

## As Tecnologias no Sistema Metroferroviário: Caracterização e avaliação através do Modelo *Integral -Fuzzy*

André Dulce Gonçalves Maia, M.Sc. (PET/COPPE/UFRJ) [andre\\_dulce29@yahoo.com.br](mailto:andre_dulce29@yahoo.com.br)

Vladimir Lima da Silva, M.Sc. (PET/COPPE/UFRJ) [vladimir01rj@yahoo.com.br](mailto:vladimir01rj@yahoo.com.br)

Licínio da Silva Portugal, D.Sc. (PET/COPPE/UFRJ) [licinio@pet.coppe.ufrj.br](mailto:licinio@pet.coppe.ufrj.br) Mácio

Peixoto dos Santos, Ph.D. (PET/COPPE/UFRJ) [marcio@pet.coppe.ufrj.br](mailto:marcio@pet.coppe.ufrj.br)

### Resumo

*Analisar as perspectivas quanto ao desenvolvimento tecnológico nos transportes, apesar de ser uma tarefa bastante árdua e complexa, é de enorme importância na busca do desenvolvimento urbano e do bem estar social. O objetivo do presente trabalho é o de apresentar um modelo matemático para avaliar, de forma rápida, confiável, flexível, as tecnologias inerentes ao controle e sinalização operacional do sistema metroferroviário no Brasil. Desse modo, espera-se contribuir na identificação de pontos prioritários para a implementação de estratégias, planos e políticas que visem a minimizar os diferentes tipos de impactos neste setor. O modelo foi desenvolvido a partir da utilização da Lógica Fuzzy e com base em entrevistas junto a especialistas em transportes. A sua implementação provê uma saída numérica correspondente à avaliação das tecnologias no sistema metroferroviário, cujos pesos apurados, por meio das funções de consonância aplicadas aos valores atribuídos pelos especialistas, indicam a preocupação com os dispositivos responsáveis por garantir a segurança das operações de movimentação.*

### Palavras Chave:

Lógica *Fuzzy*, Planejamento de Transportes e Sistemas Metroferroviários.

### 1. Introdução

O fator tecnológico tem sido importante no que se refere ao desenvolvimento de indústrias, à geração de empregos, bem como a minimização de emissões de poluentes que impactam de forma negativa às atividades agropecuárias e, principalmente, à saúde da população.

No caso específico de Sistemas de Transportes Metroferroviários (STMF), a tecnologia tem influência direta e determinante na regularidade e na confiabilidade do serviço prestado, no conforto dos usuários embarcados ou não, nas facilidades de integração com outros modos de transporte, na acessibilidade ao transportes, na informação aos passageiros, na segurança do público em geral, dos passageiros e do pessoal que opera o sistema, na velocidade assegurada, no intervalo entre as composições e, principalmente, na proteção ao meio ambiente (Alouche, 2001 e 2003).

Quanto à melhoria do desempenho e a segurança dos sistemas metroferroviários, observa-se também que grandes esforços estão sendo envidados de modo a que esses fatores sejam compatibilizados e incorporados às operações. Como exemplos, podem ser citados:

- a) Material Rodante: Preocupação com o *layout* e com as funções de operação/manutenção e distribuição de equipamentos.
- b) Sistema de Sustentação: Técnicas modernas são empregadas na fixação dos trilhos e no material utilizado nas rodas, proporcionando um baixo nível de ruído e trepidação ([www.metropla.net](http://www.metropla.net); Revista Ferroviária, 2001 e 2004).
- c) Sistemas Fixos (sinalização, telecomunicações, controle operacional etc): Observam-se importantes inovações com a utilização do bloco móvel a rádio no metrô (Nova Iorque), o desenvolvimento de programas utilizando a tecnologia de satélites (França) e o aperfeiçoamento do Controle Automático do Trem (ATC) e da tecnologia de Controle Positivo dos Trens (*Positive Train Control – PTC*) [[www.metropla.net](http://www.metropla.net); Smith, 2001; Revista Ferroviária, 2001 e 2004].
- d) Informação Auditiva, Visual e quanto à segurança pública do STMF: Observam-se esforços no sentido de auxiliar os portadores de deficiências físicas no embarque ou saída nas plataformas como: a existência no piso de uma espécie de faixa, geralmente amarela e em alto relevo; bilheterias eletrônicas com código em braile; mapas em anaglipografia (processo de leitura por meios de sinais em relevo, inventado por Braille) para auxílio aos portadores de deficientes visuais na locomoção até as saídas ou plataformas de embarque; ainda, existência de elevadores para os deficientes físicos e idosos. Quanto aos sinalizadores de segurança pública nas estações, existem equipamentos de vigilância por meio de câmeras, dispositivos que captam sons ambientes etc [Mariani, 2003]. Outras tecnologias mais sofisticadas, como o de biometria, estão em plena fase de aprimoramento (Revista Informação, 2004).

Algumas dessas tecnologias podem ser vistas no metrô de São Paulo: Elevadores especiais dotados de sinalização em *braile* e intercomunicação, instalados nas estações da rede; guia metrô para portador de deficiência visual em braile e tipologia para visão Subnormal; piso tátil na estação Marechal Deodoro, além do atendimento preferencial a esses usuários nas bilheterias, nos bloqueios e nos trens, com a implantação de assento reservado com cor diferenciada e sinalização específica em todos os carros.

Entretanto, qualquer que seja a natureza do sistema, há ocorrência de falhas. Segundo Rath (2002) e Fratini (2004), a degradação do material e a ocorrência de falhas primárias comprometem a segurança, confiabilidade e o conforto, principalmente dos usuários, além de resultar custos adicionais e elevados à operação do sistema.

No caso ainda do metrô de São Paulo, foi registrado em 2003 um total de 2095 casos de acidentes compostos da seguinte forma: escada rolante (37%); escada fixa (19%); vão entre o trem e a plataforma (14%); porta do trem (12%). Apesar disso, o número de acidentes registrados com usuários em cada 1 milhão de passageiros transportados foi de 2,95 ([www.metro.sp.gov.br](http://www.metro.sp.gov.br)). Ressalva-se o destaque do metrô de São Paulo, por ele, segundo Assmann (2004), “ter tido seu sucesso por ousar procurar o que de melhor havia na experiência do mundo e trazê-lo para a realidade brasileira”.

Assim, a necessidade de se implantar Programas de Avaliação de Desempenho é justificada pelos benefícios que podem ser alcançados com uma estratégia desenvolvida e implementada por meio de ações no curto, médio e longos prazos.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho é o de apresentar um modelo matemático para avaliar, de forma rápida, confiável, flexível e com baixos custos agregados, as tecnologias inerentes ao controle e sinalização operacional do sistema metroferroviário no Brasil. Espera-

se contribuir na identificação de pontos prioritários para a implementação de estratégias, planos e políticas que visem a minimizar os diferentes tipos de impactos neste setor. A modelagem do problema teve por base a *Lógica Fuzzy*, a qual é considerada uma ferramenta moderna e bastante adequada para o tratamento de problemas complexos que envolvem variáveis de diferentes dimensões qualitativas (Kaczmareck, 2005).

## 2. A Lógica Fuzzy

A necessidade de se obter mecanismos que realizem um processo de medição objetivo, sistêmico e transparente é fundamental para gestores e para aqueles cujo objetivo é a implementação de políticas públicas e ações de melhoria de segurança, acessibilidade e mobilidade para a população servida. Porém, o emprego de novas tecnologias em ambientes complexos faz com que esses processos de medição se tornem cada vez mais dependentes de modelos matemáticos abstrusos e de difícil implementação computacional. Outrossim, a não-linearidade que está associada a esses sistemas tem como consequência uma menor agilidade no processo decisório por conta de menores velocidades de respostas quando do reconhecimento da força e grandeza das diversas variáveis de entrada que integram o sistema.

De fato, Ignaccolo e Inturri (2000) afirmam que os sistemas *fuzzy* possuem a qualidade de se aderir muito bem a modelagem de sistemas não-lineares. Afirmam também que a natureza das regras *fuzzy* e das relações entre os conjuntos *fuzzy* de diferentes formas proporcionam uma capacidade poderosa para a descrição de um sistema cuja complexidade faz com que um sistema especialista tradicional, um modelo matemático ou estatístico seja de difícil consecução.

A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* nasceu em 1965 a partir da publicação do artigo intitulado *Fuzzy Sets* na revista *Information and Control* por Lofti A. Zadeh da Universidade da Califórnia, Berkeley (Tanaka, 1997).

A Lógica *Fuzzy* é uma técnica que permite a modelagem da estrutura de raciocínio dedutivo e humano, por meio de informações já apreendidas ou com base na capacidade de aprendizado e generalização (raciocínio indutivo), de modo a que sejam reproduzidos ou projetados sistemas que emulem o comportamento humano na resolução de problemas e tomada de decisão.

De acordo com Silva e Maia (2004), “a construção da arquitetura do pensamento consensual e humano torna-se então o passo mais importante na concepção de modelos *Fuzzy*, neste momento é que é caracterizado o método heurístico para a tomada de decisão. A heurística é um processo de realização de tarefas por meio de estratégias frequentemente utilizadas ou por meio da “experiência” adquirida na solução de determinados problemas”.

Algumas das vantagens da Lógica *Fuzzy* são as flexibilidades no tratamento de variáveis qualitativas e/ou quantitativas, a facilidade de implementação computacional, e ainda, a minimização dos custos inerentes às fases de modelagem e implantação de seus algoritmos. Na avaliação de desempenho, ela permite a construção de modelos consistentes com a visão dos especialistas a partir da modelagem das estruturas de pensamento e da heurística.

### 3. O Modelo Proposto para Avaliação das Tecnologias no Sistema Metroferroviário

O modelo avalia, por meio de seus sistemas (Tabela 1), os equipamentos eletrônicos dispostos no trem, na via e nas estações, os quais têm por objetivo permitir a circulação das composições com segurança e garantindo também a regularidade de sua operação.

Tabela 1: Descrição das funções de seus respectivos controles

Sistemas	Variáveis	Descrição
Sistema de Sinalização e Controle nos trens e nas vias (SSC)	Rastreamento e identificação da posição dos trens na linha	Dispositivos responsáveis em garantir a segurança das operações de movimentação dos trens, permitindo a sua monitoração e controle, inclusive a implementação de ações preventivas e corretivas.
	Alinhamento e cancelamento de rotas	
	Restringir velocidade	
	Deteção da condição de trilhos partidos	
Sistema de Controle de Energia (SCE)	Sistemas de telecomunicação Controle geral da demanda de energia	Responsável pela supervisão e controle das subestações retificadoras e de suas alimentações, garantindo todo o suprimento de energia nas estações, trens e nas vias.
Sistema de Sinalização e Controle nas estações (SCS)	Painéis de informação ao usuário	Dispositivos destinados a facilitar a vida dos usuários, proporcionando-lhes conforto, rapidez e segurança no acesso as estações.
	Iluminação nas estações	
	Equipamentos de combate ao incêndio	
	Acesso aos usuários portadores de deficiências físicas e aos idosos	
	Bilhetagem eletrônica	
	Sistemas de telecomunicação	

Fonte: Adaptado do Metrô de Fortaleza ([www.metrofor.ce.gov.br](http://www.metrofor.ce.gov.br)) e de São Paulo ([www.metro.sp.gov.br](http://www.metro.sp.gov.br)).

Os sistemas são gerenciados pelo console geral, que, no presente trabalho, está representado pelo Índice de Controle e Sinalização Operacional e Público do Sistema Metroferroviário (ICSOP). O ICSOP é um valor numérico gerado a partir das avaliações de cada sistema (SSC, SCE e SCS) e de suas tecnologias. Assim, o modelo matemático proposto para avaliar as tecnologias quanto ao controle e sinalização operacional do sistema metroferroviário está definido conforme apresentado na figura 1.

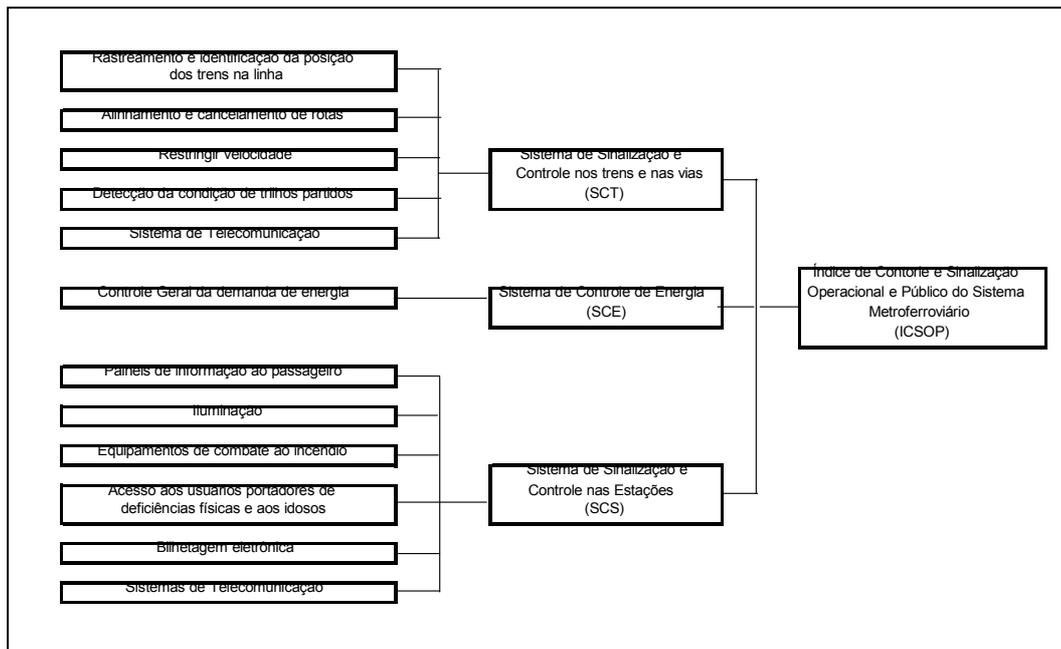


Figura 1: Modelo Integral – Fuzzy proposto para avaliação das tecnologias do Sistema Metroferroviário

#### 4. Estudo de Caso e Procedimento Adotado

O estudo de caso objetivou testar a aplicabilidade do modelo proposto e obter um pré-diagnóstico das tecnologias de Controle e Sinalização Operacional e Público do Sistema Metroferroviário no Brasil.

Foi desenvolvida pesquisa exploratória com entrevistas e aplicação de questionários, a partir da qual se pode identificar a percepção dos especialistas em transportes. Para efeito deste trabalho, foram realizadas as agregações e ponderações por meio de 18 especialistas em transporte. Deve-se destacar que, conforme comprovação experimental feita por Zadeh, as funções de pertinência ficam definidas após a consulta a especialistas, bastando de 15 a 20 deles (*apud* Braga, 1995).

Após definida a técnica a ser utilizada (Lógica *Fuzzy*), a modelagem considerada englobou as seguintes etapas (Silva *et al.*, 2004):

##### a) Definição das Variáveis de Entrada e seus Rótulos

As variáveis de entrada bem como suas estruturas de relacionamentos estão dispostas conforme Figura 1. A seleção de variáveis teve por base a consideração de propriedades como a de ser completo (aspectos importantes para o decisor), operacional (diz respeito às implicações da variabilidade dos impactos), mensurável e disponível (que permitisse sua mensuração por meio de técnicas próprias e que pudessem ser disponibilizados por meios factíveis de utilização).

Os rótulos de saída obedecem à escala de 5 variáveis semânticas propostas por Likert (*apud* Pereira, 1999). Neste caso, são considerados termos lingüísticos como *Nenhuma Importância (NI)*, *Pouca Importância (PI)*, *Razoável Importância (RI)*, *Importante (I)* e *Muito Importante (MI)*. Os pesos de cada variável bem como de seus grupos correspondentes foram obtidos por meio de processo, onde cada especialista ponderou (também numa escala de 5 variáveis semânticas) sobre a relevância de cada elemento para a composição do Índice de Controle e Sinalização Operacional e Público do Sistema Metroferroviário (ICSOP). O resultado é medido em função da frequência de respostas em determinado item dividido pelo número total de respondentes. Em razão de estarmos trabalhando com valores contínuos para os valores de suporte ( $[0..10]$ ), foram utilizadas expressões contínuas com base no símbolo  $\int$  para representar os conjuntos *fuzzy*. “O uso do símbolo  $\int$  não deve ser entendido como uma extensão do cálculo de integrais, mas como uma extensão de  $\sum$  ao mundo contínuo” (Tanaka, 1997).

Na etapa seguinte, foram geradas as *Funções de Consonância* – expressas pela forma geral da Equação 1 (Integral-*Fuzzy*) - que representa valores contínuos e fechados no intervalo  $[0, 1]$  de modo a que fossem atribuídos pertinências ou graus de certeza harmônicos e ponderados para cada especialista em relação aos demais especialistas em cada questão ou critério avaliado. Os valores são normalizados por meio dos picos de cada função.

$$f(x) = \int_{0,28}^{0,5} e^{-\frac{x^2}{r^2}} \left( 2 \frac{x}{r} + \frac{1}{r} \right) dx \quad \text{EQ. 1}$$

Onde:

$\sigma$  = desvio padrão;  
 $\kappa$  = média;  
 $x$  = valor atribuído pelo especialista.

- b) Definição da Variável de Saída e seus Rótulos – A VS, motivo da avaliação, é o ICSOP e seu grau apontará para a necessidade de intervenção na mesma. Seus termos lingüísticos são: *Muito Ruim, Ruim, Razoável, Bom e Muito Bom*.
- c) Estabelecimento dos Valores de Suporte – Os valores de suporte considerados correspondem ao intervalo numérico fechado entre 0 e 10. Segundo Pereira (*apud* Silva, 2004) a escala ordinal permite distinção entre atributos, reconhecendo ainda relações de igualdade/desigualdade e de ordem (>, <).
- d) Atribuição Numérica Subjetiva e Representação dos Conjuntos *Fuzzy* – Nesta etapa são atribuídos graus de pertinência, ou graus de certeza, ao intervalo numérico fechado [0, 10] – Figuras 2 e 3.

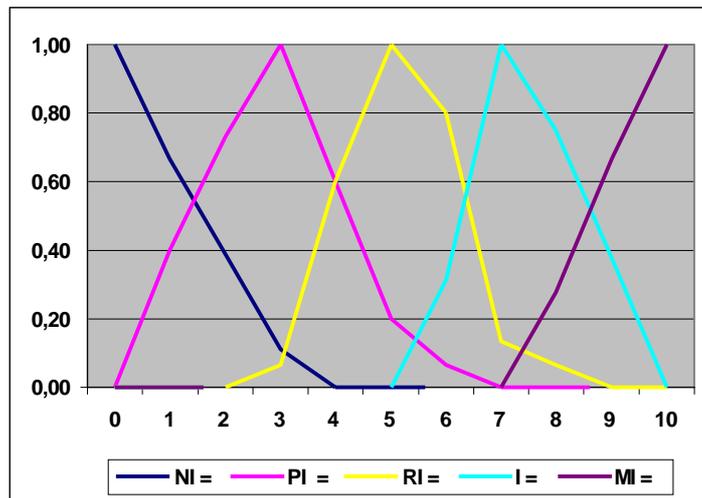


Figura 2: Atribuição de Especialistas

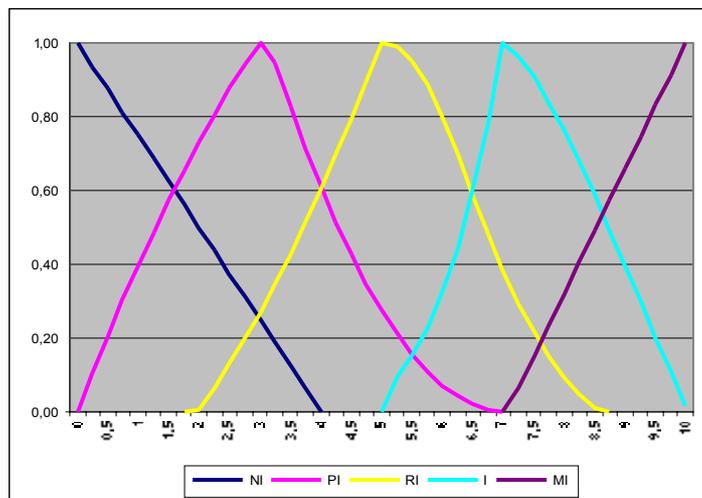


Figura 3: Aproximação para Funções de Pertinência Fuzzy

Com base nas respostas dos especialistas (Figura 2), são geradas as funções de pertinência para as Variáveis de Entrada e de Saída, conforme Figura 3 e Equações 2 a 6 (Integrais-Fuzzy).

$$\mu_{\alpha(NI)} = \begin{cases} \int_0^x 0,25x + 1 \cdot x \delta 4 \\ 0 & x > 4 \end{cases} \quad \text{EQ.2}$$

$$\mu_{\alpha(PI)} = \begin{cases} \int_0^x 0,032x^2 + 0,429x - 0,0002 \cdot x \delta 3 \\ \int_0^x 0,066x^2 - 0,929x + 3,27, & x > 3 \text{ e } x \delta 7 \\ 0 & , & x > 7 \end{cases} \quad \text{EQ.3}$$

$$\mu_{\alpha(RI)} = \begin{cases} 0 & x < 2 \\ \int_0^x \frac{0,033 + 0,1 \cdot 0,325 \cdot \epsilon^2 \cdot \delta}{x^2 \cdot x} \cdot e^x \\ \int_0^x \frac{0,36 - 0,0419x}{1,03 + 0,026 \cdot x^2} \cdot x \cdot e^x, & x > 5 \text{ e } x \delta 8,5 \\ 0 & x > 8,5 \end{cases} \quad \text{EQ.4}$$

$$\mu_{\alpha(I)} = \begin{cases} 0 & x < 5 \\ \int_0^x 0,031x^3 - 0,35x^2 + 1,291x - 1,52 \cdot x \epsilon 5 \text{ e } x \delta 7 \\ \int_0^x 0,35 + 0,716 \cos(0,55x + 2,84), & x > 7 \end{cases} \quad \text{EQ.5}$$

$$\mu_{\alpha(MI)} = \begin{cases} 0 & x < 7 \\ \int_0^x 0,34x - 2,4 \cdot x \epsilon 7 \end{cases} \quad \text{EQ.6}$$

e) Estabelecimento das Regras de Inferência – O sistema gera respostas (Rótulos de Saída) em função dos estímulos emitidos pelas variáveis de entrada. O sistema de inferência deste trabalho é constituído pelas integrais-fuzzy e tem por base os valores de suporte e o cálculo dos Graus de Pertinência e na operação de *defuzzificação*.

f) *Defuzzificação* - A *defuzzificação* é uma transformação inversa que traduz a saída do domínio *fuzzy* para o domínio *crisp* (real), onde o valor da variável lingüística de saída inferida pelas regras *fuzzy* é traduzido num valor discreto (Shaw e Simões, 1999). O cálculo é realizado com a aplicação da Equação 7:

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad \text{EQ. 7}$$

Onde:  $\alpha_i$  – Grau de Pertinência;  
 $Y_i$  – Valores de entrada de cada variável do modelo;  
 $i = 1.. n$ .

Para a definição dos rótulos do índice de Controle e Sinalização Operacional e Público do Sistema Metroferroviário (ICSOP) foram arbitrados os intervalos conforme Tabela 2:

Tabela 2: Valores do rótulo do ICSOP

Intervalo	Termo Linguístico
$C \leq 3,0$	Muito Ruim
$3,0 > C \leq 5,0$	Ruim
$5,0 > C \leq 7,0$	Razoável
$7,0 > C \leq 9,0$	Bom
$C > 9,0$	Muito Bom

## 5. Resultados

Os pesos apurados por meio das funções de consonância aplicadas aos valores atribuídos por cada especialista indicam a preocupação com os dispositivos responsáveis por garantir a segurança das operações de movimentação. O módulo avaliação de Sinalização e Controle nos Trens e Vias (SSC) obteve peso 0,89, enquanto que o de Sinalização e Controle nas Estações (SCS) e de Controle de Energia (SCE) obtiveram, respectivamente, pesos 0,67 e 0,33.

Assinalada como de maior relevância dentre as variáveis do módulo de Sinalização e Controle nos Trens e Vias (SSC) - peso 0,83 -, os Sistemas de Telecomunicação obtiveram nota 7,59 cuja classificação correspondente é “Bom” (Tabela 2). Com mesma classificação, os itens Identificação da Posição dos Trens na Linha, Alinhamento e Cancelamento de Rotas e Detecção da Condição de Trilhos Partidos tiveram, respectivamente, notas 8,35, 8,11 e 7,86. Já o aspecto Restrição de Velocidade merece maior cuidado e planejamento de ações de melhorias e/ou investimentos. Sua classificação foi “Razoável” com nota apurada de 6,98.

Os dispositivos destinados a facilitar a acessibilidade de usuários e definido como Sistema de Sinalização e Controle nas Estações (SCS) foi considerado “Razoável, tornado-o merecedor de análise e monitoramento. Verificou-se que os painéis de informação ao passageiro, iluminação, equipamentos de combate a incêndio, bilhetagem eletrônica e sistemas de telecomunicação, foram consideradas de bom desempenho, pois suas notas estiveram acima de (7,0) pontos. No caso do emprego dos equipamentos (escada rolantes, elevadores etc) direcionados ao auxílio de usuários portadores de algum tipo de deficiência e aos idosos, seu valor foi de (3,29) pontos, considerado “ruim”, e, assim, bastante preocupante.

Com relação ao baixo peso para a “bilhetagem eletrônica” e para o “sistema de telecomunicação”, nota-se um fato interessante, pois é contrário ao observado em países desenvolvidos, onde os atentados constantes por terroristas nos sistemas metroferroviários fazem com que tais tecnologias sejam, de certo modo, questionadas pela população (Fratini, 2004).

O SCE, responsável pelo suprimento de energia nas estações, trens e vias, obteve grau 8,17 e classificação “Bom”.

Neste estudo de caso pode ser dito que a avaliação das principais tecnologias empregadas no transporte público sobre trilhos, retratada pelo Índice de Controle e Sinalização Operacional e Público do Sistema Metroferroviário (ICSOP), cujo valor obtido foi 7,5, reforça a necessidade de implementação de ações que visem à melhoria da qualidade dos serviços prestados aos usuários e que tenham vistas à prevenção de riscos de acidentes/incidentes e/ou falhas na operação do sistema. As notas apuradas em cada módulo (7,79 para SSC, 8,17 e 6,76 para, respectivamente, SCS e SCE) são os instrumentos norteadores para o planejamento.

## **6. Conclusão**

Com o objetivo de subsidiar a tomada de decisão no planejamento e gerenciamento da operação do transporte metroferroviário no Brasil, foi apresentado modelo matemático de inteligência artificial construído a partir de uma abordagem analítica, heurística e no consenso de especialistas em transportes.

Entre as avaliações genéricas sobre o estudo, pode-se ressaltar que o modelo subsidia as autoridades governamentais e aquelas responsáveis pela gestão dos sistemas sobre trilhos. Sendo assim, este estudo mostrou que, em problemas complexos, é adequado o uso de técnicas de inteligência artificial, no caso, a técnica “Fuzzy”. Tal estudo também permitiu concluir que, avaliar as tecnologias atualmente empregadas no sistema metroferroviário, não é uma questão simples, principalmente no Brasil, pois há interdependência entre as unidades (i.e. sinalização e energia) e varia muito de empresa para empresa.

Devido à carência de estudos como o aqui apresentado e, principalmente, pela sua importância para o desenvolvimento urbano e do bem-estar social, recomenda-se a continuidade desta pesquisa, considerando outros tipos de variáveis para o modelo e, também, a busca de critérios para minimizar as variáveis subjetivas, transformando-as em objetivas, evitando assim, o protecionismo e dando maior confiabilidade ao método proposto.

## 7. Referências Bibliográficas

- ALOUICHE, P., 2003, **O futuro da tecnologia e operação no transporte sobre trilhos.** In: *Revista dos Transportes Públicos – ANTP*, Ano 25, 3º trimestre, pp. 139 – 150.
- ALOUICHE, P., 2001, **O desenvolvimento tecnológico em sistemas Metro – Ferroviário. Caso: Plano diretor de tecnologia do metrô de São Paulo.** In: *Revista dos Transportes Públicos – ANTP*, Ano 24, 4º trimestre, pp. 33 – 41. Disponível em [http://www.stm.sp.gov.br/artigos\\_tecnicos/208.pdf](http://www.stm.sp.gov.br/artigos_tecnicos/208.pdf). Capturado em 26/06/2003, São Paulo, 2001.
- ASSMANN, P., 2004, **Memória de um tempo: O Metrô de São Paulo.** In.: *Revista dos Transportes Públicos*, Ano 26, 2º trimestre, pp. 121-122.
- BRAGA, Mário J. F., Barreto, Jorge M. e Machado, Maria A. S., 1995, **Conceitos da Matemática Nebulosa na Análise de Risco.** Artes e Rabiskus, Rio de Janeiro.
- FRATINI, W., 2004, **Gestão de Riscos nas Operadoras Metroferroviárias.** In: *V Seminário Metroferroviário*, ANTP, 28 de abril.
- IGNACCOLO, Matteo e INTURRI, Giuseppe, 2000, **A Fuzzy Approach to Overbooking in Air Transportation.** In: *Journal of Air Transportation World Wide*, Vol. 5, Nº 2.
- KACZMARECK, M., 2005, Fuzzy group model of traffic flow en street networks. In.: *Transport Research*, Part C, pp.93 – 105. Arquivo disponível em [www.elsevier.com/locate/trc](http://www.elsevier.com/locate/trc) e capturado em 13/07/2005.
- RAT, H., 2002, **A visão da UITP.** In: *palestra de abertura da 7ª Semana de Tecnologia Metroferroviária*, *Revista dos Transportes Públicos*, Ano 24, 1º Trim., nº 94, pp. 103 – 110.
- Revista Informação, 2004. **A biometria é a senha.** pp.64 a 69.
- Revista Ferroviária, 2004, **MRS renova toda a sinalização.** pp. 26, Ano 65.
- Revista Ferroviária, 2001, **De Bem com a Natureza.** pp.30 e 31, Rio de Janeiro
- SHAW, Ian S., SIMÕES, Marcelo Godoy, 1999, **Controle e Modelagem Fuzzy.** 1ª ed. Edgard Blücher-FAPESP, São Paulo.
- SILVA, Vladinir L; MAIA, André D.; BALASSIANO, Ronaldo; SANTOS, Márcio, 2004, “Uma contribuição ao gerenciamento da mobilidade: Modelo Integral-Fuzzy para avaliação de intervenções em vias urbanas”. *Revista Cetrama*, número 1, volume 2, semestral, pp. 25 – 30, 20004.
- SMITH, R. **Railway Technology – The Last 50 Years and Future Prospects**, Japan Railway & Transport Review, p.16, Japão, junho 2001.
- TANAKA, Kazuo, 1997, *An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications.* New York: Springer-Verlag.

ZADEH, Lofti Asdek et al (1995) Fuzzy Sets and their Applications to Cognitive and Decision Process. Academic Press, New York.

Sites da Internet:

[www.metropla.net](http://www.metropla.net) – Site dos Metrô do Mundo. Acesso em 10/08/2005

[www.metro.sp.gov.br](http://www.metro.sp.gov.br) – Site do Metrô de São Paulo. Acesso em 18/08/2005

[www.metrofor.ce.gov.br](http://www.metrofor.ce.gov.br) – Site do Metrô de Fortaleza. Acesso em 12/08/2005

## Apêndice

### Banco de Dados

Tabela A.1: Avaliação dos entrevistados quanto aos itens analisados

Nº entrevistados	Quest 1	Quest 2	Quest 3	Quest 4	Quest5	Quest 6	Quest 7	Quest 8	Quest 9	Quest 10	Quest 11
1	9	8	7	7	8	6	6	6	2	6	4
2	10	8	8	7	8	9	8	8	6	7	7
3	3	5	3	2	3	2	2	4	0	1	2
4	10	10	10	10	8	7	7	8	4	8	7
5	7	8	7	8	9	8	9	7	7	9	9
6	10	8	10	4	9	10	9	10	10	10	9
7	10	9	8	10	10	10	8	8	10	10	10
8	7	8	6	7	8	8	9	7	3	6	7
9	8	7	5	7	7	6	8	6	3	7	8
10	9	8	6	8	7	7	7	7	2	8	9
11	7	8	5	8	5	7	5	8	4	8	7
12	7	9	7	7	6	6	7	8	1	10	9
13	8	7	8	10	5	5	5	6	3	10	8
14	7	8	7	9	7	8	6	7	3	7	6
15	9	7	6	8	8	9	7	9	2	6	8
16	8	8	7	9	9	8	8	10	2	7	7
17	8	9	8	7	8	10	6	8	4	8	8
18	9	10	7	8	8	9	7	9	4	7	9

Tabela A.2: Pesos fornecidos pelos entrevistados de acordo com os itens analisados.

Entrevistados	Quest 1	Quest 2	Quest 3	Quest 4	Quest 5	SCF	SCF	Quest 6	Quest 7	Quest 8	Quest 9	Quest 10	Quest 11	SN
1	M	M	M	I	M	M	I	M	M	M	I	M	I	M
2	M	M	I	I	I	M	I	I	I	M	I	I	I	I
3	M	R	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
4	M	M	M	M	M	M	M	I	I	M	M	I	I	I
5	M	M	I	I	I	M	I	M	M	I	M	I	R	I
6	I	I	I	R	M	M	R	I	I	M	I	I	R	M
7	M	M	M	M	M	M	I	M	M	M	I	I	M	M
8	M	M	M	M	M	I	I	M	M	M	M	M	I	M
9	M	M	M	I	M	M	I	M	M	M	M	I	R	M
10	I	M	M	I	M	M	M	M	M	I	M	I	R	I
11	M	I	M	R	M	M	I	I	M	M	M	M	I	M
12	M	M	I	M	M	M	M	I	M	I	M	M	I	I
13	I	I	M	M	IM	M	M	M	M	M	I	I	I	M
14	I	M	M	M	IM	M	M	M	I	M	M	I	I	M
15	M	M	M	I	M	I	I	I	M	M	M	I	M	I
16	M	M	I	M	I	M	R	M	M	M	I	M	I	M
17	M	I	I	M	M	M	I	M	M	M	M	M	M	M
18	M	M	M	M	M	M	I	M	M	M	M	M	I	M