

# **Análise da Viabilidade de Utilização de Técnicas de Inteligência Artificial na Otimização do Controle de Movimentação de Trens**

**Flávio Monteiro Rachel**

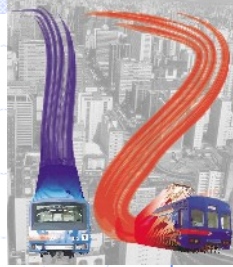
Companhia do Metropolitano de São Paulo  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

**Paulo Sérgio Cugnasca**

GAS – Grupo de Análise de Segurança  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

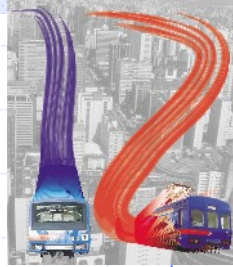
**12a Semana de Tecnologia Metroferroviária**

# Roteiro



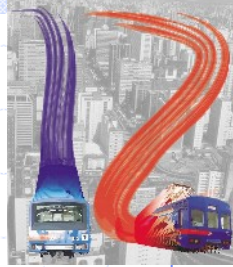
- ◆ Objetivos/Motivação
- ◆ Utilização de Técnicas de IA em Sistemas de Controle
- ◆ Proposta de um Controlador Nebuloso de Trens
- ◆ Simulações Efetuadas
- ◆ Considerações Finais

# Objetivos/Motivação



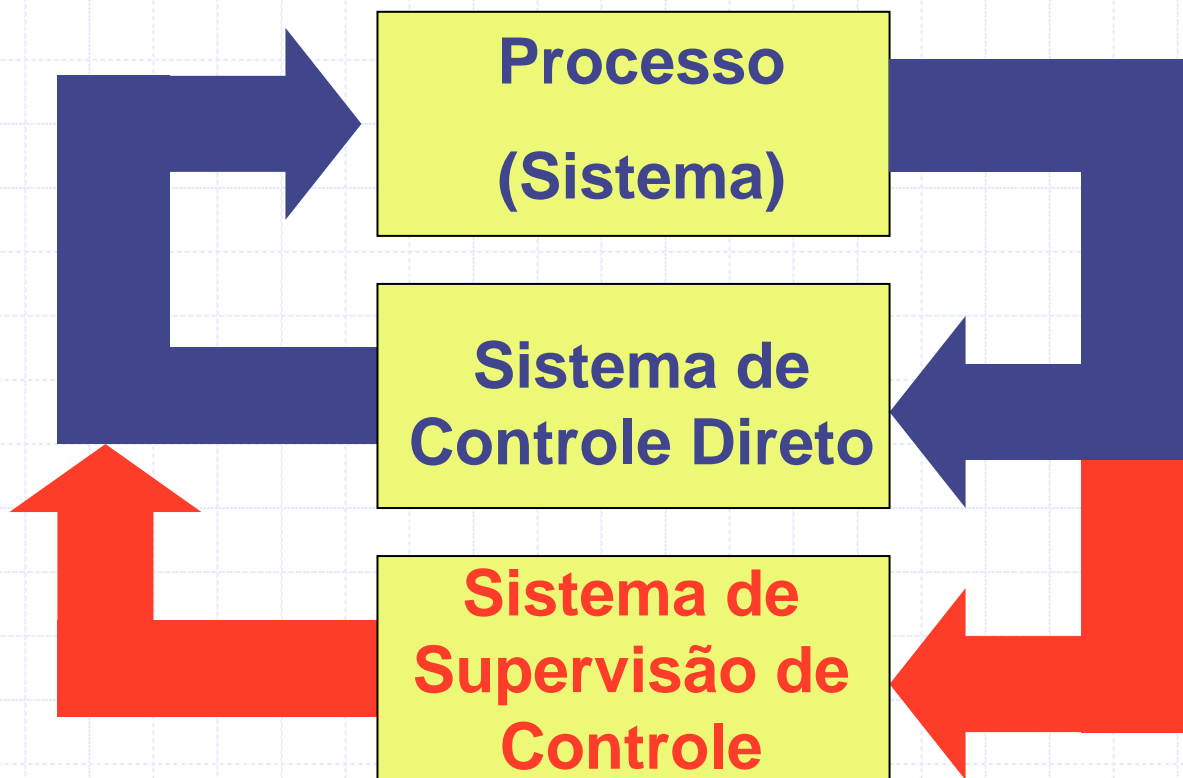
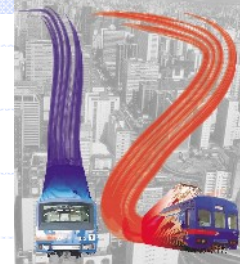
- ◆ O objetivo deste trabalho é a análise da viabilidade da utilização de técnicas de Inteligência Artificial para o controle do *headway* (intervalo entre trens) de um sistema metroviário, para atender à demanda do sistema.
- ◆ A motivação para este trabalho baseia-se na busca de alternativas para otimização dos recursos existentes, uma vez que os recursos estão destinados à ampliação da malha metroferroviária em São Paulo.
- ◆ O crescente aumento de demanda exige o aumento da capacidade do transporte público sem que haja diminuição na qualidade dos serviços.

# Utilização de Técnicas de IA em Sistemas de Controle

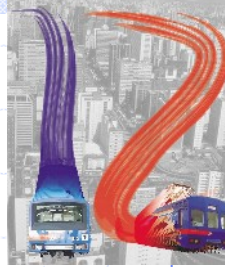


- ◆ Nos últimos anos, técnicas de Inteligência Artificial revelaram-se eficientes alternativas aos tradicionais controladores PID (*Proportional Integral Derivative*).
- ◆ O metrô da cidade de Sendai, no Japão, utiliza um controlador com Lógica *Fuzzy*, desde 1987, revelando a viabilidade de aplicação desta técnica.
- ◆ Os sistemas de controle de movimentação de trens metroferroviários são considerados sistemas críticos de controle, por envolverem a segurança de passageiros.
- ◆ As normas europeias não recomendam a utilização de ferramentas de IA em sistemas críticos de controle, em especial em sistemas metroferroviários.

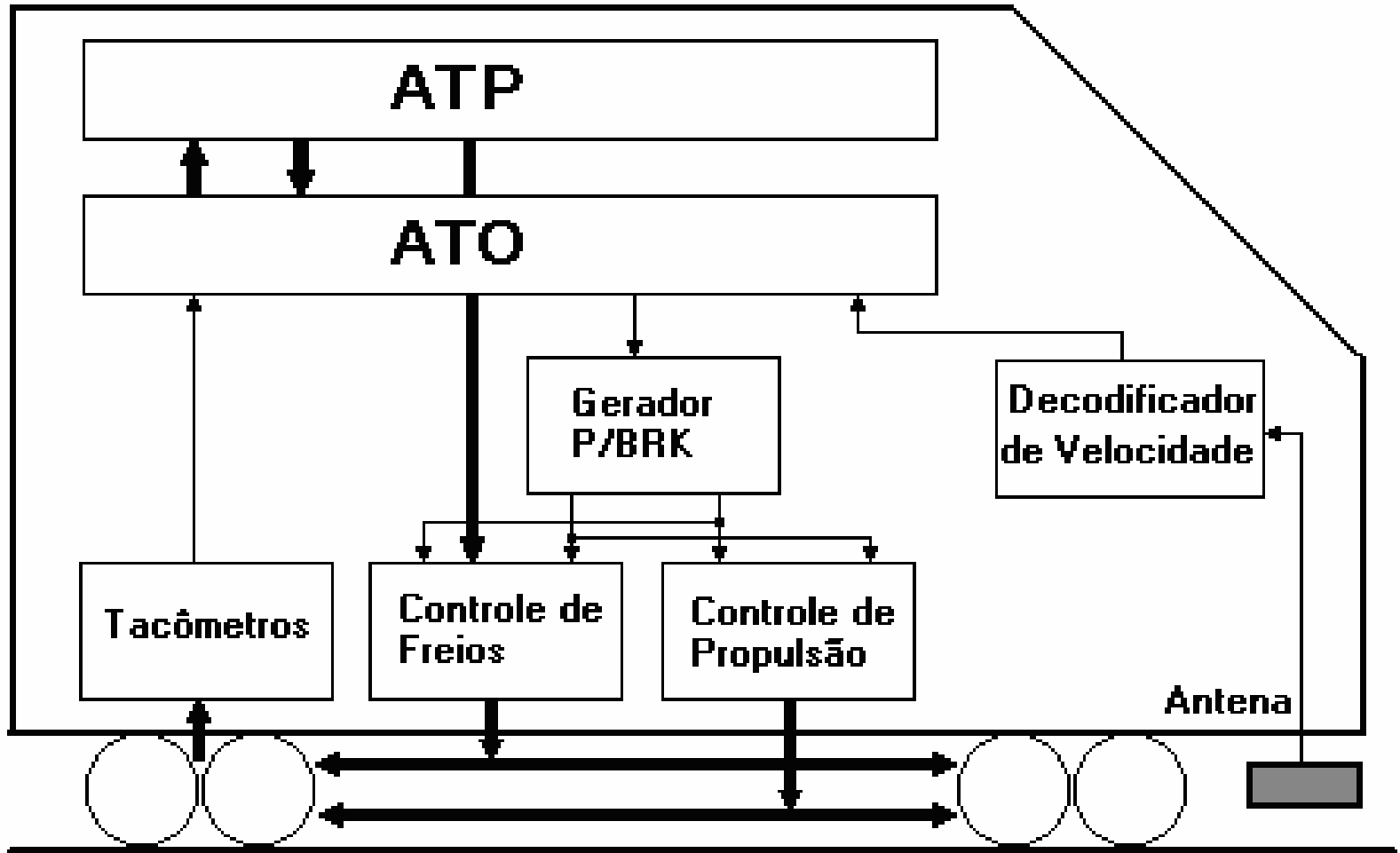
# Utilização de Técnicas de IA em Sistemas de Controle



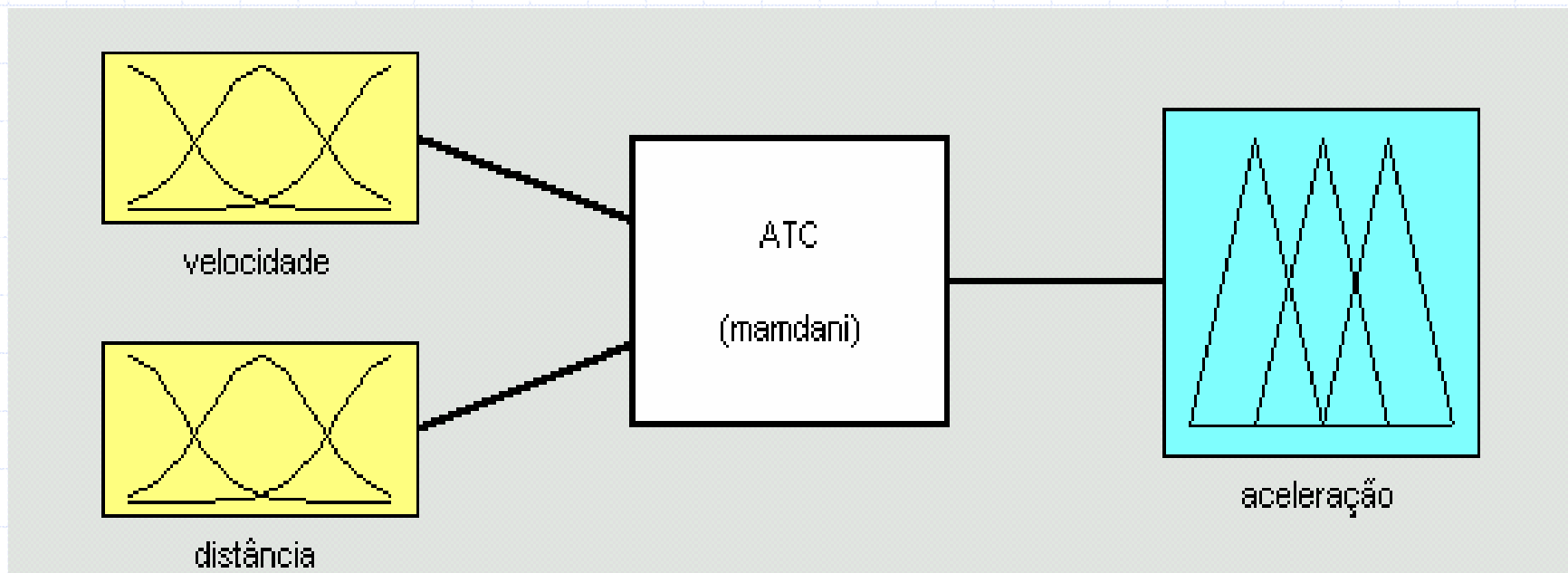
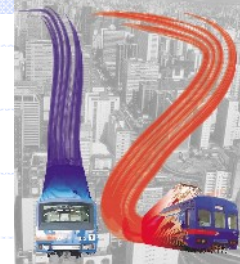
# Proposta de um Controlador Nebuloso de Trens



## ◆ Diagrama em Blocos do Sistema Proposto



# Proposta de um Controlador Nebuloso de Trens



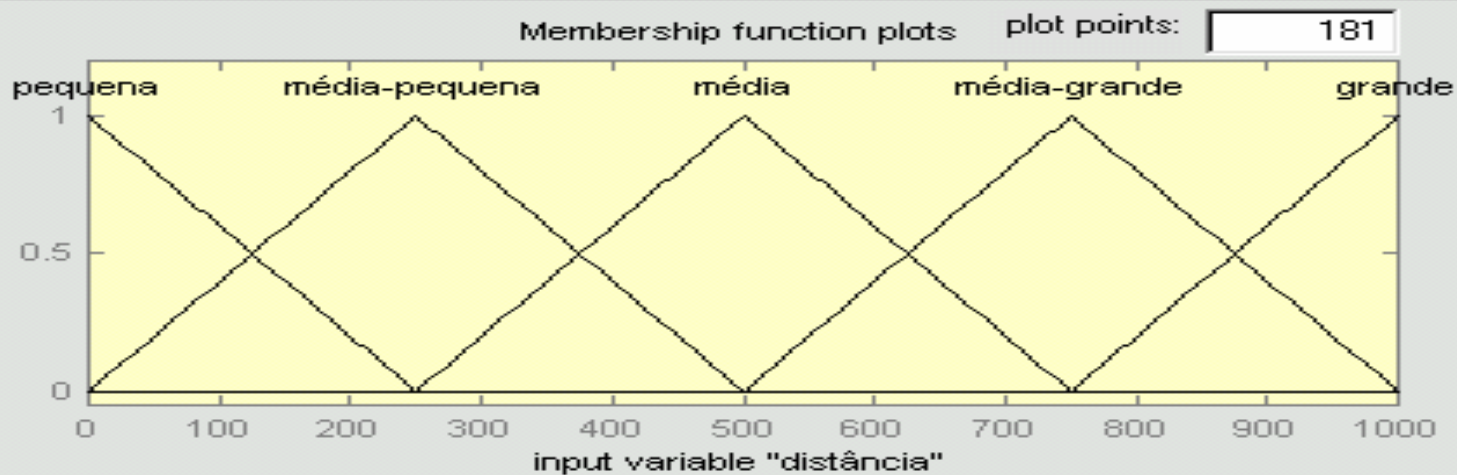
### FIS Variables



velocidade e aceleração



distância



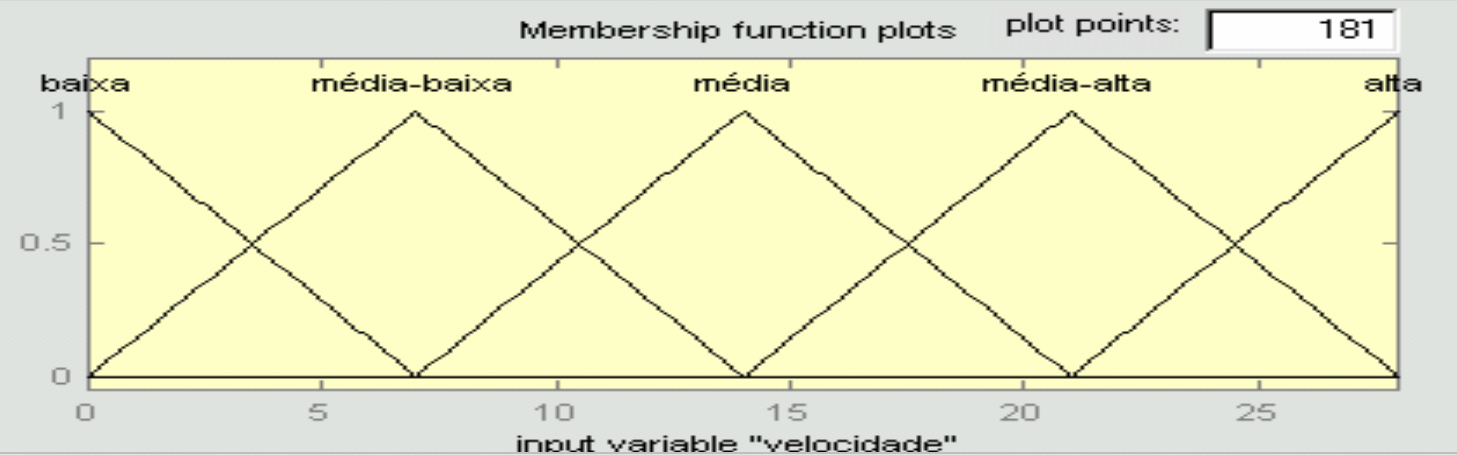
### FIS Variables



velocidade e aceleração



distância



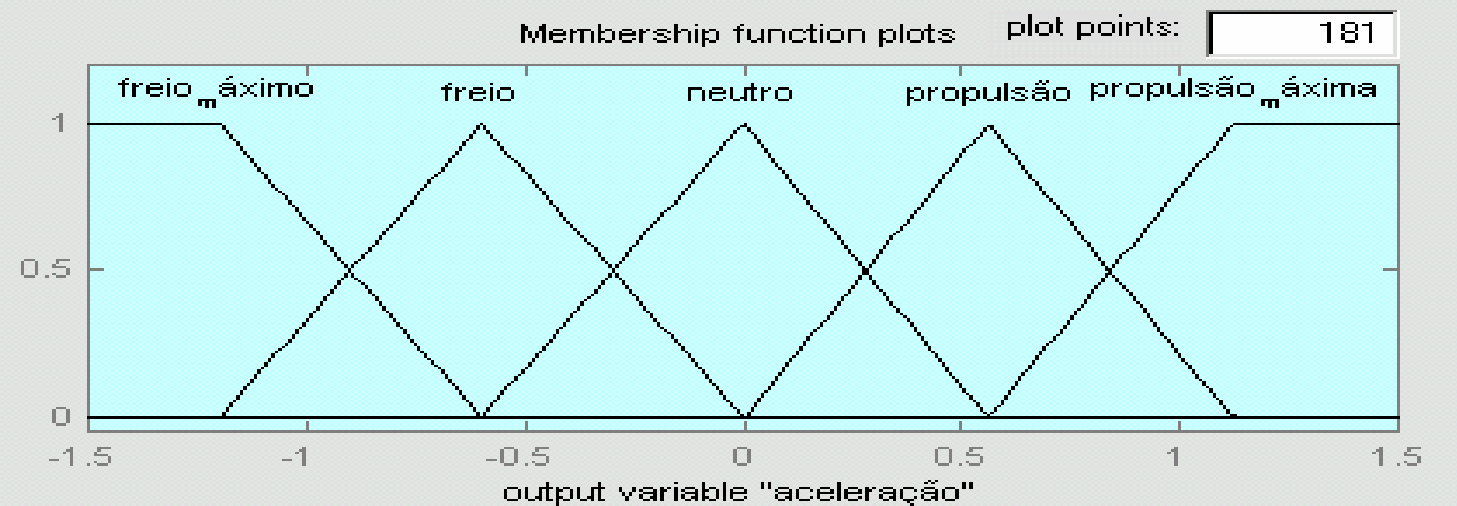
### FIS Variables



velocidade e aceleração



distância



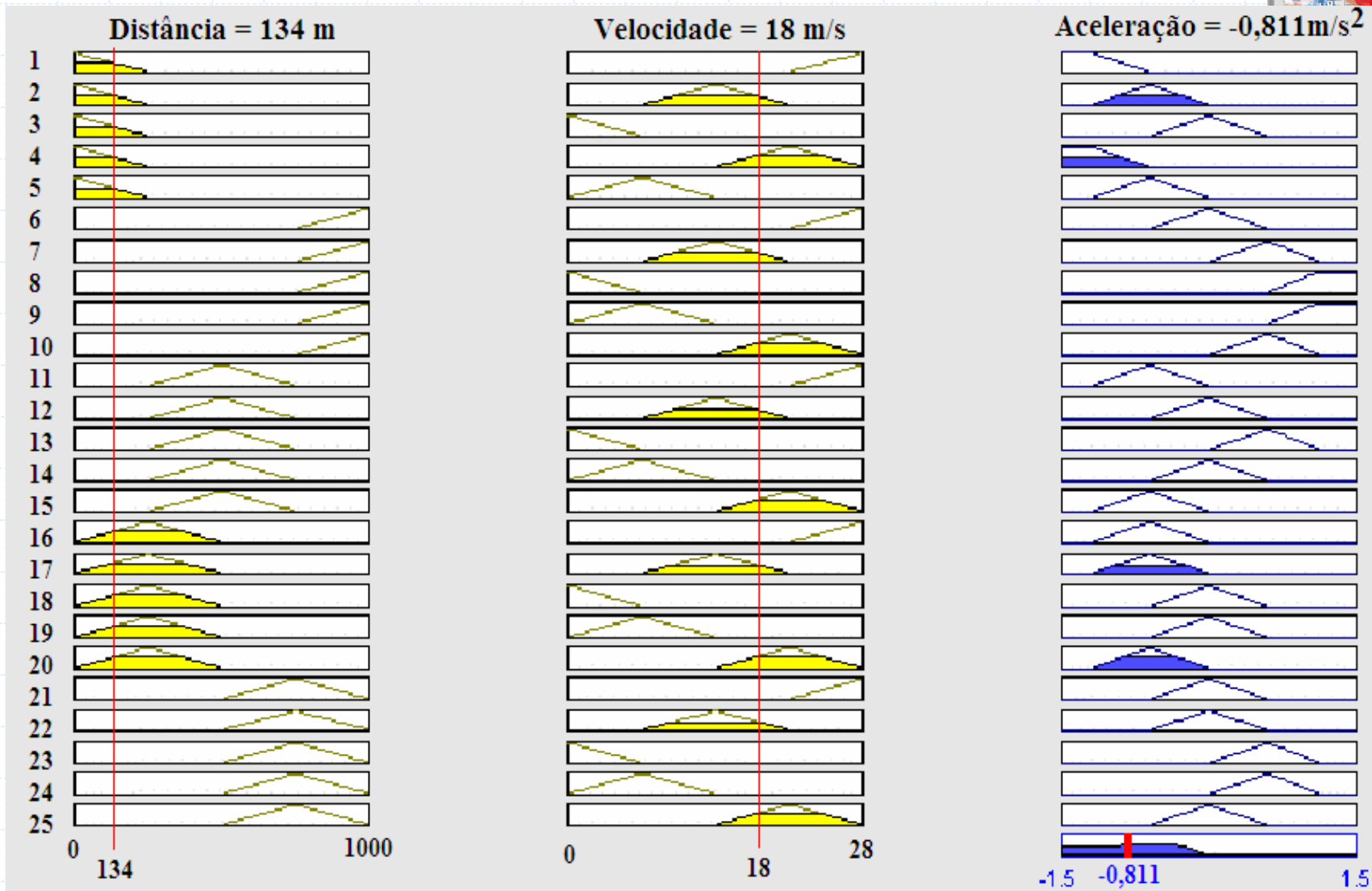
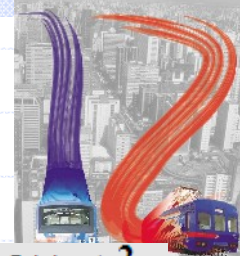


# Proposta de um Controlador Nebuloso de Trens



Distância Veloc.	Pequena	Média-Pequena	Média	Média-Grande	Grande
Baixa	Freio	Neutro	Propulsão	Propulsão Máxima	Propulsão Máxima
Média-Baixa	Freio	Neutro	Propulsão	Propulsão Máxima	Propulsão Máxima
Média	Freio	Freio	Neutro	Propulsão	Propulsão
Média-Alta	Freio Máximo	Freio Máximo	Freio	Neutro	Neutro
Alta	Freio Máximo	Freio Máximo	Freio	Neutro	Neutro

# Proposta de um Controlador Nebuloso de Trens

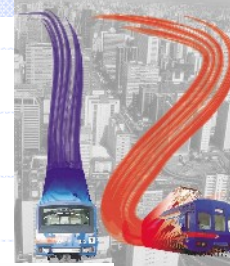




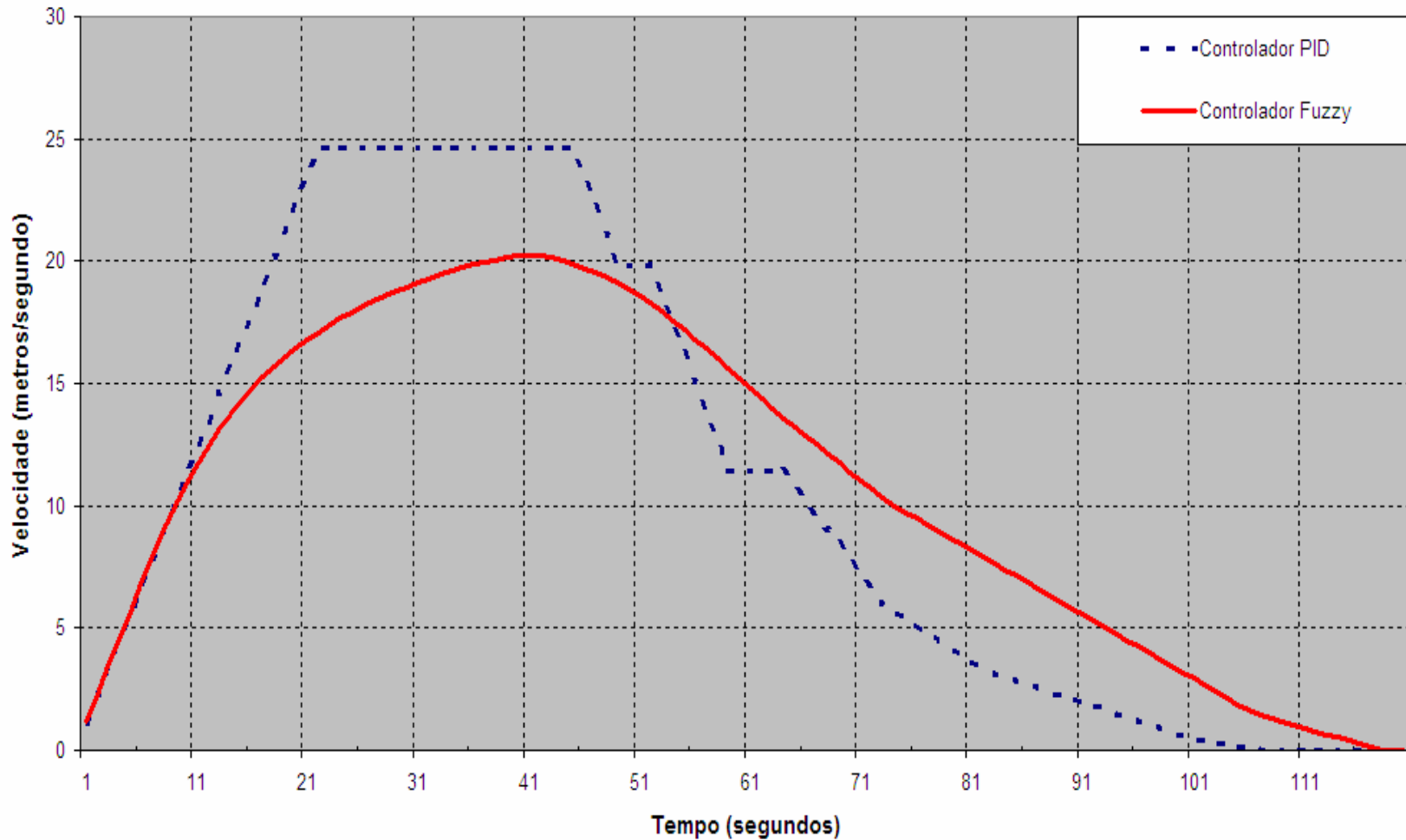
## Simulação 1 – Circulação Normal de Trems (Situação Operacional Normal)

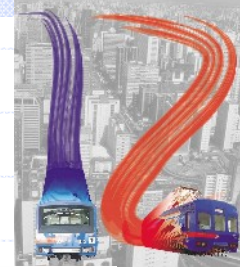


75	87	87	87	75	44	44
----	----	----	----	----	----	----

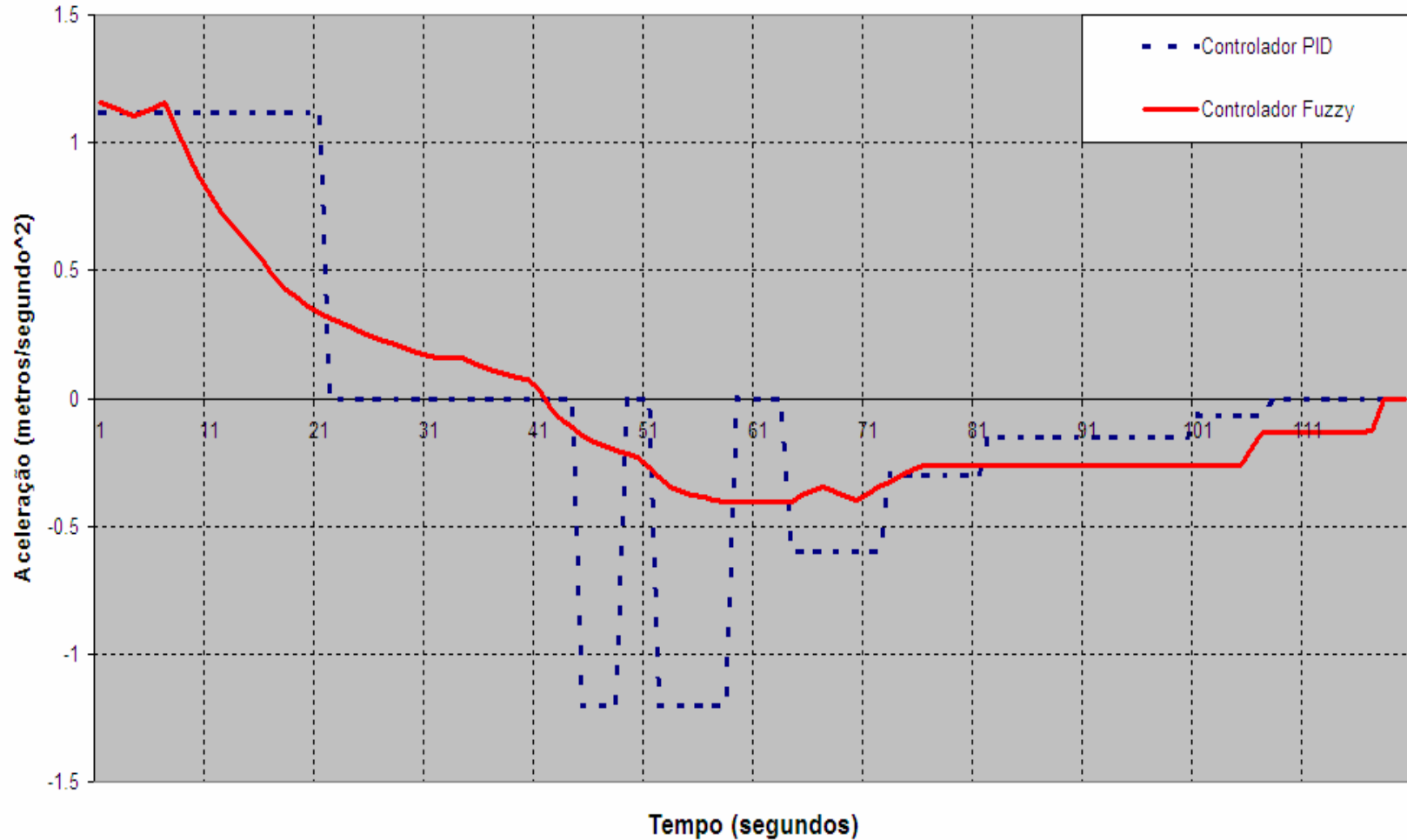


## 1a. Simulação - Circulação Normal de Trens - Velocidade dos Trens



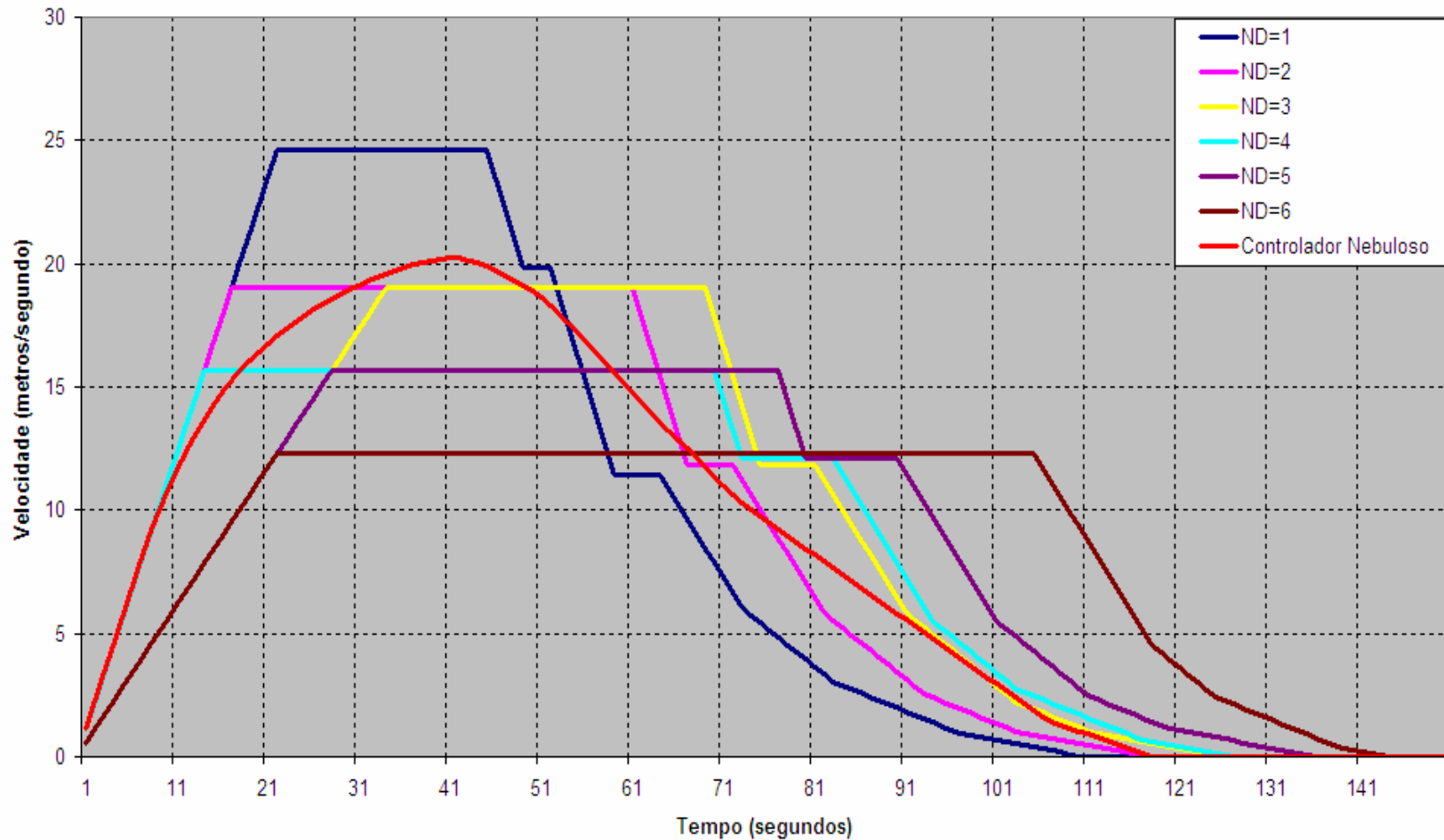


## 1a. Simulação - Circulação Normal de Trens - Aceleração dos Trens

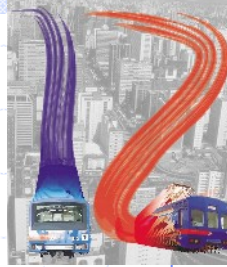




ND's x Controlador Nebuloso

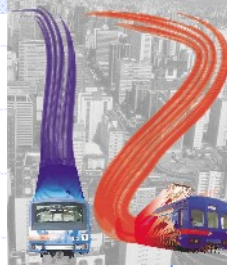


# Simulações Efetuadas



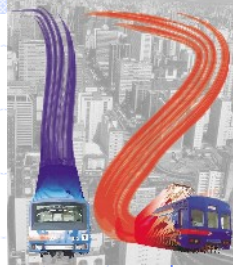
- ◆ Os gráficos de *Velocidade x Tempo* indicam que a aplicação da *Lógica Fuzzy* provoca uma suavidade nas curvas obtidas.
  - Esta característica representa uma principal vantagem aos passageiros, que é o aumento do conforto, além de uma menor taxa de manutenção e um menor consumo de energia.
- ◆ Uma desvantagem é o aumento do tempo de percurso entre as estações.
  - Esta característica é decorrente do fato do controlador nebuloso sempre buscar uma otimização das variáveis de entrada.
- ◆ As necessidades operacionais exigem que o tempo de percurso seja controlável.

# Considerações Finais



- ◆ A lógica nebulosa preditiva revelou-se viável na aplicação de controle automático de trens, proporcionando como vantagens:
  - um maior conforto aos passageiros
  - uma menor taxa de manutenção
  - um menor consumo de energia do sistema
  
- ◆ Proporcionando como desvantagem:
  - o aumento do tempo de percurso entre as estações, exigindo que esta grandeza seja considerada para o controle do sistema
  
- ◆ Necessidades decorrentes:
  - sistema de sinalização por blocos móveis
  - aumento dos custos de implantação do sistema
  
- ◆ É possível utilizar as vantagens das ferramentas de IA mantendo-se a segurança do sistema, embora algumas normas europeias não recomendem a sua utilização.





**Flávio Monteiro Rachel**

[fmrachel@metrosp.com.br](mailto:fmrachel@metrosp.com.br)

[flavio.rachel@poli.usp.br](mailto:flavio.rachel@poli.usp.br)

**Paulo Sérgio Cugnasca**

[paulo.cugnasca@poli.usp.br](mailto:paulo.cugnasca@poli.usp.br)