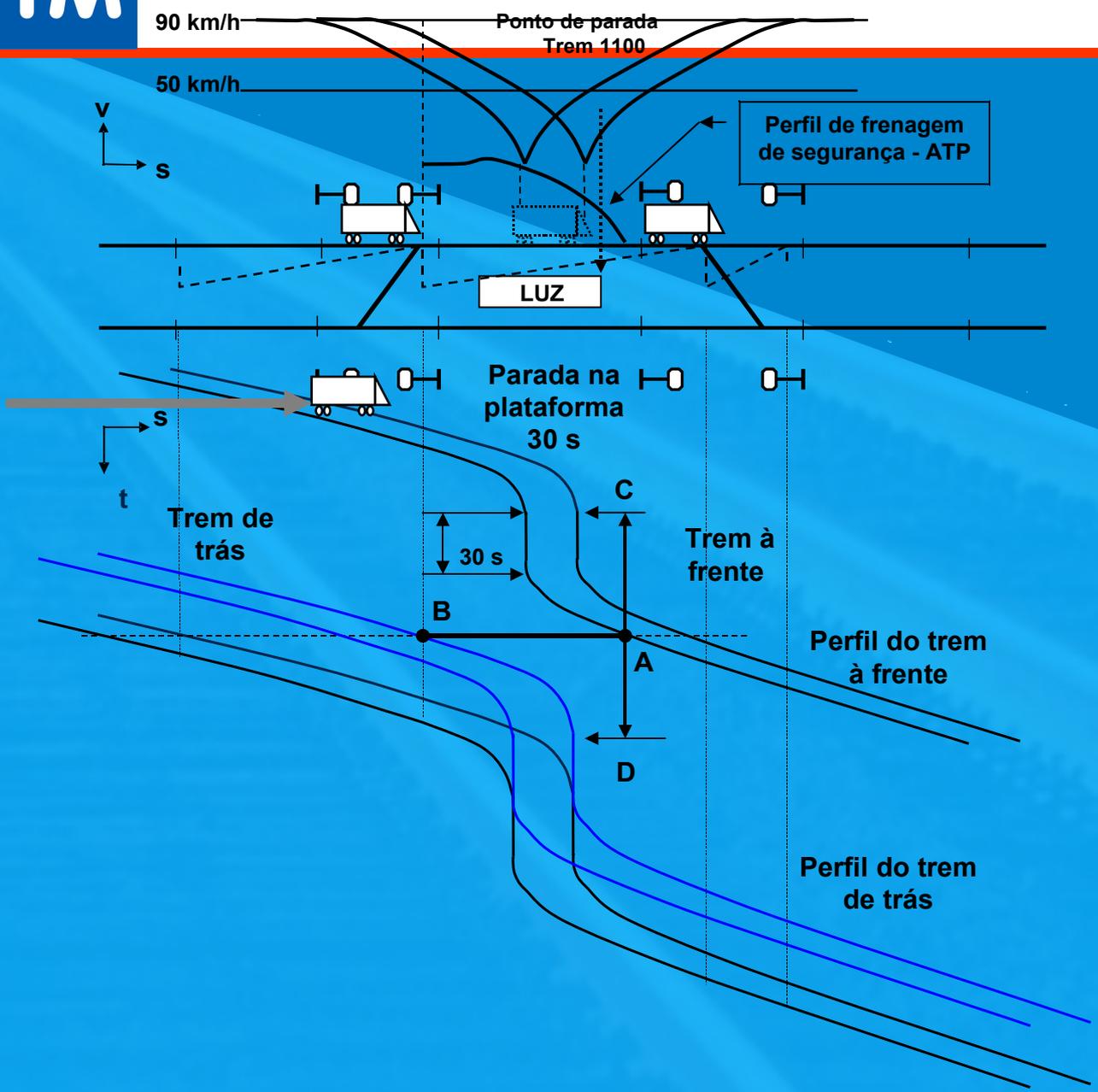


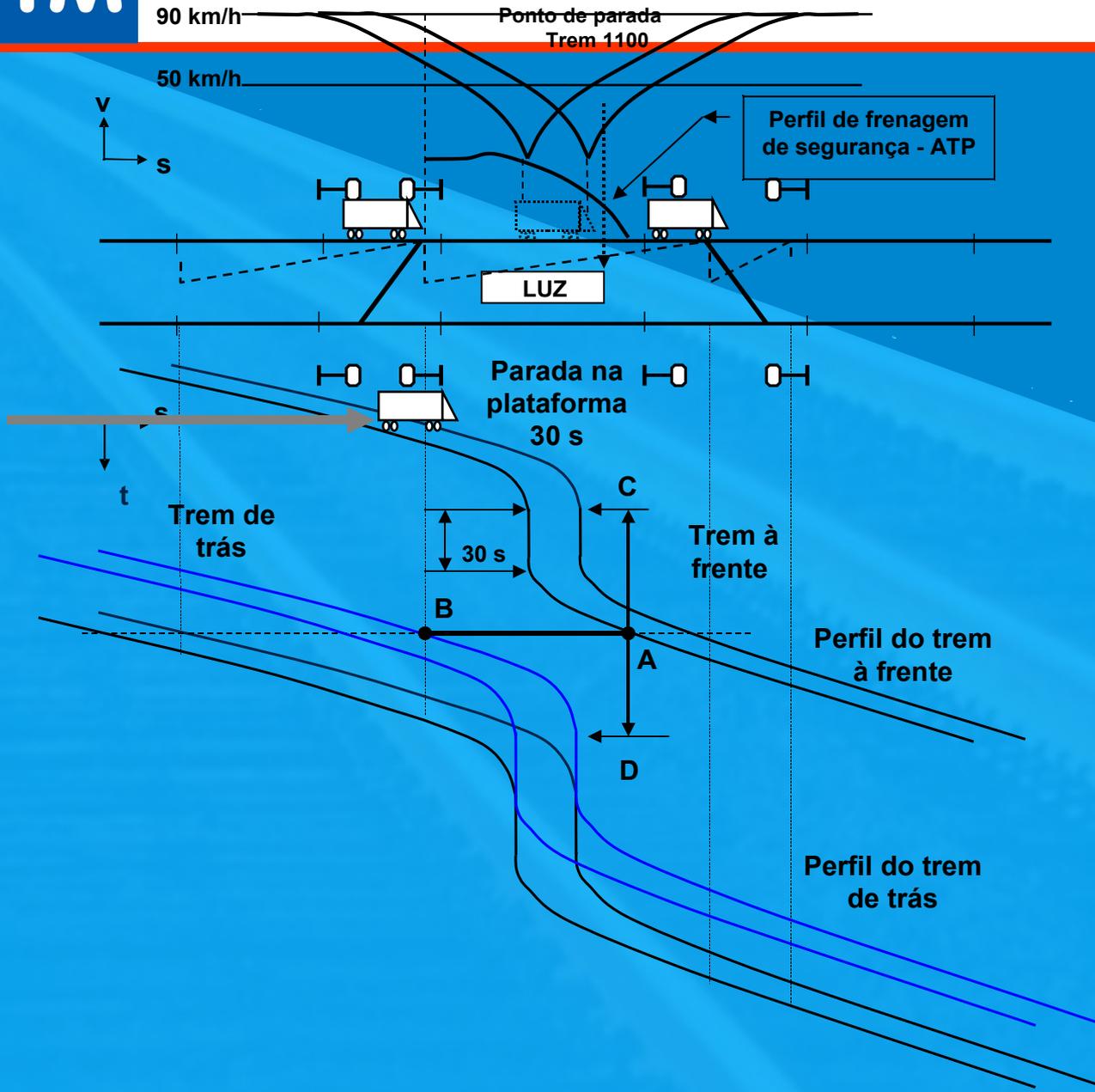
A Ç Ã O	Marco quilométrico um (m)	Marco quilométrico dois (m)	Comp. da rampa (m)	Perfil eq. (‰)	Rampa (‰)	V _i (Km/h)	V _f (Km/h)	S inicial (m)	S Corrigido (m)
L U Z	3.480,00	476,00	260,00	1,870	1,210	90	0	667,53	626,56
	3.740,00	216,00	20,00	1,870	1,210	50	0	262,07	248,33
	3.760,00	196,00	196,00	0,637	0,190	50	0	288,71	276,07
	3.956,00	0,00	244,00	0,512	0,190	50	0	288,71	279,45
	4.200,00	244,00	260,00	0,745	0,300	50	0	285,45	273,28
	4.460,00	504,00	300,00	0,254	1,130	90	0	672,99	741,33

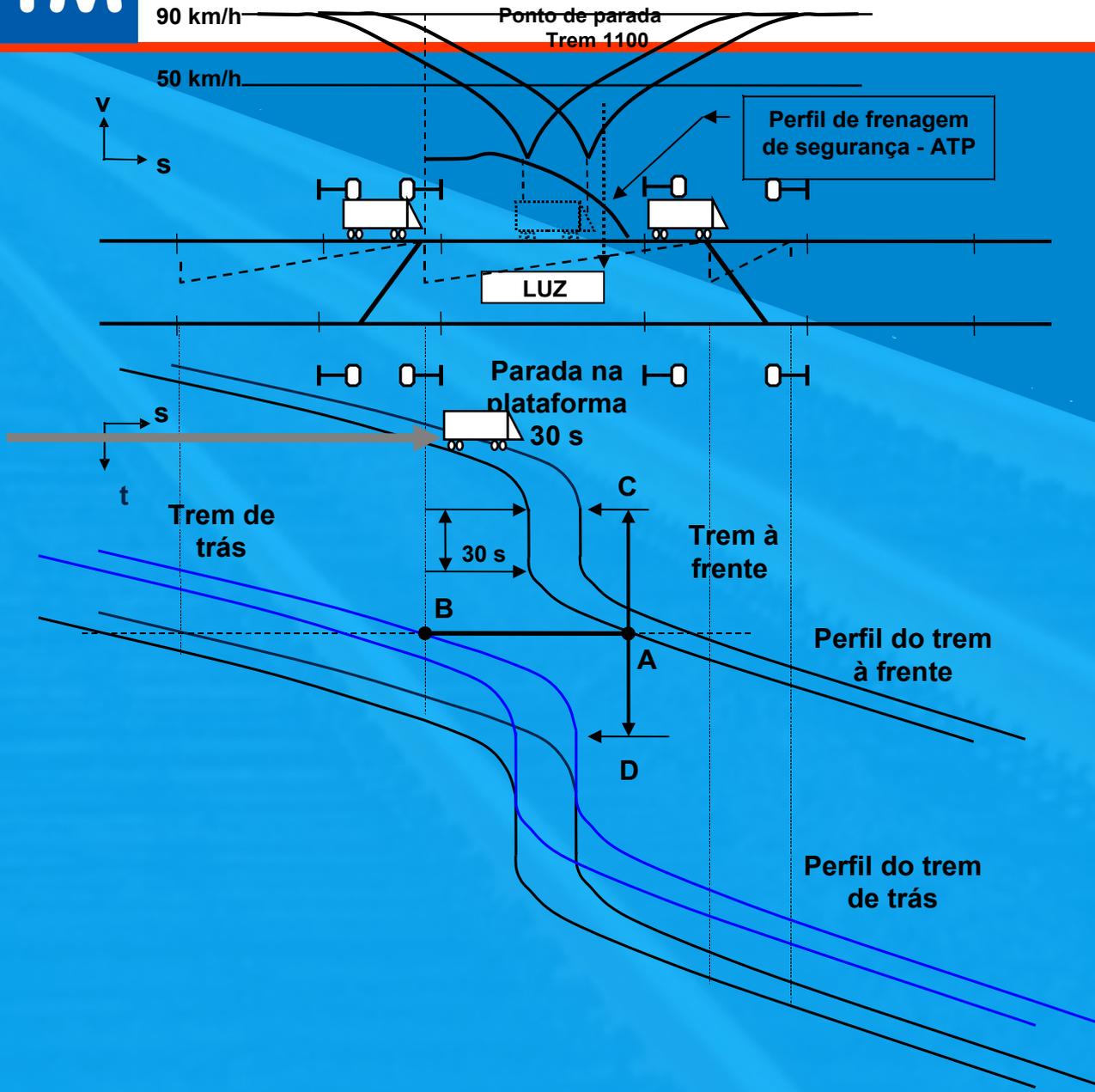


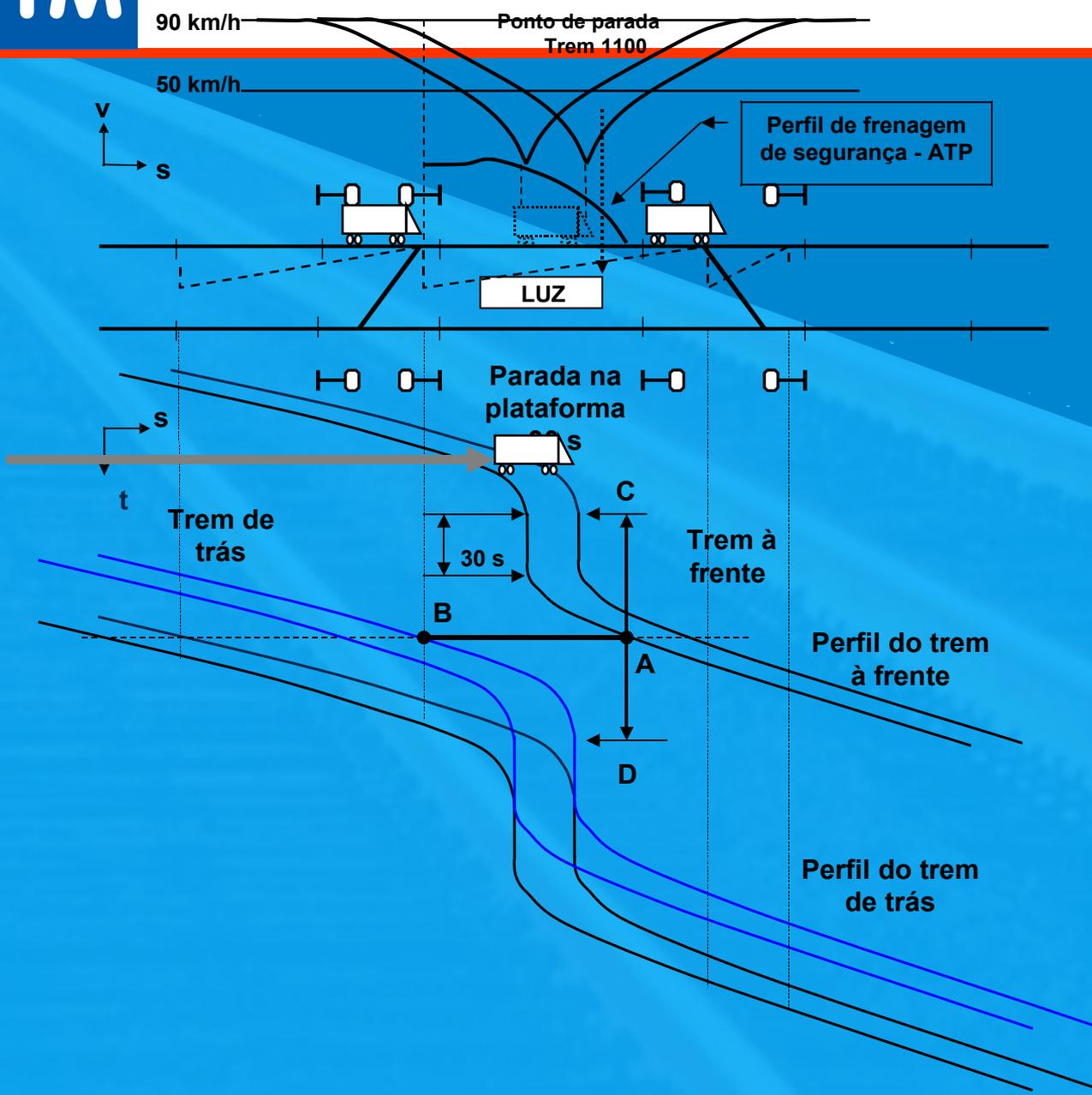


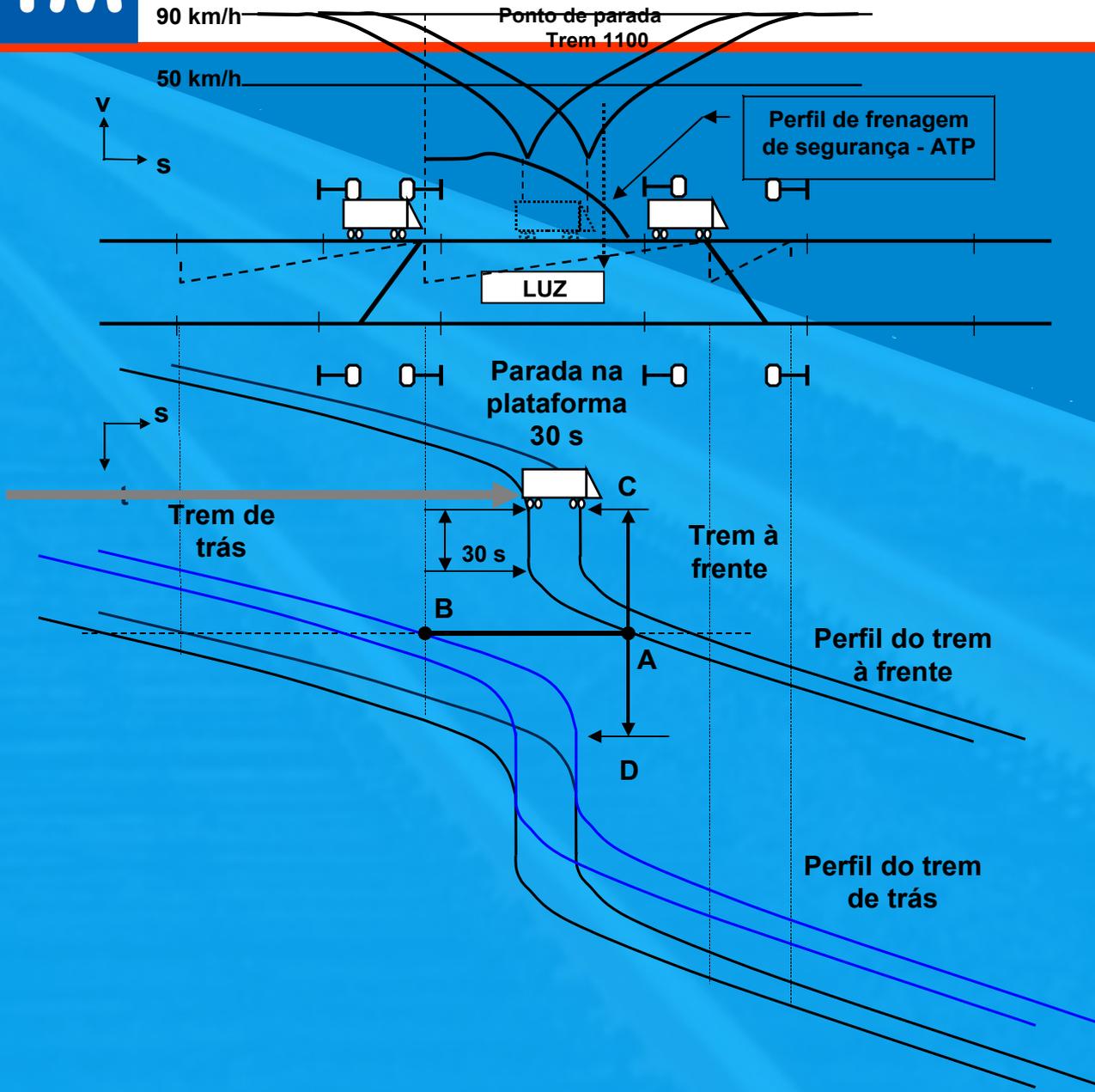


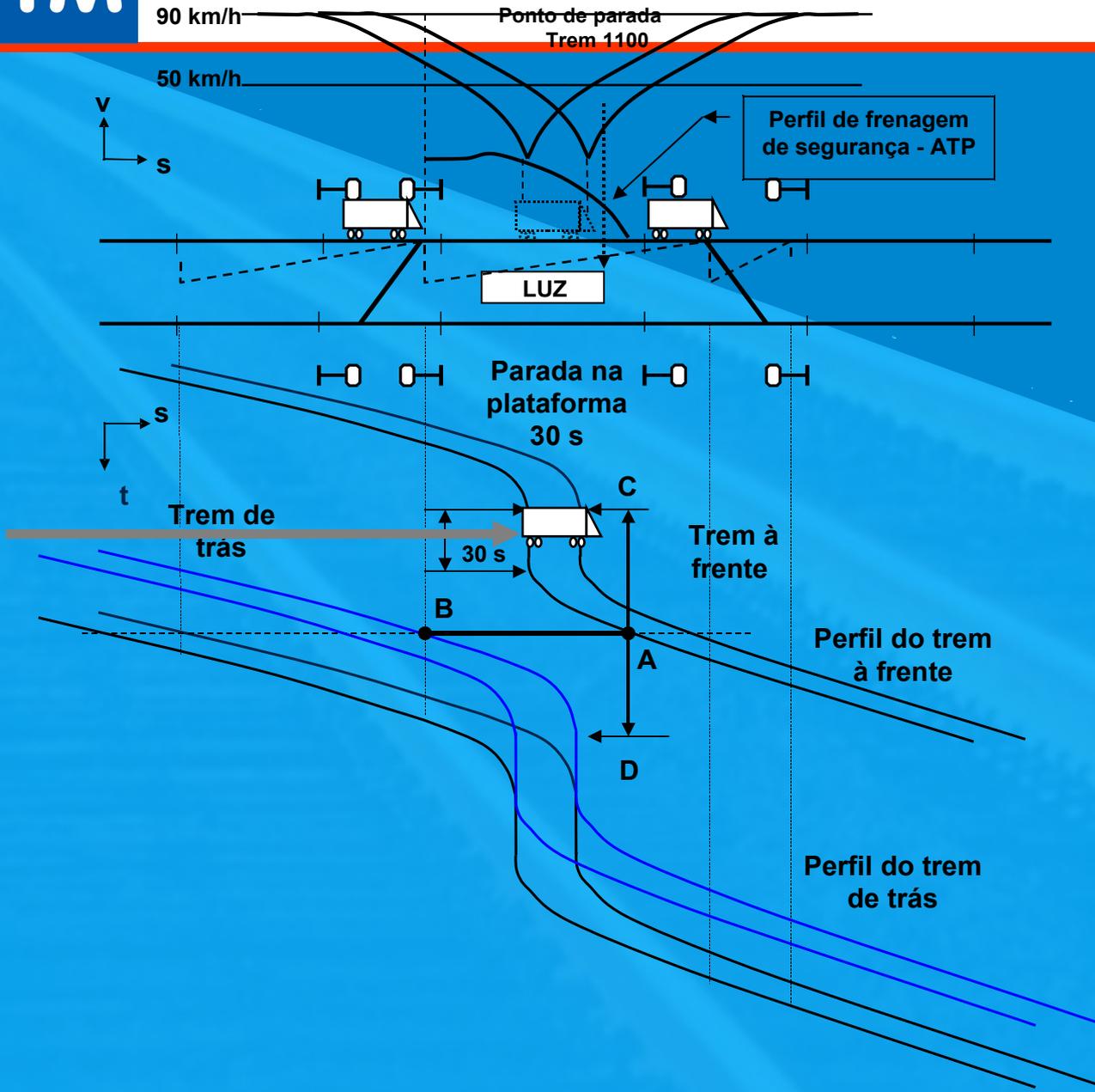


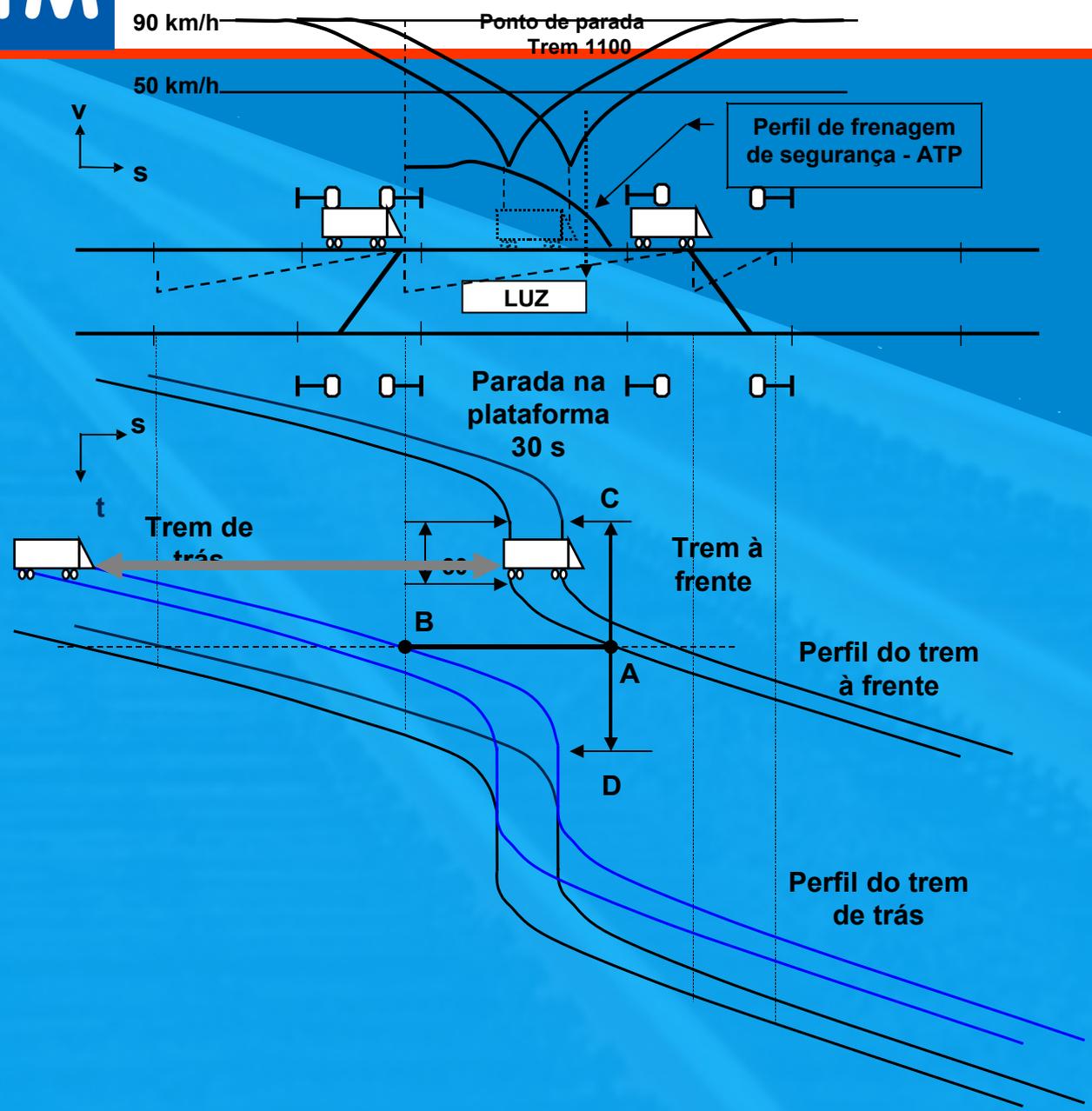


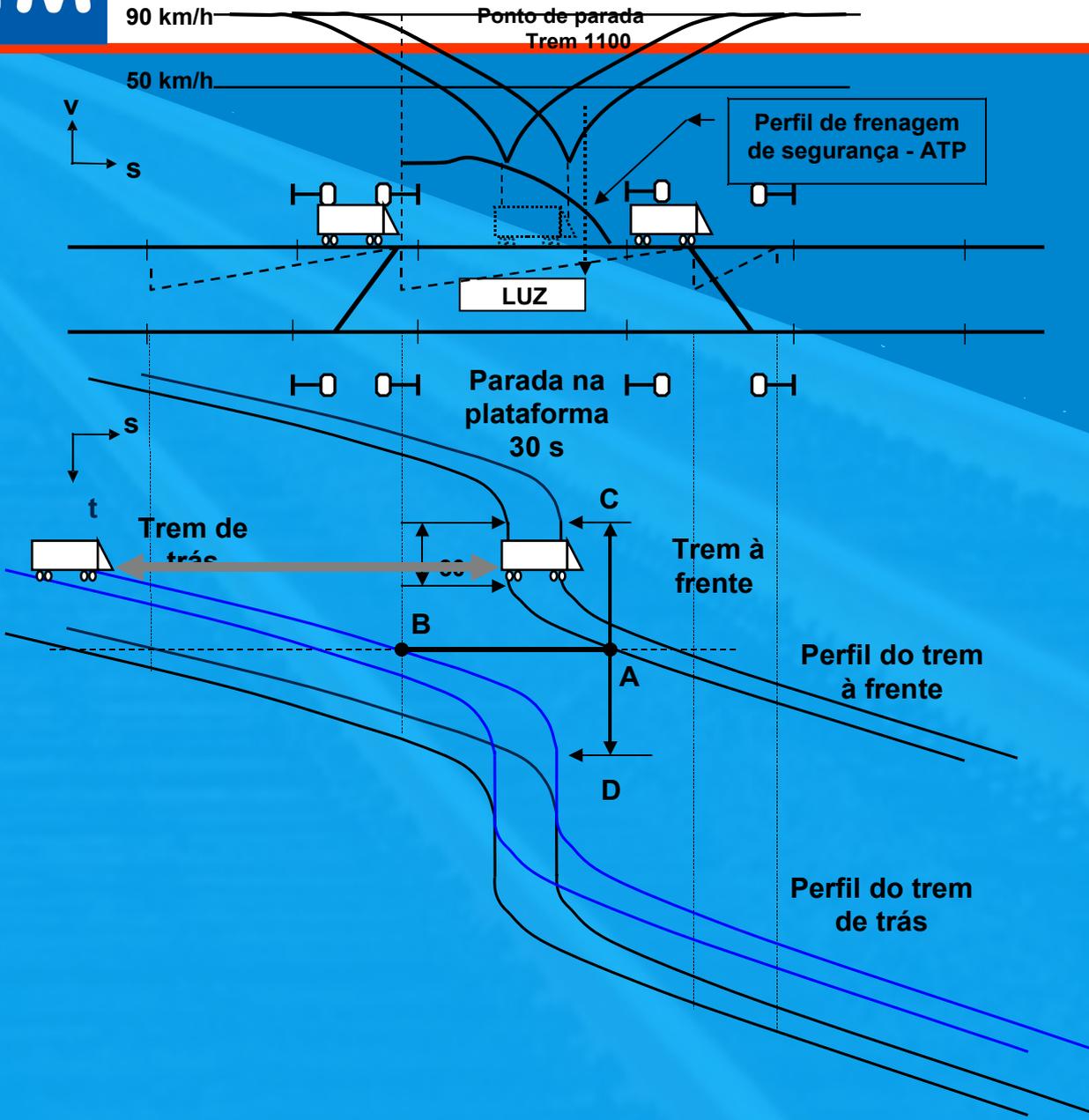


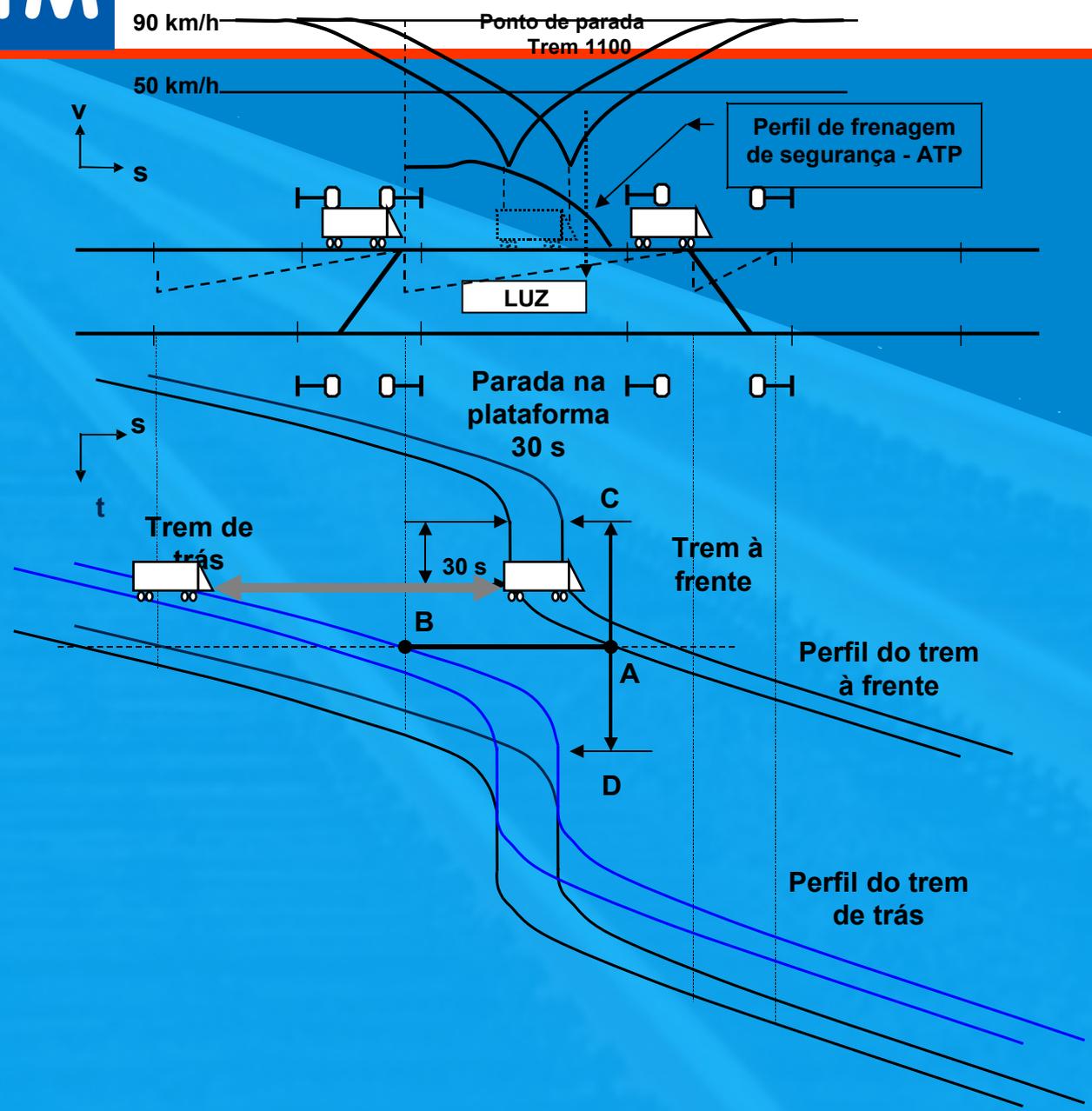


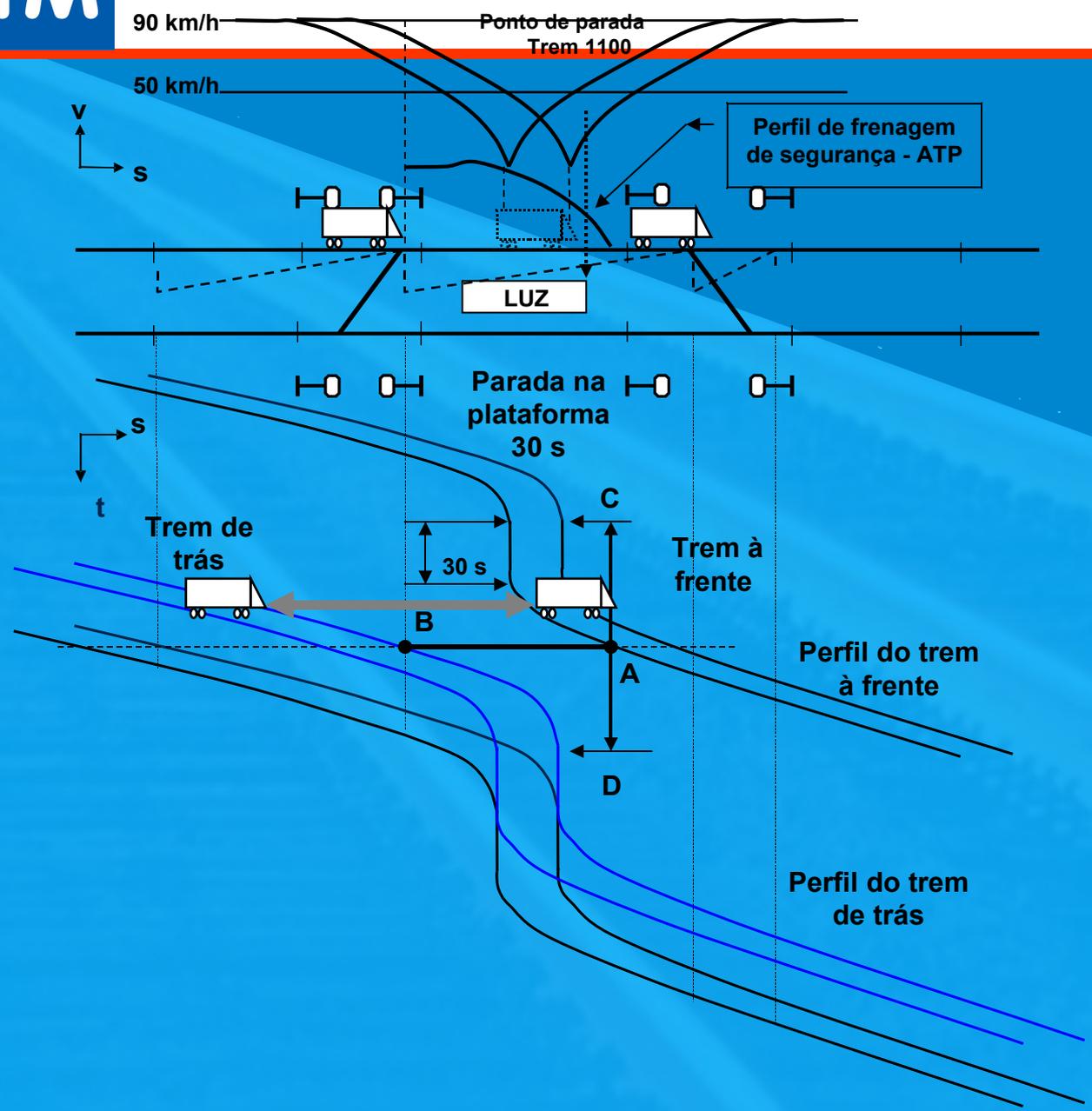


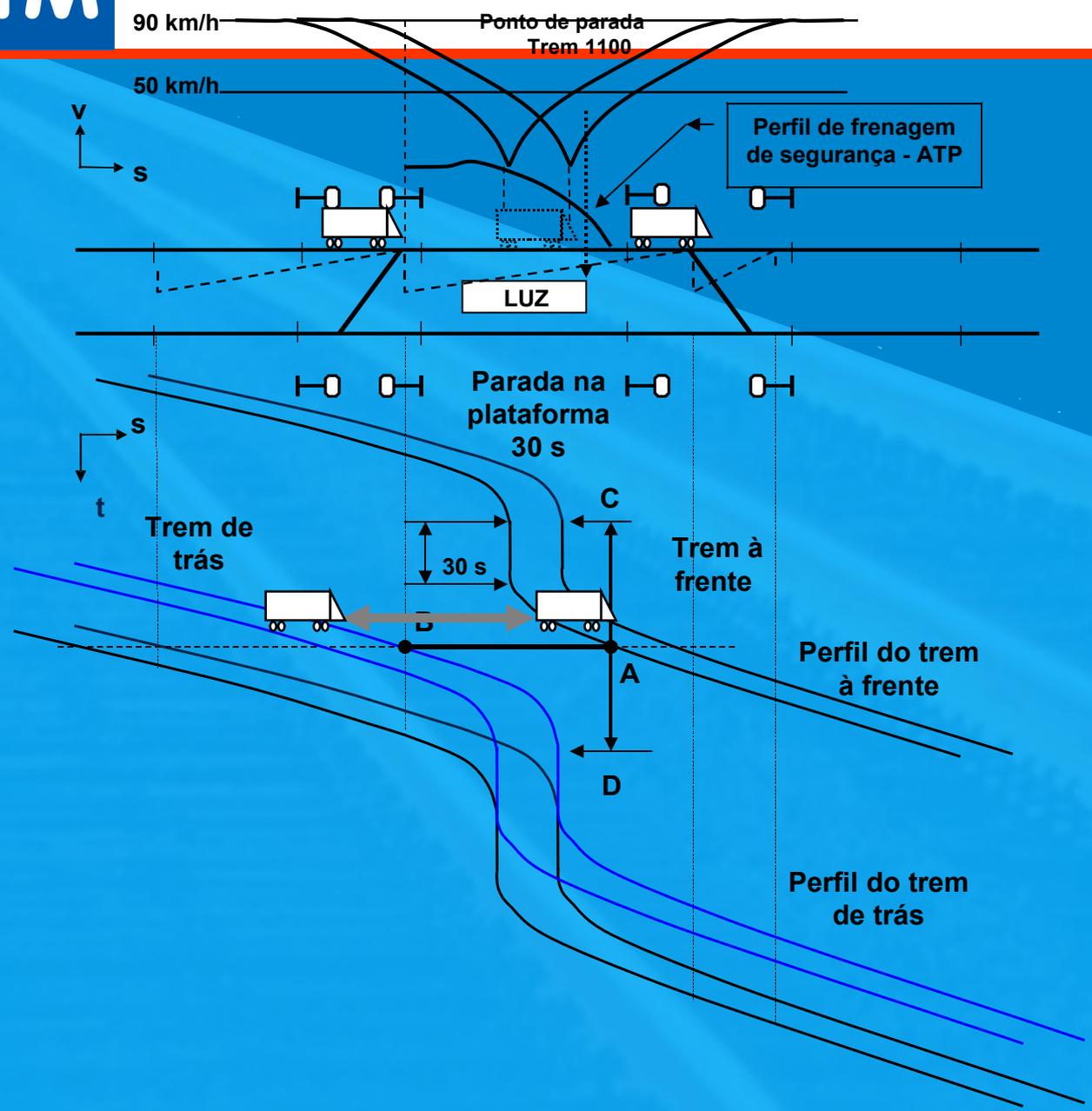


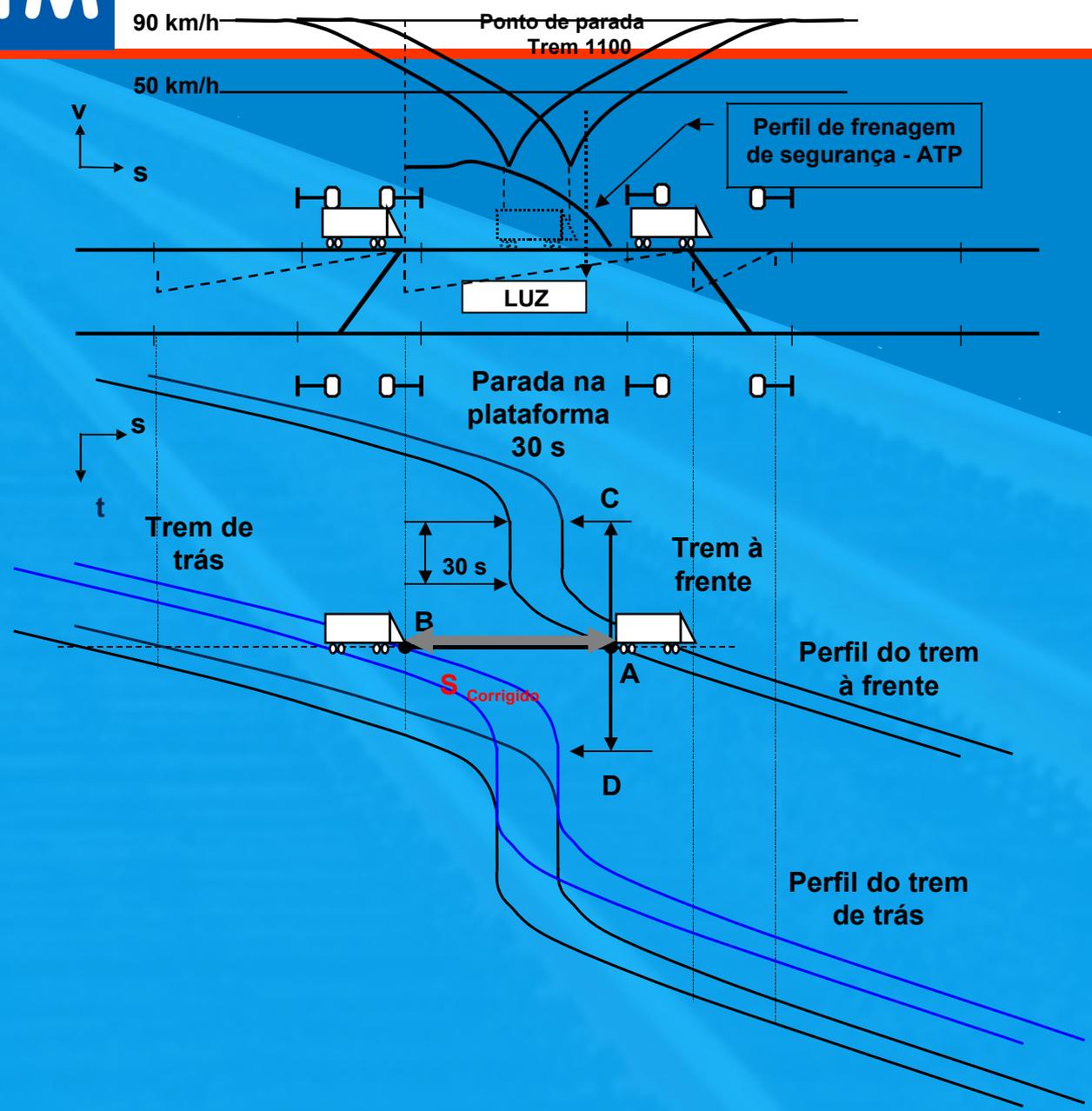


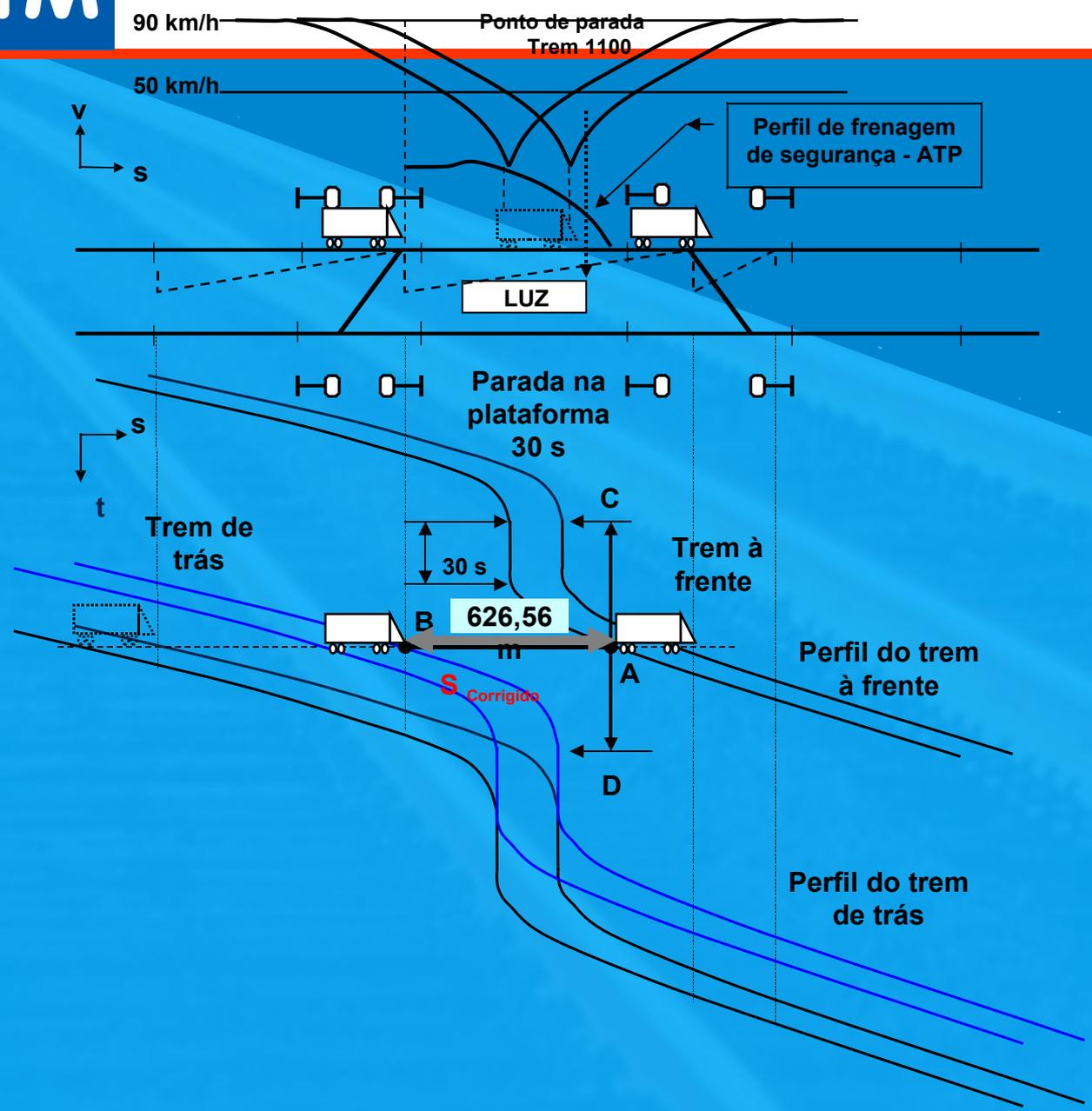


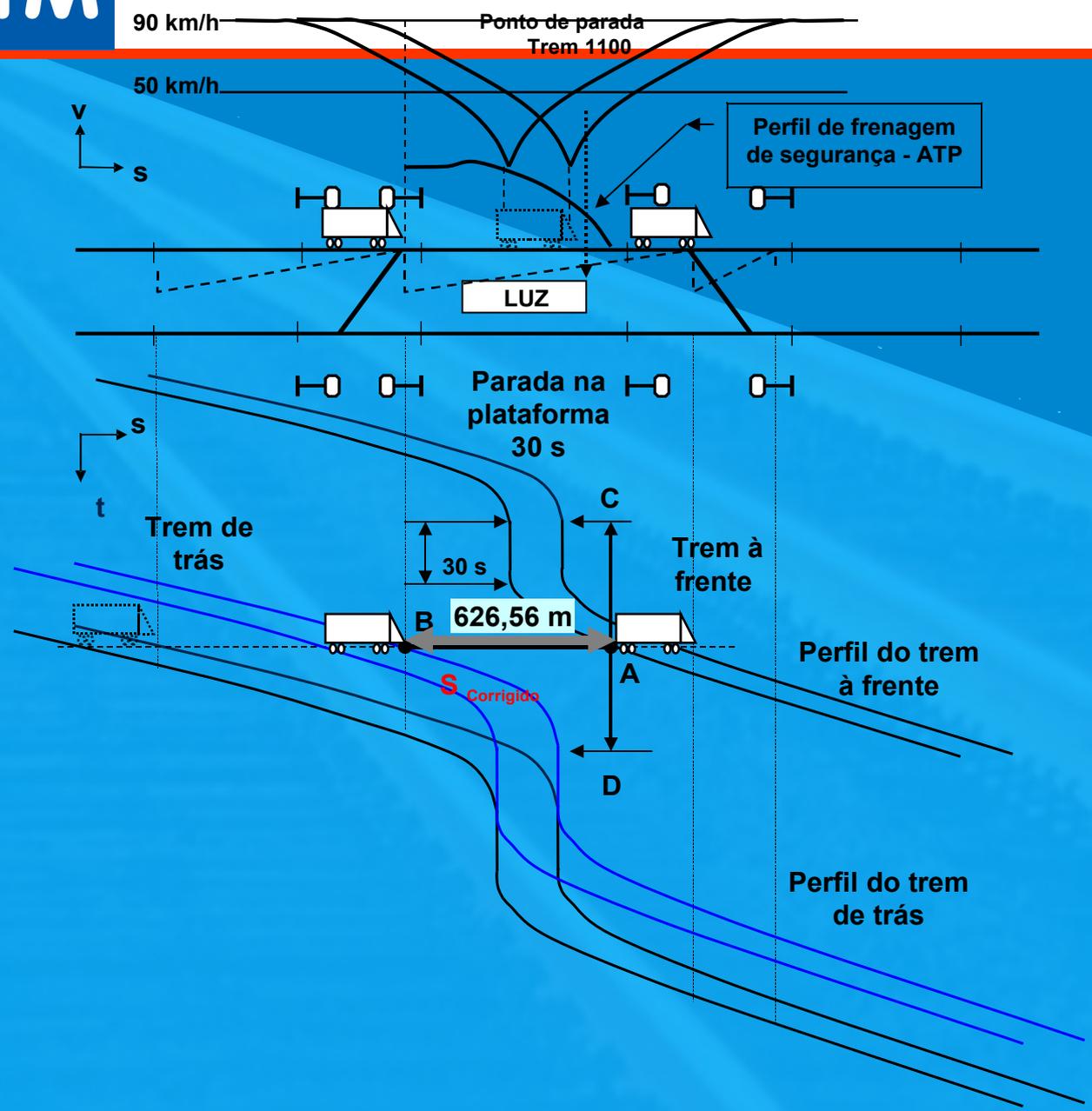


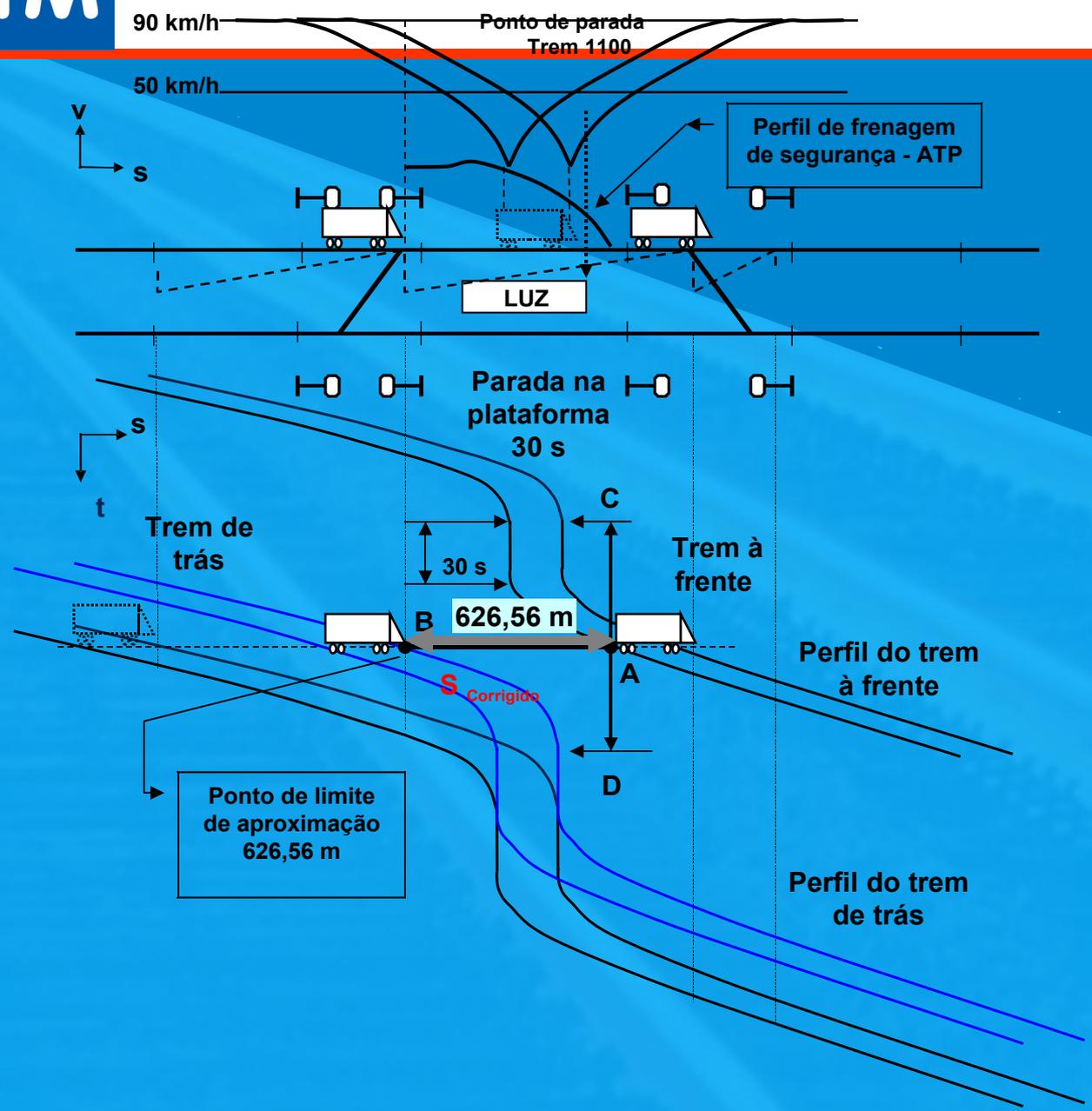


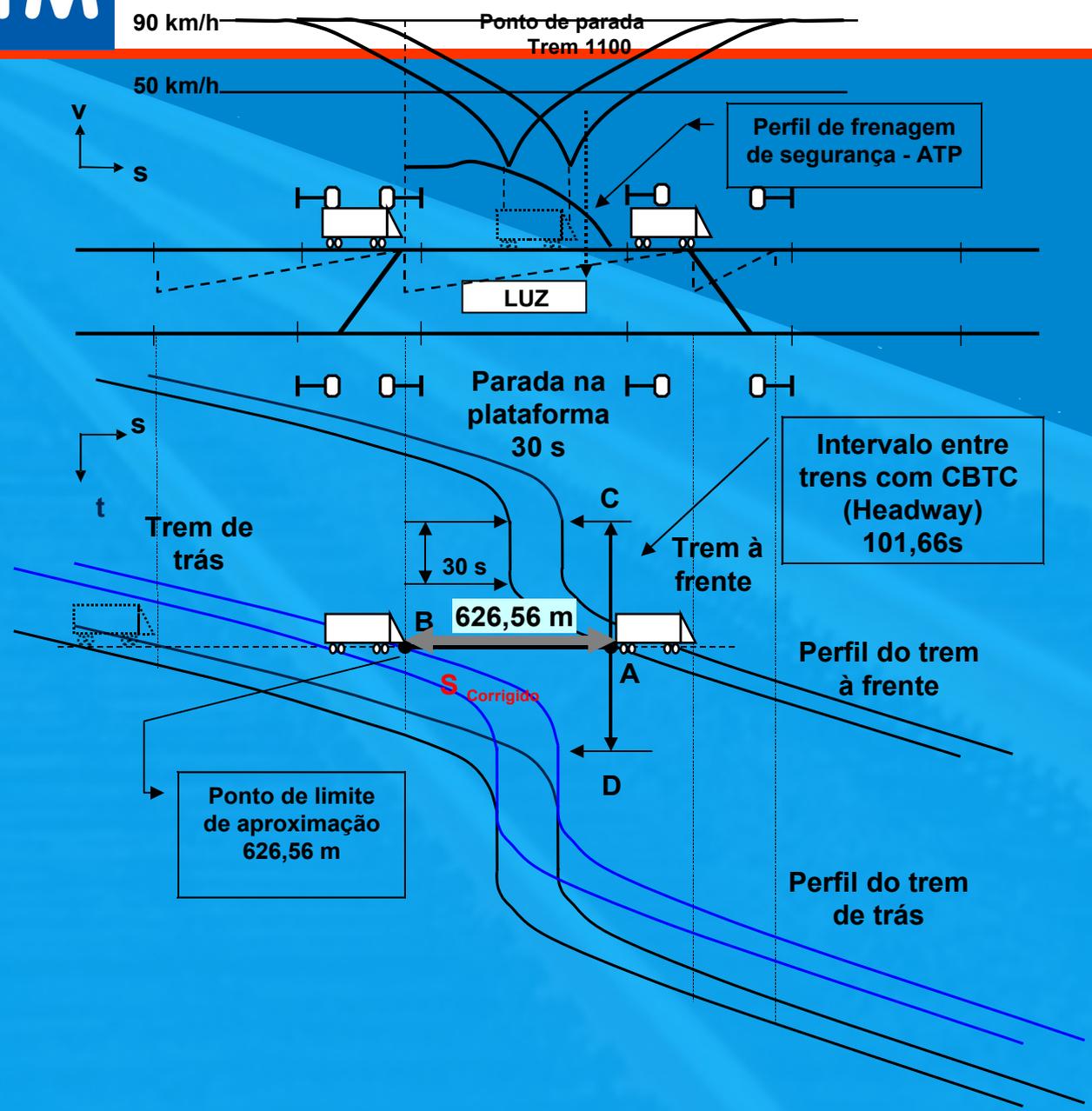


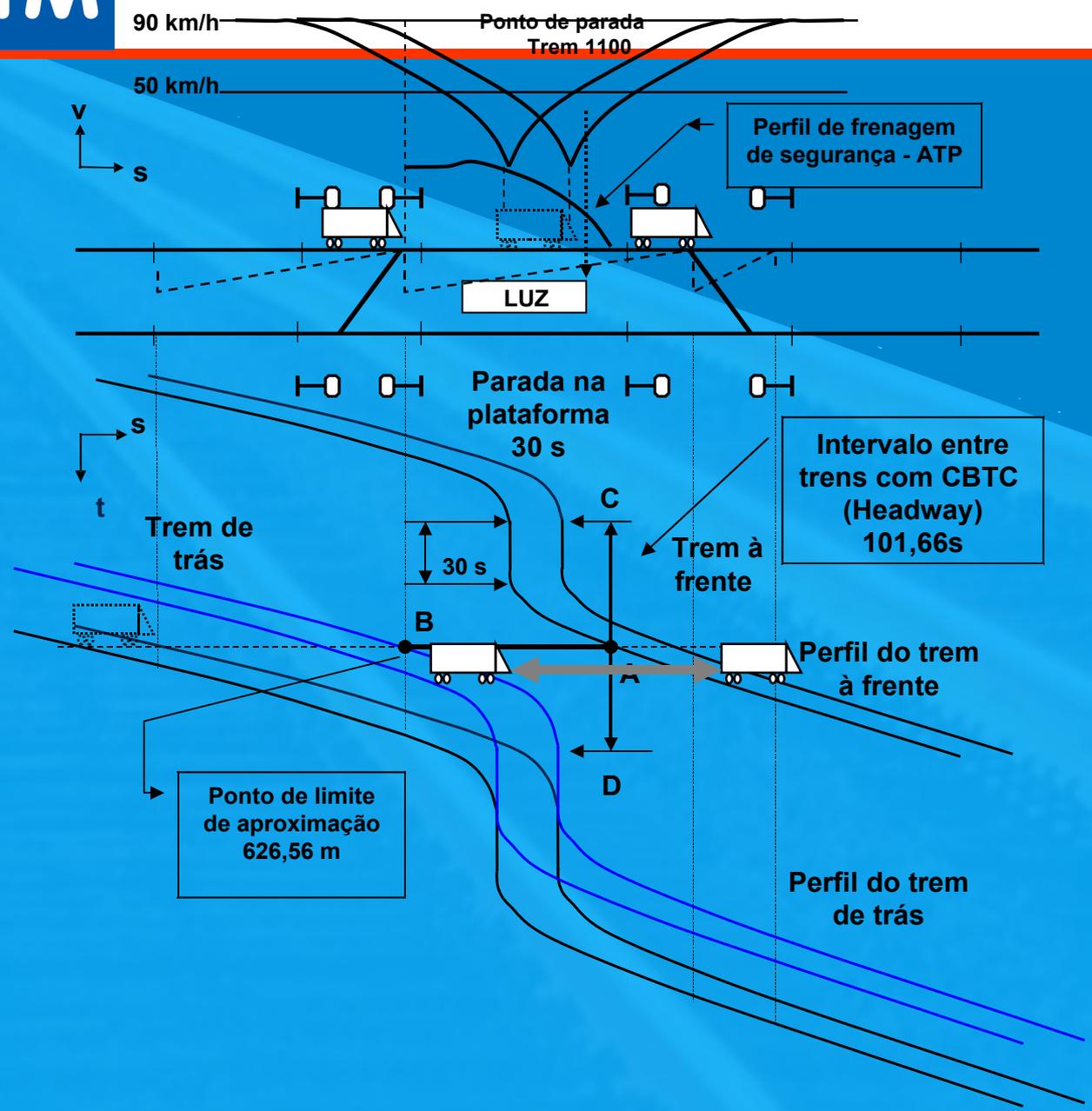


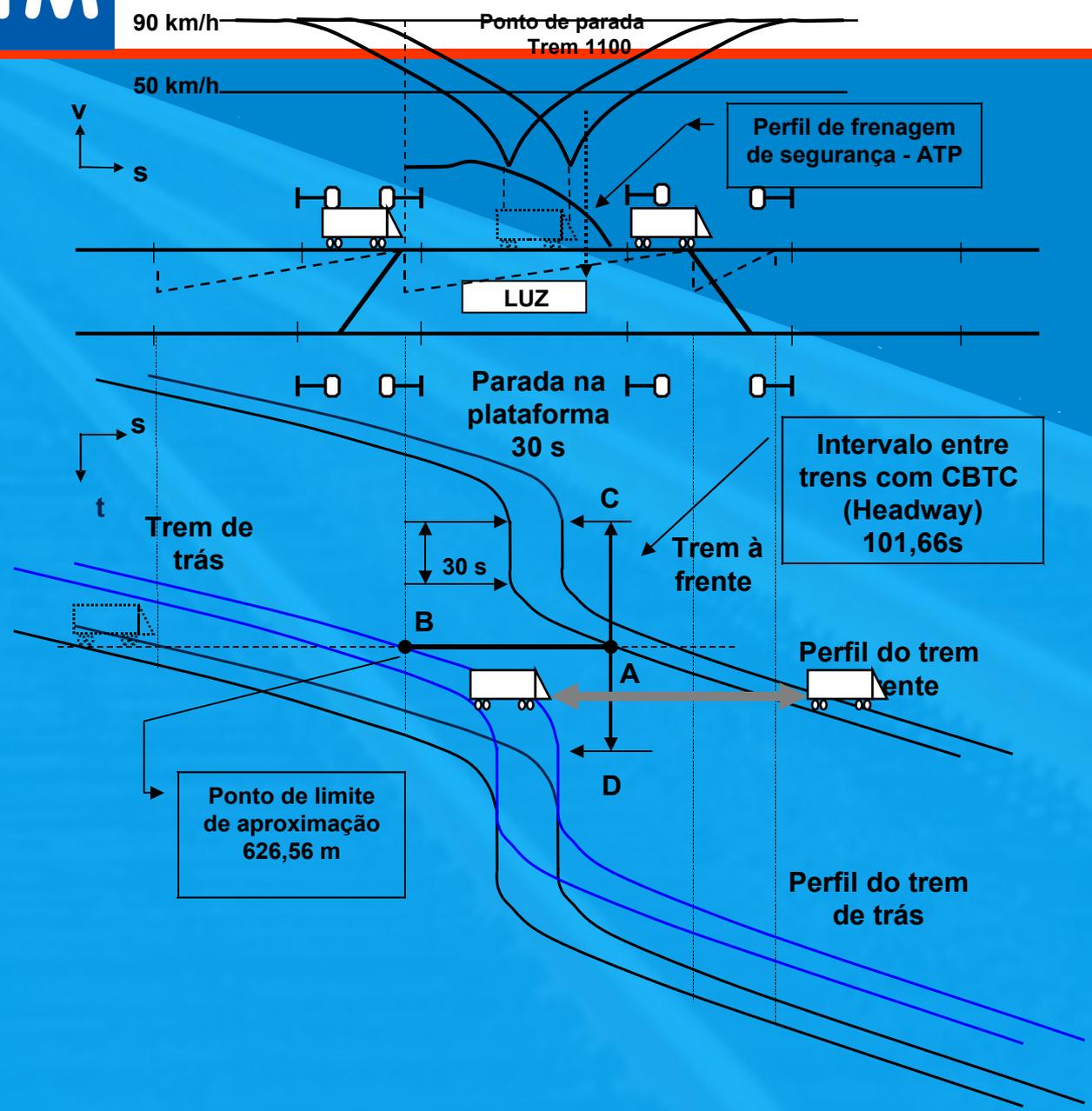


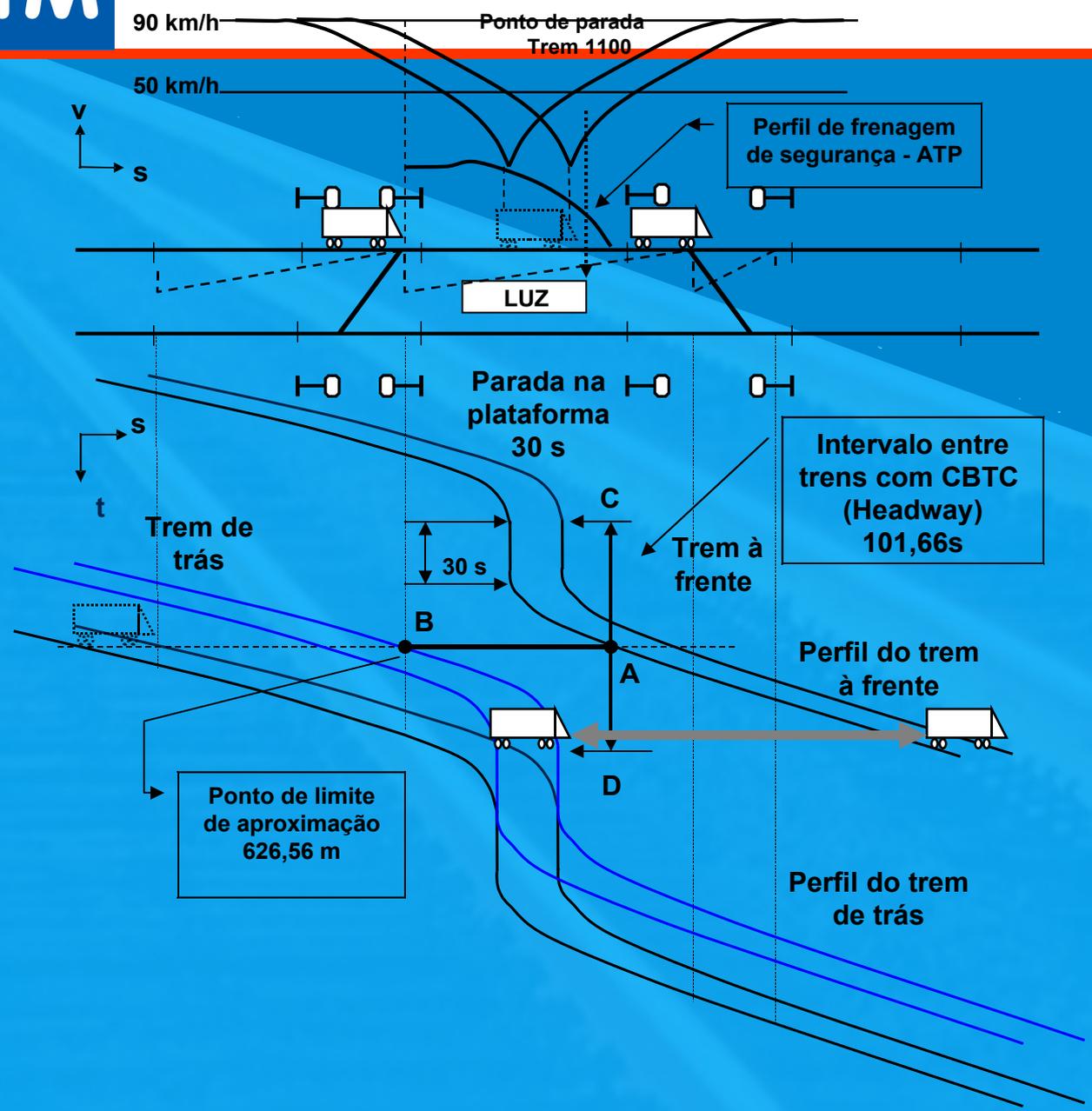


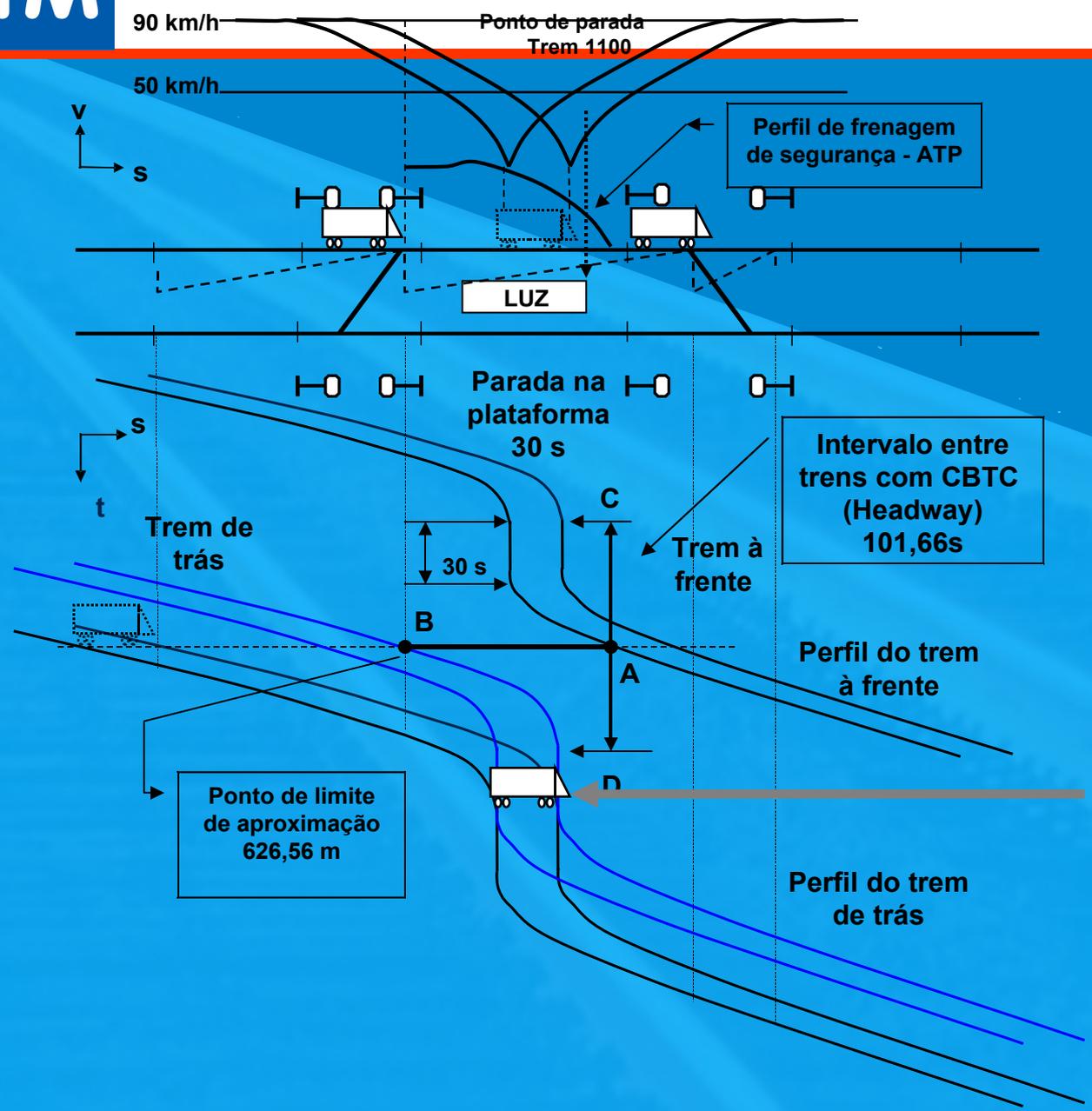


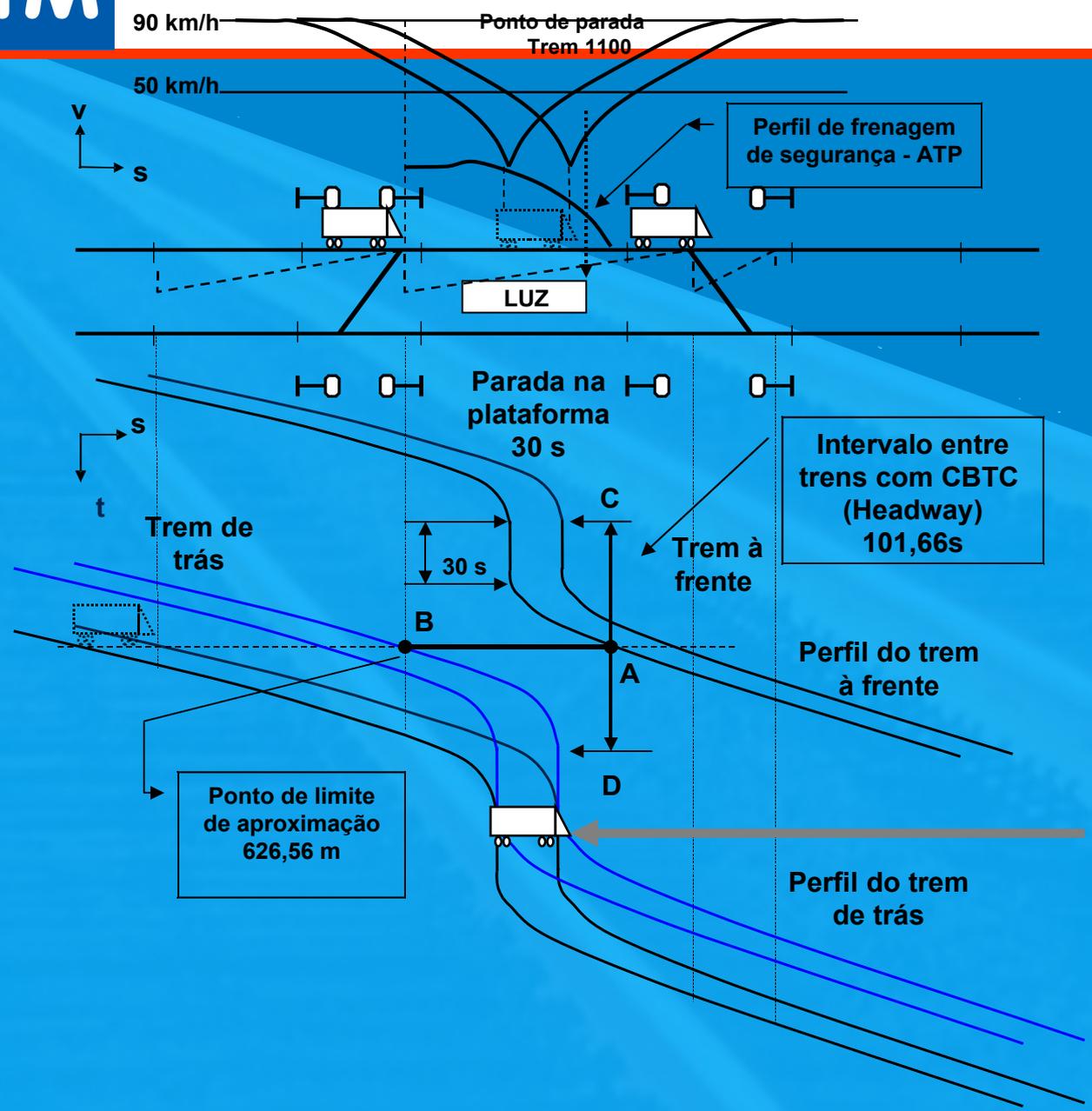


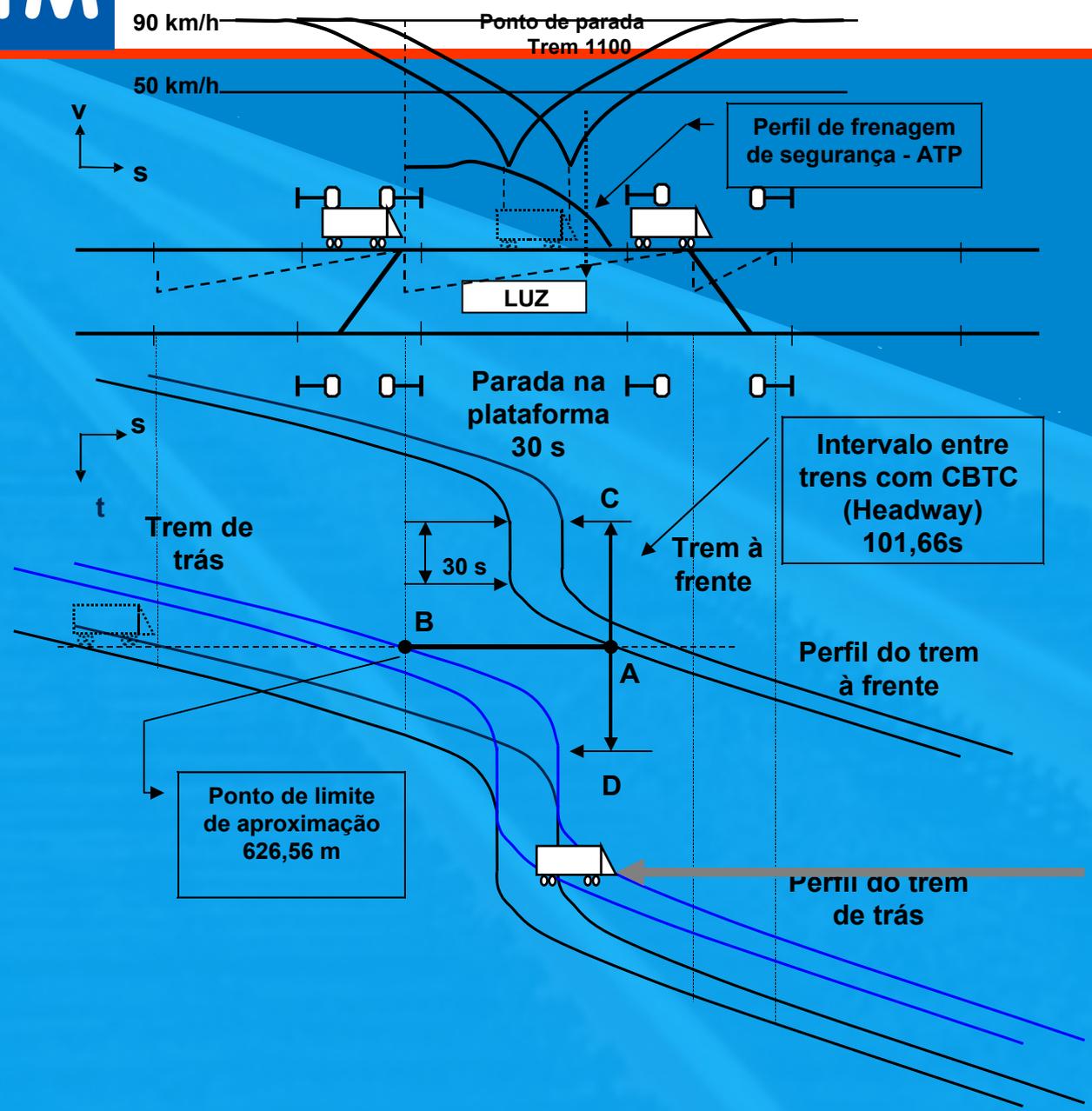


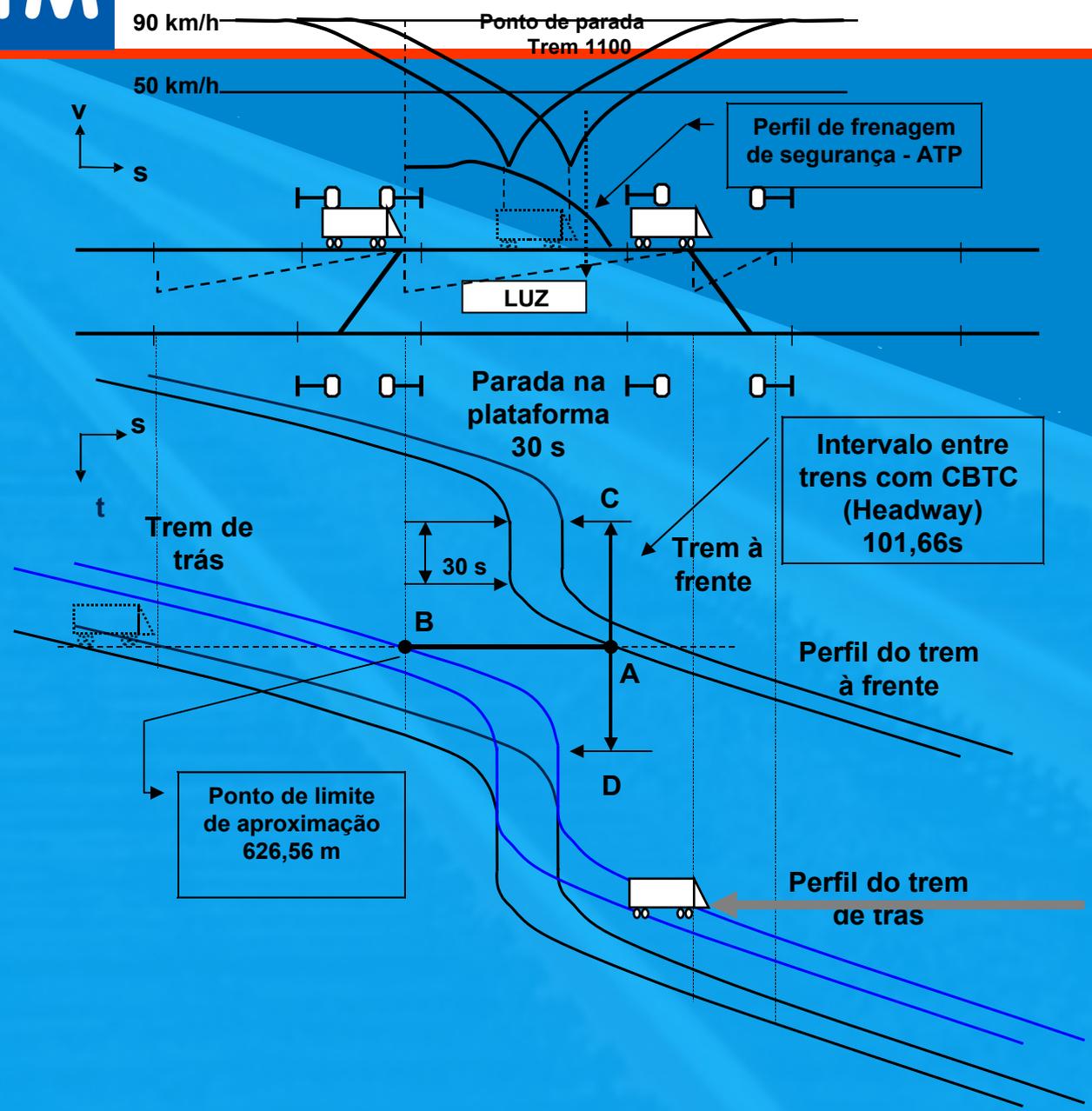


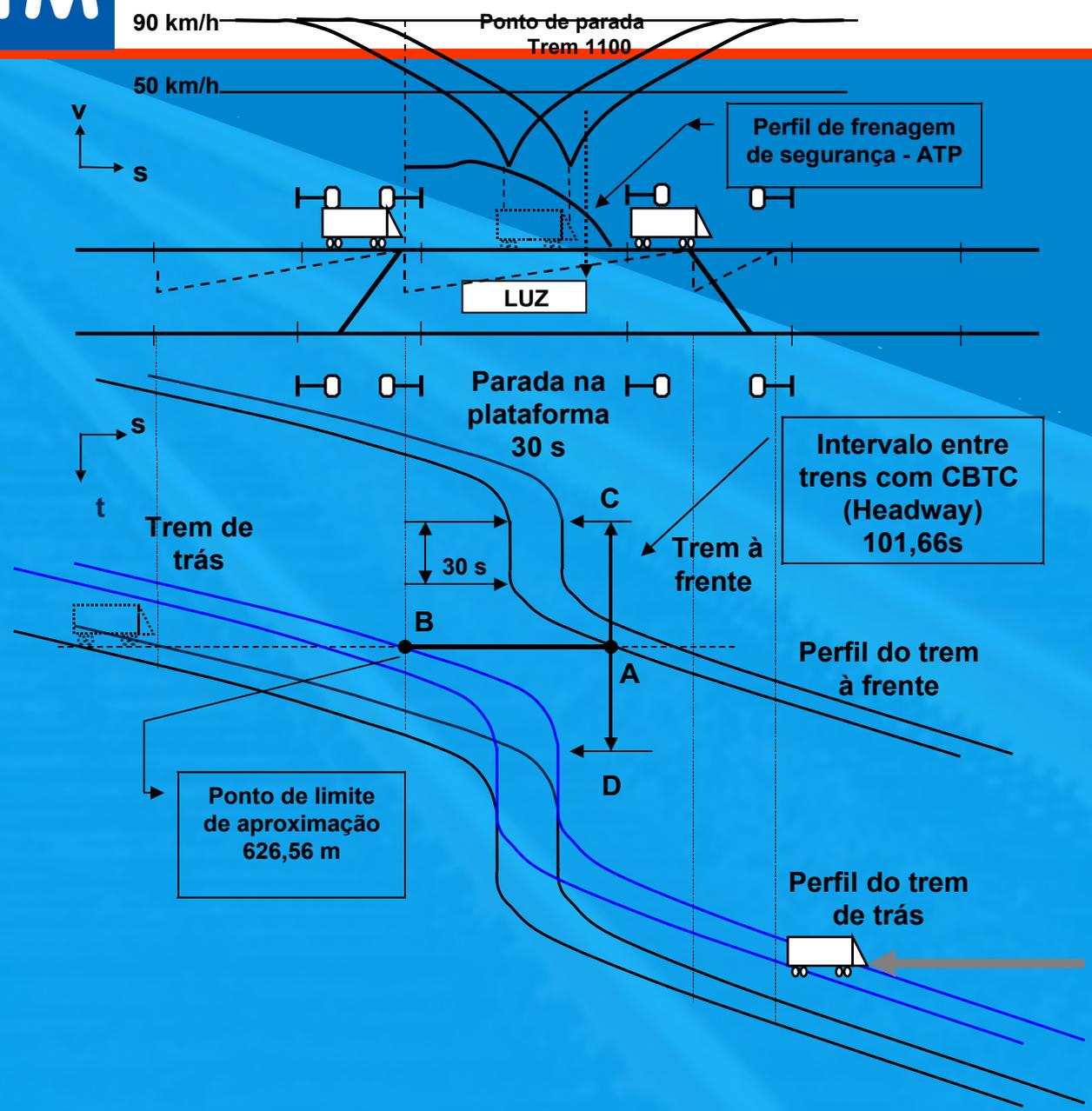


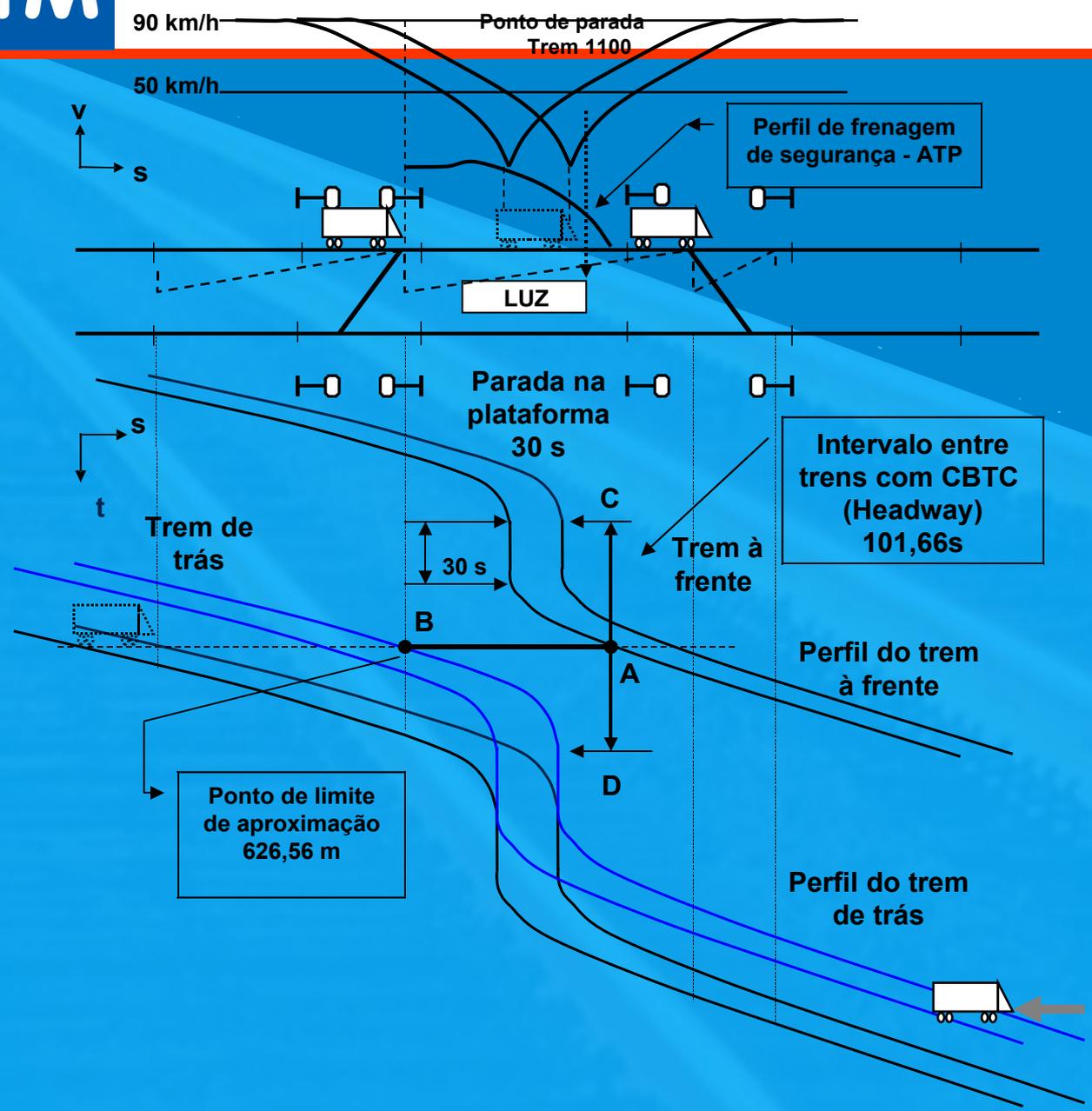












RESULTADOS DA SIMULAÇÃO COM CIRCUITO DE VIA E CBTC

Corrida	Ponto crítico	Marco quilométrico (m)	Limite de aproximação (m)	Intervalo entre trens "Headway" (s)
B/D via 1	LUZ	476,00	626,56	101,66
E/A via 3	BFU	2.949,00	750,32	100,14

Intervalo entre trens na linha I com uso de CBTC

Corrida	Ponto crítico	Marco quilométrico (m)	Limite de aproximação (m)	Intervalo entre trens "Headway" (s)
B/D via 1	LUZ	476,00	Circuito de via	150
E/A via 3	BFU	2.949,00	Circuito de via	150

Intervalo entre trens na linha I com uso de circuito de via

Intervalo entre os trens (Headway) em minutos no horário de pico

Linha	Trecho	Pico	Período	Programado minuto	Realizado		
					Médio	Maior	Menor
A	Francisco Morato - Luz	Manhã	06:03 - 07:40	8,0	8,1	10,0	7,0
	Francisco Morato - Luz	Tarde	17:38 - 19:20	8,0	8,5	14,0	5,0
D	Rio Grande da Serra - Luz	Manhã	05:32 - 08:36	8,0	8,0	9,0	7,0
	Rio Grande da Serra - Luz	Tarde	17:14 - 19:06	8,0	8,6	25,0	5,0
E	Luz - Guaianazes	Manhã	05:31 - 08:08	6,0	6,3	7,0	5,0
	Luz - Guaianazes	Tarde	17:12 - 19:45	6,0	6,7	12,0	5,0
E	Guaianazes - Estudantes	Manhã	05:47 - 08:02	9,0	9,6	11,0	8,0
	Guaianazes - Estudantes	Tarde	18:12 - 20:10	9,0	10,7	14,0	5,0
B	Julio Prestes - Itapevi	Manhã	05:54 - 08:22	7,0	7,0	10,0	5,0
	Julio Prestes - Itapevi	Tarde	17:07 - 19:55	8,0	8,0	12,0	5,0
Intervalos médios em segundos				462	489	----	---
Menor intervalo em segundos							300



ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS

Intervalo com uso do CBTC - 101,66s

- Se comparados com a média programada pela CPTM de 462s verifica-se um ganho de 360s
- Ainda assim comparando o menor intervalo realizado de 300s observa-se um ganho operacional de 198,34s
- Comparando-se aos 150s projetados, representa uma ganho operacional de 48,34s).



CONCLUSÕES

- Redução no intervalo entre trens na faixa de 100 a 102 segundos, representando uma redução de 4,8 vezes em relação aos intervalos médios atualmente praticados.
- Aumento da capacidade operacional em 66% comparado ao menor intervalo praticado atualmente (300s) e 32% relação aos 150s obtidos pelo consórcio.



CONCLUSÕES



- Considerando que o sistema atual está no limite de sua capacidade, aliado ao fato da obsolescência, a necessidade de substituição por outro sistema torna-se cada vez maior.
- Significativa redução de equipamentos instalados ao longo da via, conseqüente redução nos custos de manutenção e redução dos atos de furtos e vandalismos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEEE 1473-L-1999 (Communication Protocol Aboard Trains)
- [2] IEEE 1474.1-2004 (Standard for Communications – Based Train Control – CBTC)
- [3] IEEE 1474.2-2004(Standard for User Interface Requirements)
- [4] IEEE 1482.1 – 1999 (Standard for Rail Transit Vehicle Event Recorders)
- [5] IEEE 1483 – 2000 (Verification of Vital Functions in Processor - Based Systems)
- [6] SULLIVAN, T. J.; *Project update to APTA 95-New Technology Signals Program*, MTA New York city transit-Division of electrical systems, USA,1995.
- [7] TSD.; www.tsd.org; *Tranportation Systems Design*; Novembro.2006
- [8] Intranet:http://webcptm/Operacao/rede_cptm - 31/01/2007
- [9]<http://webstore.ansi.org/ansidocstore/find.asp>?
- [10] CAMARGO JR., J.B.; ALMEIDA, J.R.; CUGNASCA, P.S.; *Trabalho apresentado na 12ª semana de tecnologia metroferroviária AEAMESP*; Grupo de análise de segurança da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; São Paulo 2006.
- [11]CARRIÇO, H.P.M.P; *Marc's Sistema Mult-Agent para Controle de Tráfego Ferroviário*;tese de doutorado, Universidade do Porto-2003
- [12] Palestra sobre CBTC, apresentada no auditório da CPTM em março de 2007.
- [13] CENTOLANZI, P. M.; *Communication based train control in overview*, Master of science transportation department of civil and environmental engineering; Polytechnic University Brooklyn, New York - USA.
- [14] SULLIVAN, T.; *The IEEE 1473-I Communications protocol:Experience in rail transit*; Transportation systems design, track 5 technical forums, Oakland, CA-USA



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[15] MURRAY, B.; *Comunicación por radio: Blindando la norma 802.11 para aplicaciones de seguridad*, revista de telecomunicaciones da Alcatel – 2º trimestre de 2004.

[16] SANUKI, W.K.; YANO, M.; *Simulação de marcha para sistema de sinalização ferroviária*; Trabalho de monografia de pós-graduação em tecnologia metroferroviária USP - S.P. – 2004.

- [17] SANUKI, W.K.; KRONEMBERGER, W.; - *Relatório técnico das curvas de simulação de marcha para sistema de sinalização ferroviária*; CPTM AK5398-5 – Maio 2004.
- [18] NABETA, S. I. *Simulação Elétrica*. São Paulo: Módulo do Curso de Especialização em Tecnologia Metroferroviária, 2º semestre 2005.
- [19] PIRES, C.L.; *Simulação do sistema de tração elétrica metroferroviária*; Tese de doutorado, Escola politécnica da USP - S.P. – 2006.

1

2007
AEAMESP
Metropolitano
13ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA



2



FIM

3



CBTC