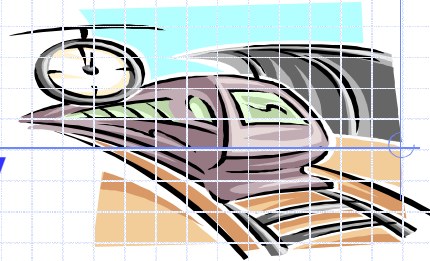


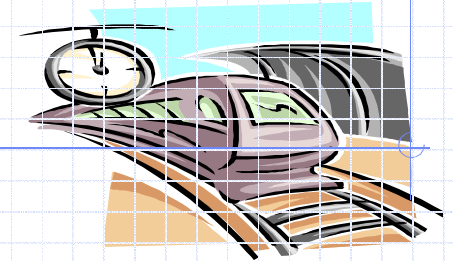
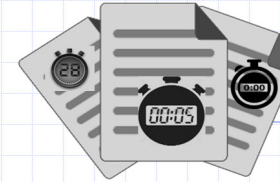


# PCS5761 Especificação de Sistemas de Tempo Real



Prof. Dr. Jorge Rady  
de Almeida Jr.

# Sinalização Ferroviária Aspectos Temporais



*Por que e para que a  
Sinalização Ferroviária?*

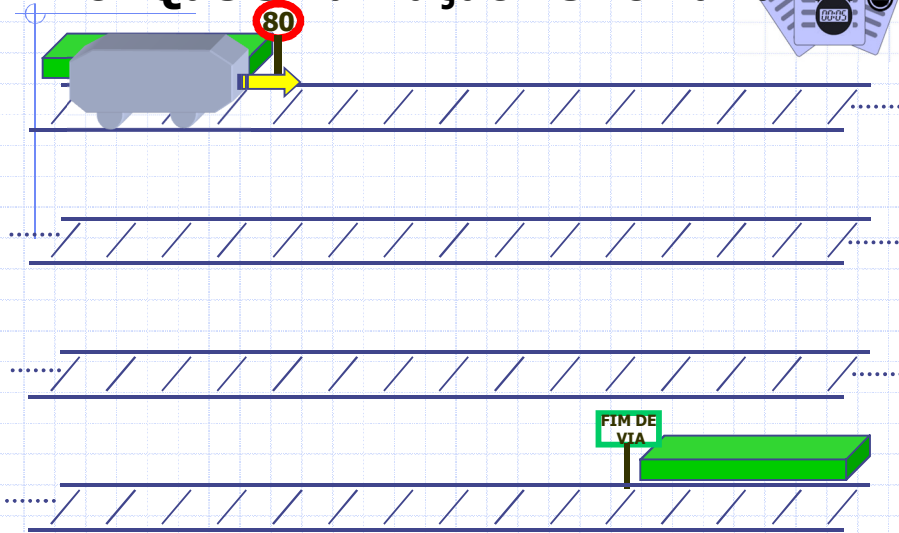


# Por Que Sinalização Ferroviária?

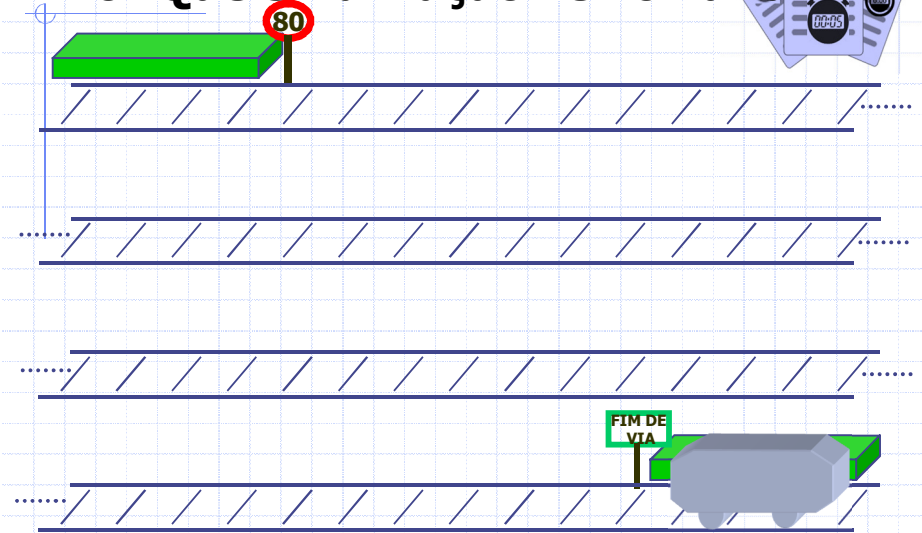


Four sets of horizontal lines with diagonal hatching, intended for writing an answer to the question above.

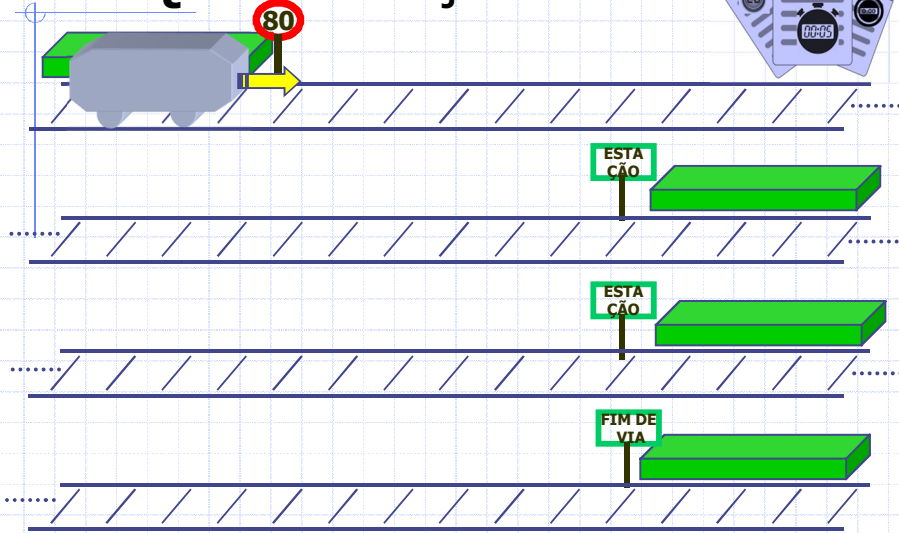
# Por Que Sinalização Ferroviária?



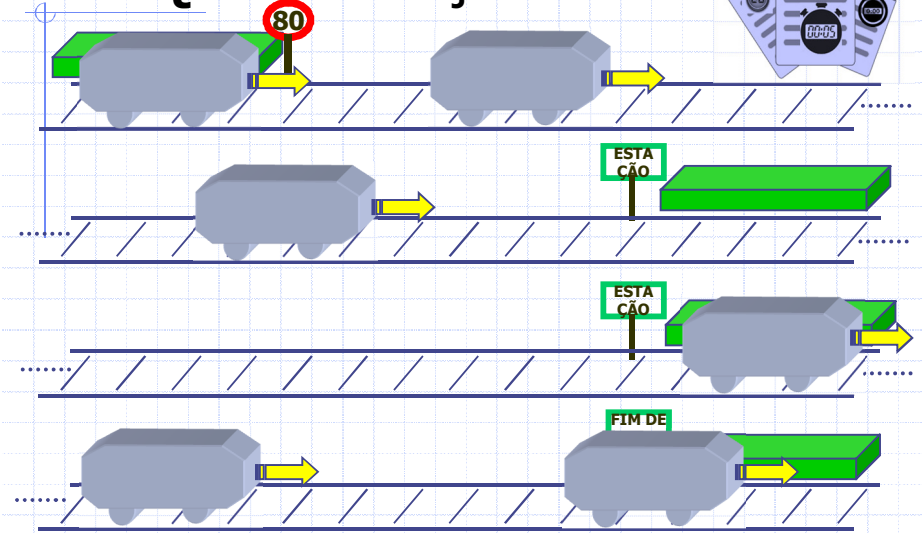
# Por Que Sinalização Ferroviária?



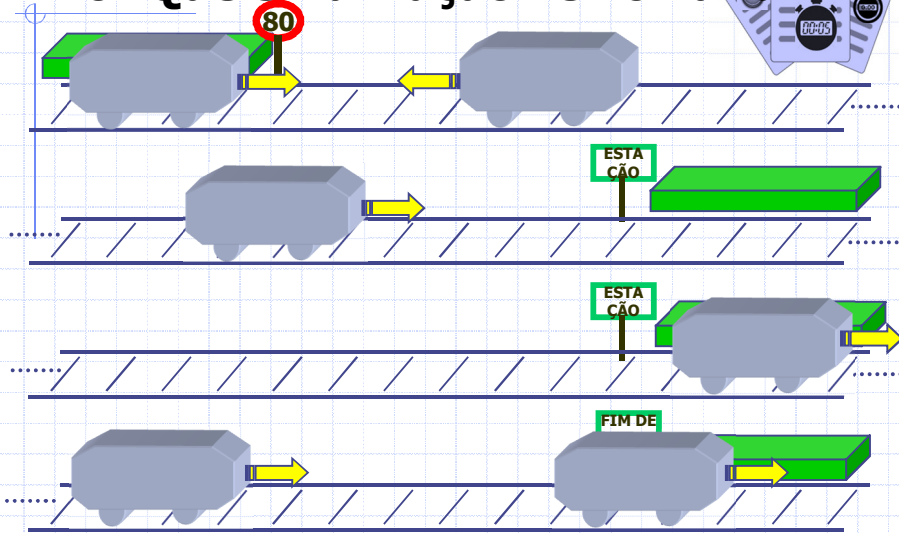
# Por Que Sinalização Ferroviária?



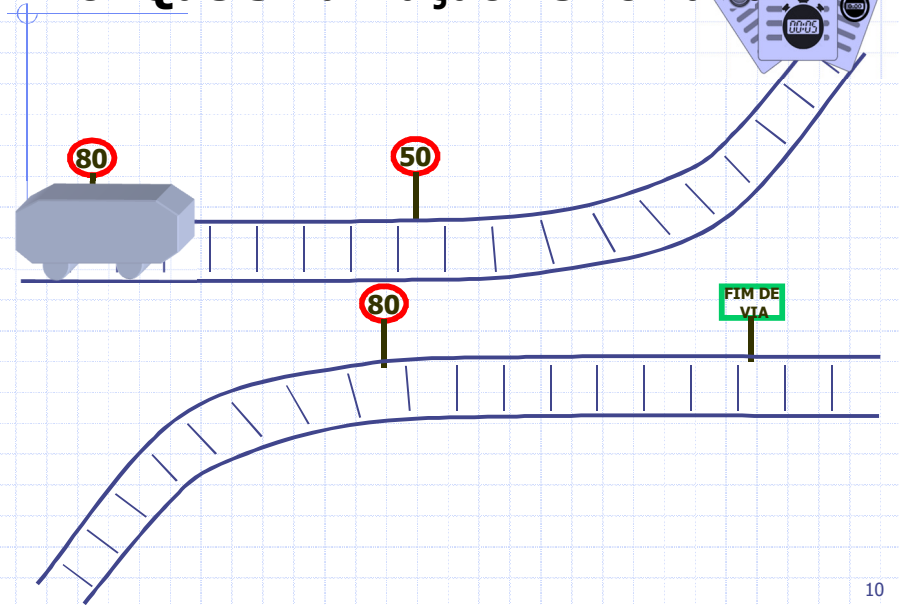
# Por Que Sinalização Ferroviária?



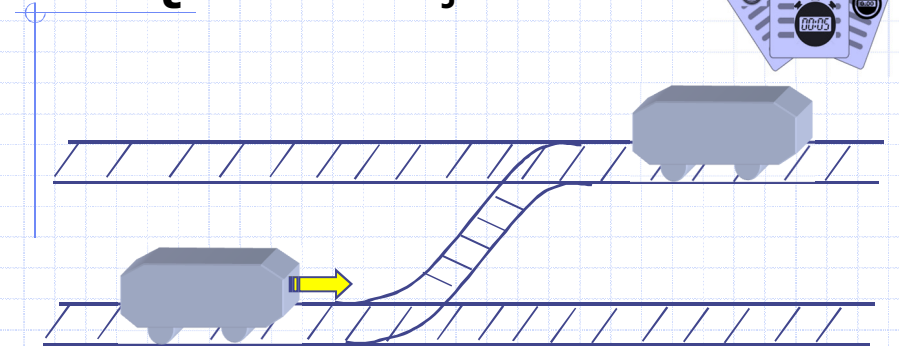
# Por Que Sinalização Ferroviária?



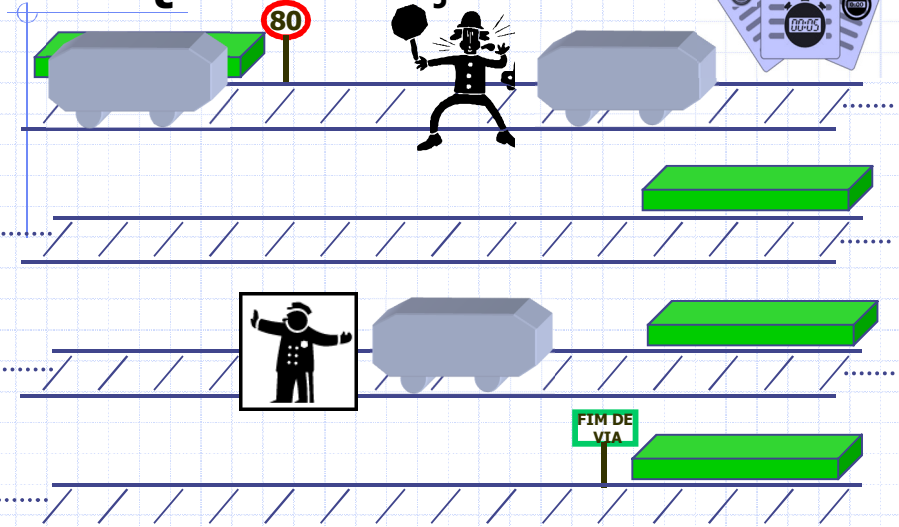
# Por Que Sinalização Ferroviária?



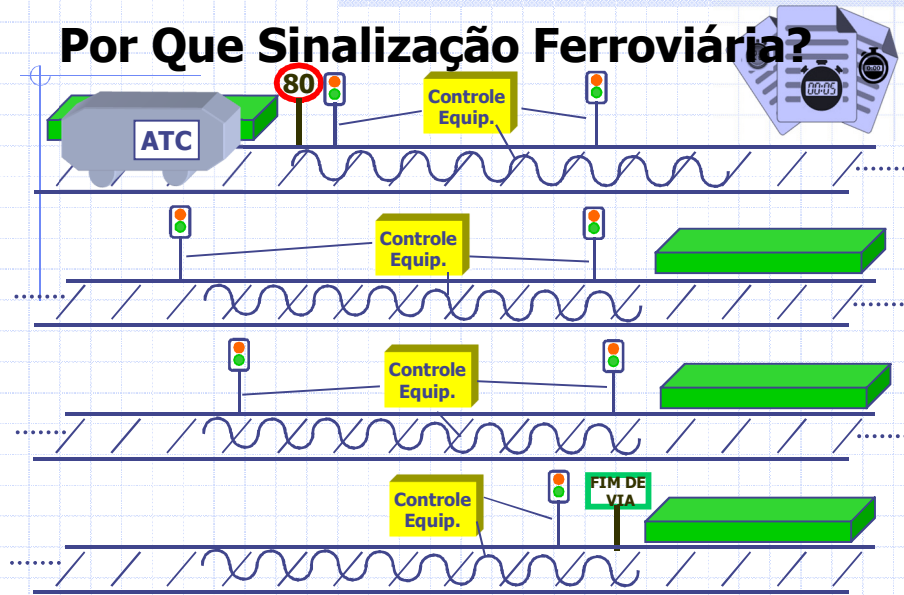
# Por Que Sinalização Ferroviária?



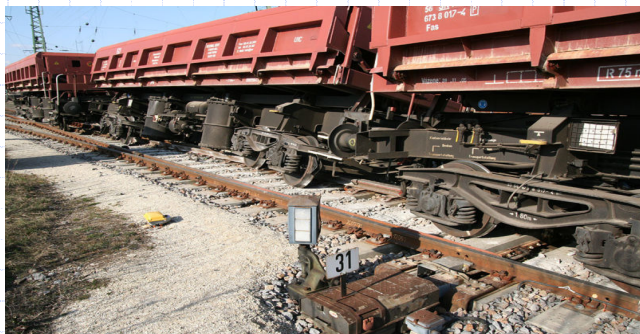
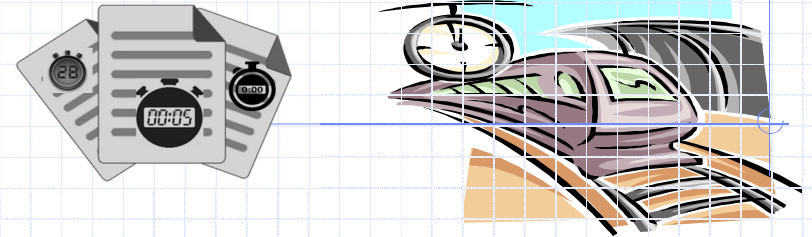
# Por Que Sinalização Ferroviária?



# Por Que Sinalização Ferroviária?



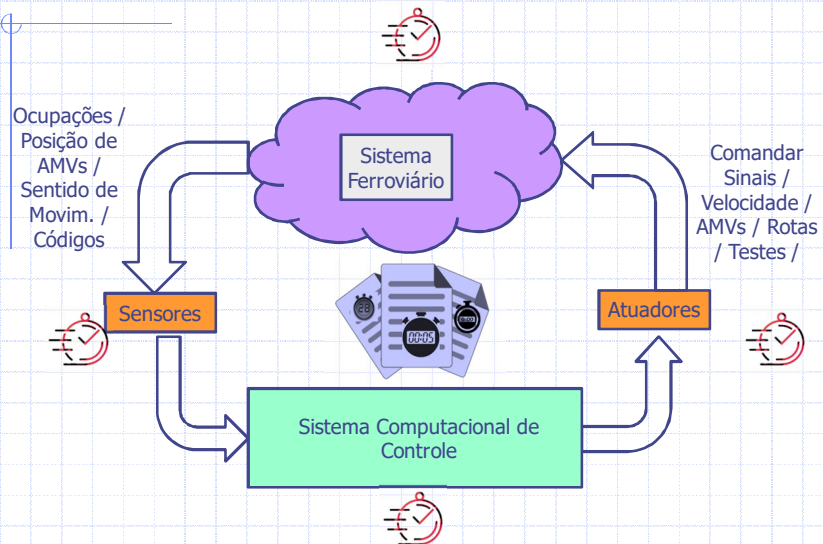
# ACIDENTES



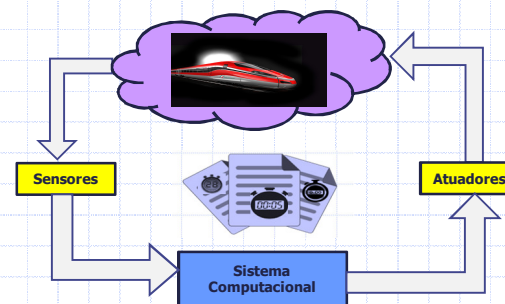


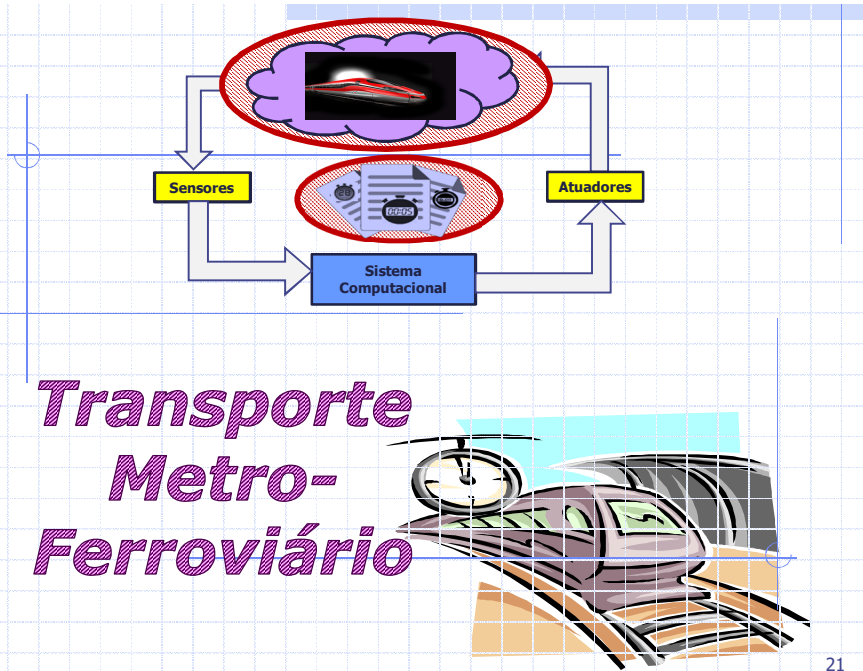
*A importância da Sinalização Ferroviária torna-se evidente*

## STR e o Sistema sob Controle



## STR e o Sistema sob Controle





## Por que Transporte Metro-Ferroviário?



## Objetivos da Sinalização Metro-Ferroviária



**Segurança:** prevenir colisões e/ou situações imprevistas



**Supervisão/Controle:** priorizar movimento de trens e operação suave



**Informação:** prover informação a controladores e usuários



*Quais são os principais tipos de transporte metro-ferroviário?*





## Transporte Guiado



### Veículos de pequeno porte

- People Mover
- Telecabine

### Veículos Leves sobre Trilhos

- VLT de pequeno porte (bonde)
- VLT Clássico
- VLT sobre pneus

### Monotrilho

### Metrô Leve (VLT de maior porte)

- VLT de maior porte

### Metrô

- Metrô sobre pneus
- Metrô urbano clássico

### Metrô regional ou Trem Metropolitano

25

## Capacidades de Transporte (por sentido)

### Ônibus simples

- 500 (normal) / 700 (pico)

### Ônibus articulado

- 700 (normal) / 900 (pico)

### Ônibus articulado com corredor exclusivo (BRT ou VLP)

- 1.200 (normal) / 2.200 (pico)

### Monotrilho

- 15.000 (normal) / 35.000 (pico)

### VLT

- 25.000 (normal) / 30.000 (pico)

### Metrô Leve

- 40.000 (normal) / 45.000 (pico)

### Metrô Pesado

- 60.000 (normal) / 80.000 (pico)

26



*Quais são os principais tipos de equipamentos utilizados na sinalização metro-ferroviária?*



27



## Elementos de Sinalização Ferroviária



### ◆ Trem



- Sistemas a bordo (eletrônica, antenas, freios, ...)

### ◆ Equipamentos de Via



#### ■ Trilhos

- ◆ Condução dos trens
- ◆ Detecção de ocupação
- ◆ Transmissão de código de velocidade

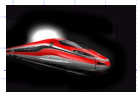
#### ■ Aparelhos de Mudança de Via



#### ■ Sinais





28



## Elementos de Sinalização Ferroviária






- ◆ Estações 
  - Portas de plataforma
  - Câmeras
  - ...
- ◆ CCO 
  - Acompanhamento da operação de linhas inteiras
  - Equipamentos de supervisão e controle remotos
  - Controle geral do fluxo de trens

29

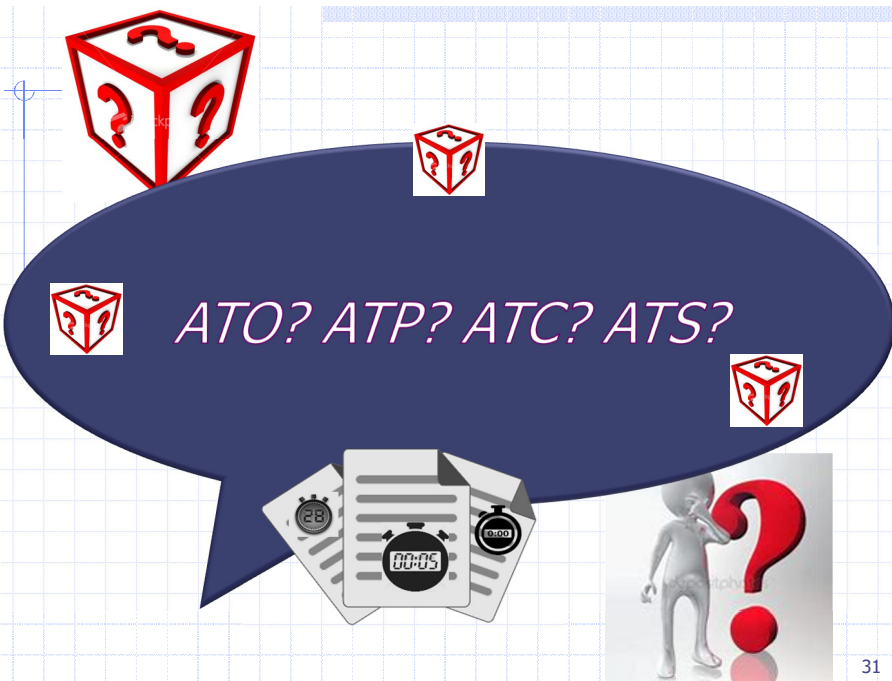


## Elementos de Sinalização Ferroviária



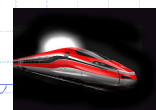
- ◆ Controle Local dos Equipamentos de Via 
- ◆ Controle Setorial dos Equipamentos de Via – Intertravamento 
  - “Tradicional” – relés fail-safe
  - “Moderno” – processadores
- ◆ Controle Central dos Equipamentos 

30







*ATO? ATP? ATC? ATS?*

31



## Definições



- ◆ **ATO** – Automatic Train Operation: controle /supervisão da aceleração/ frenagem de trens → vigiado pelo ATP 
- ◆ **ATP** – Automatic Train Protection 
- ◆ **ATC** – Automatic Train Control (ATP + ATO) 
- ◆ **ATS** – Automatic Train Supervision - controle central de movimentação de trens 

32





# Definições



## Via - ATO

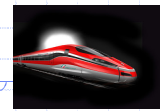


- Alinhamento de Rotas
- Testes e Diagnósticos
- Identificação de trens
- .....

## Via - ATP



- Impedir realização de rotas conflitantes
- Não emitir códigos de velocidade superiores aos máximos permitidos
- .....



# Definições



## Bordo - ATO



- Testes e Diagnósticos
- Identificação de trens
- .....

## Bordo - ATP



- Decodificação do código de velocidade
- Manutenção do perfil seguro
- .....

## CCO - ATS



- Executar controle global da malha
- .....



# Sinalização



CCO



Supervisão e Controle Setorial da Sinalização



Supervisão e Controle Setorial da Sinalização



Controle Equip. ATC



Controle Equip.



Controle Equip. ATC



# Sinalização



CCO



ATP

ATC ATO



Controle Equip. ATP/ATO

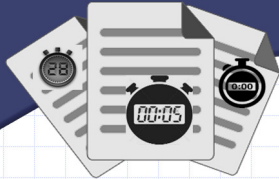


Controle Equip.





*O piloto / condutor do trem é realmente necessário?*



37



## Hierarquia de Operação (IEC 62290-1)



STO – Semi-automatic Train Operation

- Piloto na cabine
- Controla partida e atua em caso de incidentes
- Tem estratégia para recuperação de falhas



DTO – Driverless Train Operation

- Staff a bordo sem conduzir o trem

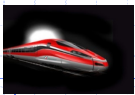


UTO – Unmanned Train Operation

- Sem piloto, nem staff



38



## Sinalização Ferroviária



- ◆ Prevenir colisões
- ◆ Prevenir descarrilamentos
- ◆ Permitir aos trens trafegarem na velocidade máxima permitida



39



*Há necessidade de se ter sistemas de controle mais sofisticados?*

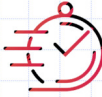


40



## Sinalização Ferroviária




- ◆ Complexidade crescente 
  - Maior número de trens
  - Maiores velocidades
  - Menor espaçamento entre trens
  - Maior capacidade de transporte
  - Vias mais complexas
  - Comunicação de dados

41



## Sinalização Ferroviária




- ◆ Busca da Segurança 
  - **Fail-safe:** falha de qualquer componente/equipamento deve levar a um estado que garanta a segurança
  - **Redundância:** componentes/equipamentos adicionais
  - **Operação Degradada:** permitir tráfego com velocidade/capacidade reduzidas

42



## Sinalização Ferroviária





- ◆ Principais elementos 
  - Detecção de trens: circuitos de via/contadores de eixos
  - Controle de elementos de via: AMVs, cancelas, sinaleiros
  - Intertravamento de ocupações/sinais/AMVs
  - Indicação ao condutor: sinalização ao longo da via
  - Sistema de frenagem

43



## Sinalização Ferroviária





- ◆ Distância Segura 
  - Sistema de frenagem → distância necessária para frear um trem à velocidade máxima permitida
  - Vias com tráfego misto: contemplar casos mais críticos
- ◆ Distância Segura - Parâmetros 
  - Taxa de aceleração inicial
  - Inclinação até o ponto de parada
  - Força de frenagem disponível (coeficiente de atrito trilho/roda)
  - Carga do trem
  - Estado de desgaste das sapatas de freio e pressão do ar nos cilindros de freios

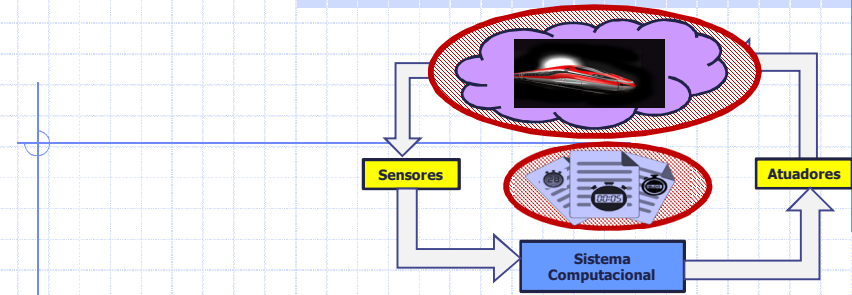
44



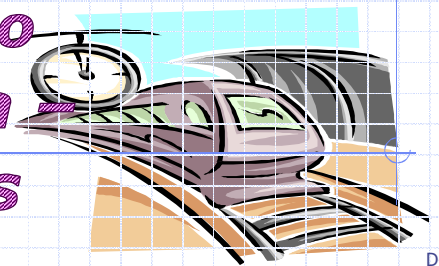
# Sinalização Ferroviária



- ◆ Sinalização de Velocidade Máxima Permitida
- ◆ Reduções de velocidade 
  - Restrições na via
  - Sinal fechado à frente
  - Distância reduzida de frenagem
- ◆ Verificação para alinhar rotas 
  - Presença de trens
  - AMVs na posição correta ou livres para se movimentarem
  - Rotas conflitantes

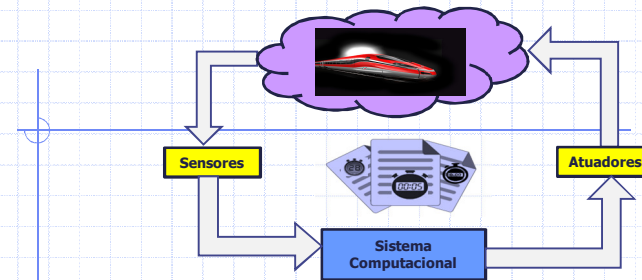


## Sistemas de Sinalização Ferroviária - Objetivos

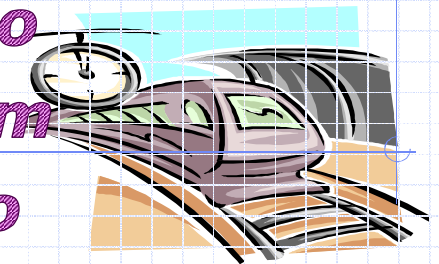


### Sist. Sin. Metro-Ferroviária - Objetivos

- Grande capacidade de transporte 
- Segurança
- Alto MTBF
- Baixo MTRR 
- Fácil manutenção
- Documentação completa
- Aderente às normas da área



## Paradigma de Sinalização Baseada em Bloco Fixo





# Sinalização Baseada em Blocos Fixos



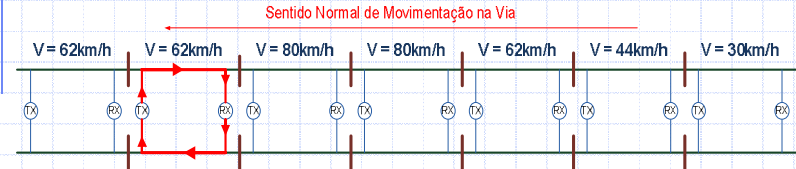
- ◆ A via é fisicamente dividida em blocos denominados **Circuitos de Via (CDV)**
- ◆ O posicionamento dos trens na via é conhecido apenas com a **resolução dos Circuitos de Via**
- ◆ As velocidades máximas permitidas para cada trem são determinadas **para cada Circuito de Via** como sendo uma função do perfil físico (relevo) da via e da ocupação dos Circuitos de Via no entorno



# Sinalização Baseada em Blocos Fixos



## ◆ Circuito de Via Desocupado



**Legenda**

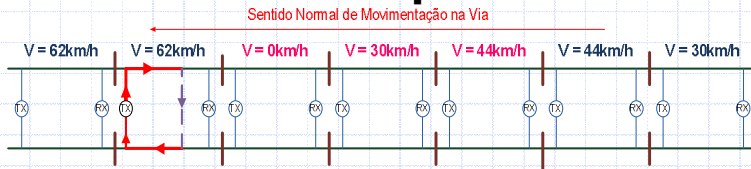
- Barra Metálica dos Trilhos
- Fronteira dos CDVs
- TX Transmissor de Sinais
- RX Receptor de Sinais
- Tráfego dos Sinais do Transmissor (TX)



# Sinalização Baseada em Blocos Fixos

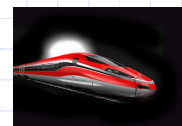


## ◆ Circuito de Via Ocupado



**Legenda**

- Barra Metálica dos Trilhos
- Fronteira dos CDVs
- TX Transmissor de Sinais
- RX Receptor de Sinais
- Tráfego dos Sinais do Transmissor (TX) nos Trilhos
- ← Tráfego dos Sinais do Transmissor (TX) no Rodeiro do Trem



# Limitações do Paradigma de Blocos Fixos

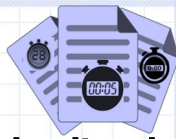


*Como o posicionamento dos trens é limitado pela resolução dos Circuitos de Via, o desempenho associado à missão de "transporte de passageiros" é limitado superiormente por um "patamar assintótico".*

*Como diminuir a distância entre trens sem que a segurança seja impactada negativamente?*



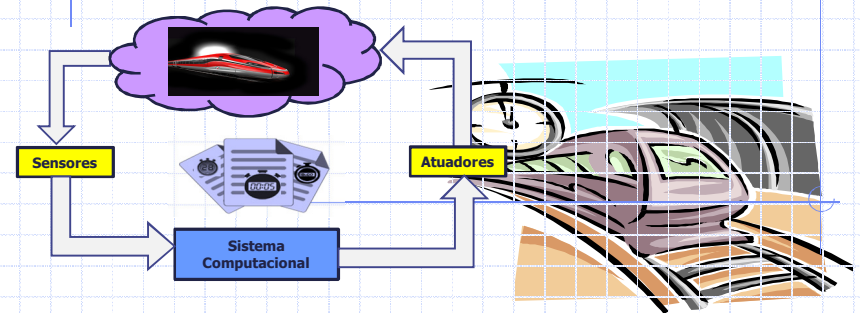
## Limitações do Paradigma de Blocos Fixos



- ◆ Solução "imediate": **reduzir o tamanho dos circuitos de via** → aumento de custos de **desenvolvimento, fabricação, instalação e manutenção**
  - Aumento da quantidade de transmissores e receptores para cada Circuito de Via
  - Aumento da sofisticação dos sistemas que coordenarão o funcionamento do Sistema de Sinalização e Controle
- ◆ Benefícios conquistados **nem sempre compensam os custos adicionais** (especialmente em situações de demanda muito elevada)

53

## CBTC - Communications-Based Train Control



54



## O que é CBTC?



- ◆ Definição do IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*): sistemas de sinalização e controle baseados em comunicação entre trens

*A continuous ATC system utilizing:*

- **High-resolution train location** determination, independent of track circuits;
- Continuous, high capacity, **bidirectional train-to-wayside data communications**;
- Train-borne and wayside **processors** capable of implementing vital functions.

55



## Características de CBTC



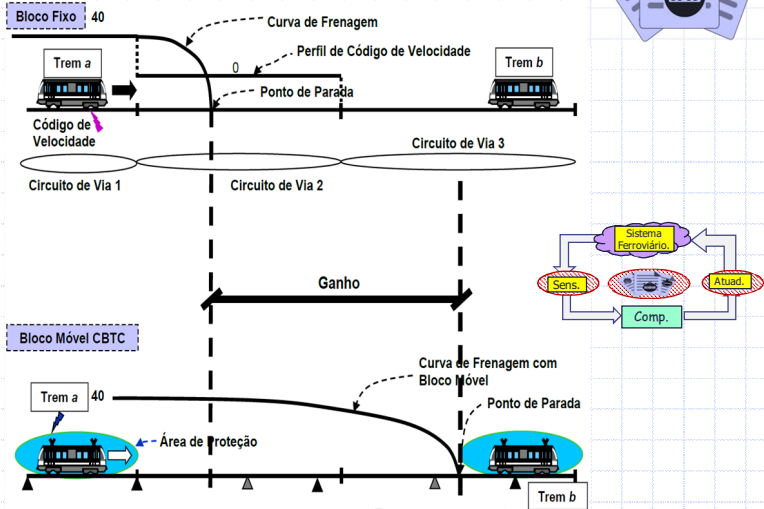
- ◆ A via não necessita ser subdividida em Circuitos de Via;
- ◆ A função do ATC de Via é comunicar aos ATCs de Bordo a missão de transporte de cada trem e gerenciar as condições globais de tráfego na via;
- ◆ Os ATCs de Bordo responsabilizam-se por determinar localmente o perfil dinâmico de aceleração e frenagem a ser utilizado com base nas condições globais de tráfego informadas pelo ATC de Via.



56



# Características do CBTC



# Transporte Metro-Ferroviário

