

MODELO BASEADO EM NÚMEROS *FUZZY* PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

Roberto Jefferson da Silva Santos

Departamento de Administração – Faculdade Leão Sampaio
Avenida Padre Cícero, 2830 – Triângulo – 63041-140 – Juazeiro do Norte, CE.
producaorj@yahoo.com.br

Márcia Pitangueira Tavares

Rede Ferroviária Federal S.A. – RFFSA
Praça Procópio Ferreira, 86/225 – Centro – 20221-030 – Rio de Janeiro, RJ.
mptavime@yahoo.com.br

Ricardo Tanscheit

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio
C.P. 38.063 – 22452-970 Rio de Janeiro, RJ.
ricardo@ele.puc-rio.br

Resumo

Os órgãos gestores do setor de transporte público urbano de passageiros de ônibus têm mostrado uma preocupação crescente em proporcionar um melhor serviço no que se refere à produtividade e à qualidade de vida dos passageiros e, para tanto, buscam avaliar o grau de satisfação destes com o serviço oferecido. O presente trabalho tem por finalidade apresentar um método, baseado nos conceitos de Conjuntos *Fuzzy* e de Números *Fuzzy*, que facilite o processo de avaliação da qualidade do setor de transportes públicos urbanos e que forneça uma medida do grau de satisfação dos usuários.

Palavras-Chaves: avaliação, transporte público urbano, conjuntos *fuzzy*.

Abstract

Urban public transport agencies have been increasingly concerned with productivity and with bus passengers' quality of life. Therefore, they try to evaluate passengers' satisfaction with the service offered. This work presents a method, based on the concepts of Fuzzy sets and Fuzzy Numbers, that enables an easy assessment of quality in urban public transport and that provides a measure of passenger's satisfaction with the service.

Keywords: evaluation, urban public transport, fuzzy sets.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de transporte por ônibus, no Brasil, não só representa a maior parcela de passageiros transportados como é quase exclusivamente operado pela iniciativa privada (COSTA et al, 2001).

A necessidade de avaliação pelo órgão gestor da qualidade dos serviços ofertados pelas operadoras faz-se necessário para tornar o setor competitivo e auto-sustentável, disponibilizando serviços satisfatórios aos passageiros, eficiência operacional e custos compatíveis com a atual realidade econômica consequentemente agregando valor ao serviço prestado e possibilitando o aumento da produtividade.

O transporte urbano, além de afetar diretamente a qualidade de vida das pessoas, afeta também, indiretamente, a produtividade dos diversos setores econômicos e, consequentemente, a relação preço-qualidade-quantidade dos bens e serviços produzidos. Para um trabalhador residente em uma região onde o sistema de transporte é precário, um tempo de

deslocamento superior a 40 minutos ocasiona uma redução da produtividade na ordem de 3% a 4 % para cada 10 minutos adicionais, conseqüentemente implicando em perdas econômicas (FERNANDES, 1999). Além disso, qualidade e produtividade são faces da mesma moeda e variam diretamente uma com a outra (SASSER, HESKETT e HART, 1994).

Uma tarefa árdua e muitas vezes conflitante para um órgão gestor de transporte público urbano de pessoas por ônibus é a avaliação dos atributos que são utilizados na gestão da qualidade. Observa-se, geralmente, um caráter qualitativo, uma imprecisão e uma ambigüidade nas respostas de seres humanos. Dados esses aspectos, decidiu-se criar um modelo baseado na teoria dos conjuntos fuzzy, pois o ferramental por ela proporcionado é adequado à avaliação de contextos qualitativos e ao tratamento de ambigüidades (ZADEH, 1965; ZIMMERMANN, 1998; BRAGA, 1995). Observe-se que os órgãos gestores não dispõem, atualmente, de uma ferramenta que avalie os atributos da qualidade com termos lingüísticos e que possibilite hierarquizá-los.

2. CONJUNTOS FUZZY

A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* trata de um tipo de imprecisão que se origina de um agrupamento de elementos em classes que não têm limites nitidamente definidos (SOUZA, 2001, GOUDARD, 2001). Distinguem-se três tipos de inexatidão: generalidade, quando um conceito é aplicado a uma variedade de situações; ambigüidade, quando existe mais de um conceito distinguível; e incerteza, quando não existem definidos limites precisos. Todos os três tipos são representados por um conjunto *fuzzy*: generalidade acontece quando o universo não é só um ponto; ambigüidade acontece quando há mais de um máximo local de uma função de pertinência; e incerteza acontece quando as funções assumem valores que não apenas 0 e 1” (KANDEL, 1986).

Na teoria clássica dos conjuntos, o conceito de pertinência de um elemento a um conjunto fica bem definido. Dado um conjunto A em um universo X , os elementos deste universo simplesmente pertencem ou não pertencem àquele conjunto. Isto pode ser expresso pela função característica f_A :

$$f_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se e somente se } x \in A \\ 0 & \text{se e somente se } x \notin A \end{cases}$$

ZADEH (1965) propôs uma caracterização mais ampla, generalizando a função característica de modo que ela pudesse assumir um número infinito de valores no intervalo $[0,1]$. Um conjunto *fuzzy* A em um universo X é definido por uma função de pertinência $\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1]$, e representado por um conjunto de pares ordenados.

$$A = \{\mu_A(x)/x\} \quad x \in X$$

Onde $\mu_A(x)$ indica o quanto x é compatível com o conjunto A . Um determinado elemento pode pertencer a mais de um conjunto *fuzzy*, com diferentes graus de pertinência.

3. NÚMEROS FUZZY

Números *fuzzy* são casos especiais de conjuntos *fuzzy* – convexos e com função de pertinência contínua – e muito úteis para representar valores aproximados e para modelar parâmetros baseados em informações incompletas e imprecisas. Os números *fuzzy* triangulares são os mais utilizados em aplicações. A Equação 1 representa a função de pertinência de um número *fuzzy* triangular mostrado na Figura 1. O parâmetro c representa o valor no universo que corresponde ao grau de pertinência máximo e os parâmetros a e b representam o limite

inferior e superior do número fuzzy; GdP expressa o grau de pertinência.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{c-a} & \text{se } a \leq x \leq c \\ \frac{b-x}{b-c} & \text{se } c < x \leq b \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad \text{Equação 1}$$

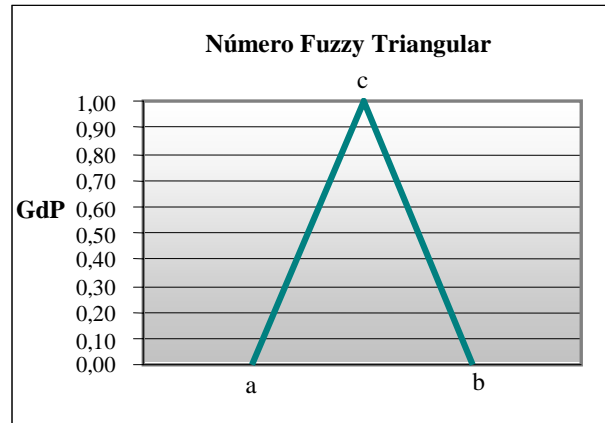


Figura 1 – Número *fuzzy* triangular

4. MODELO PARA AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS DA QUALIDADE DO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

Um ponto crítico para gerenciamento da qualidade no transporte público urbano de pessoas por ônibus é a aproximação dos diferentes interesses dos passageiros. De modo a resolver esta questão, o procedimento de avaliação foi estruturado em 5 passos:

1. Definição das variáveis de entrada: mediante levantamento bibliográfico, devem ser definidos quais atributos da qualidade para transporte público urbano alimentarão o questionário;
2. Aplicação de questionário: determinação, com auxílio de questionário, do grau de satisfação de cada entrevistado;
3. Coleta de dados a partir dos questionários aplicados para tabulação (na ferramenta Excel): transposição das respostas dos entrevistados, de forma tabular, para o aplicativo Excel;
4. Desenvolvimento dos conjuntos *fuzzy* a partir de uma escala Likert: construção das funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* a partir das opiniões coletadas. A construção dos conjuntos *fuzzy* é baseada na obtenção do conhecimento dos especialistas ou usuários de um projeto. Estudos realizados por Zadeh (BRAGA; 1995) concluíram que são necessárias as opiniões de 15 a 20 especialistas, uma vez que ocorre uma estabilização dos valores atribuídos aos graus de pertinência quando se consideram mais de 20. Estendendo as conclusões de Zadeh para os usuários de um projeto e considerando a teoria estatística para grandes amostras, uma amostra com mais de 30 pessoas pode estabilizar os graus de pertinência (CURY, 1999). Quanto às formas das funções pertinência, as triangulares apresentam grande simplicidade e proporcionam bons resultados (CHANG *et al.*, 2004; OLIVEIRA e BELCHIOR, 2002; KAHRAMAN *et al.*, 1995);
5. Conceituação de cada atributo: relacionada ao termo lingüístico adotado na pesquisa.

4.1. ATRIBUTOS DE QUALIDADE

Para esse modelo foram identificados 10 atributos relacionados à qualidade do serviço de transporte público urbano de passageiros por ônibus, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Atributos da qualidade do transporte público urbano de passageiros por ônibus

Atributo	Descrição
1. Disponibilidade	existência de veículos circulando em quantidade suficiente para atender as necessidades de uma região abrangida pelo sistema de transporte.
2. Acessibilidade	distância percorrida pelo cliente e comodidade experimentada durante o percurso
3. Informação	disponibilidade de informação sobre a programação das viagens (roteiros, pontos de parada, condições de tráfego, horários, etc).
4. Rapidez	tempo de duração de uma viagem entre os pontos de origem e destino.
5. Tratamento	cuidados e formas de expressão dispensados aos clientes pelos funcionários das empresas transportadoras.
6. Conforto	sensação de bem-estar nos pontos de parada, estações, terminais de embarque/desembarque ou durante as viagens.
7. Confiabilidade	grau de certeza dos clientes de que o veículo irá passar na origem e chegar ao destino da viagem no horário previsto.
8. Segurança	acidentes e incidentes com os veículos e aos atos de violência (roubos, agressões, etc.) no seu interior e nos pontos de parada, estações e terminais.
9. Impacto ambiental	efeitos danosos ao meio ambiente e à população, causados pelos elementos poluidores (fuligem, barulho, vibração, etc.) emitidos pelos veículos.
10. Modicidade	valor (tarifa) que os clientes pagam para realizar uma viagem, sem prejuízo econômico das empresas transportadoras.

4.2. ESCALA LIKERT

Na concepção de uma escala de medida para um fenômeno qualitativo a representação numérica deve sugerir as manifestações esperadas do objeto de estudo (PEREIRA, 2001). Likert, em 1932, propôs uma escala ordinal de cinco pontos – com um ponto médio para registro da manifestação de situação intermediária, de indiferença ou de nulidade – do tipo “ótimo”, “bom”, “regular”, “ruim” e “péssimo”.

Essa escala tornou-se um paradigma da mensuração qualitativa e desde então tem sido largamente aplicada, quer na forma original quer em adaptações para diferentes objetos de estudo. Um exemplo de aplicação (BOLOGNESE *et al.*, 2003) considerou uma escala Likert de 5 pontos – variando de 0 a 4 – para medir a eficácia da osteodistrofia e para tratamento dos dados obtidos através de questionários.

No presente trabalho, os passageiros foram instados a expressar seu nível de satisfação em relação a cada um dos atributos através de graus de 0 a 4, correspondendo respectivamente aos conceitos de ótimo (expressa o melhor possível); bom (expressa algo relacionado a suficiente); regular (expressa algo que poderia se melhor); pouco (expressa algo relacionado a insuficiente) e péssimo (não possui nenhuma boa característica).

4.3. REPRESENTAÇÃO POR NÚMEROS FUZZY

Na Tabela 2 tem-se a representação da variável lingüística *satisfação* com seus termos lingüísticos e os parâmetros *a*, *b* e *c* dos números *fuzzy* triangulares que correspondem a cada um desses termos.

Tabela 2 – Termos lingüísticos e números *fuzzy* triangulares para avaliação dos atributos

Variável lingüística	Termo lingüístico	Escala Likert	a	c	b
Satisfação	Ótimo	4	3	4	4
	Bom	3	2	3	4
	Regular	2	1	2	3
	Ruim	1	0	1	2
	Péssimo	0	0	0	1

Dentre os vários métodos para agregar as opiniões individuais (BUCKLEY, 1984), neste trabalho utilizar-se-á a média (Equação 2). Assim, para cada um dos parâmetros que definem o número *fuzzy*, faz-se o seguinte cálculo:

$$a_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} / n; \quad c_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} / n; \quad b_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} / n; \quad (\text{Equação 2})$$

onde:

$i \rightarrow$ termo lingüístico;

$j \rightarrow$ pessoas;

$n \rightarrow$ número de pessoas entrevistadas;

$a_{ij}, b_{ij}, c_{ij} \rightarrow$ valores dos parâmetros que definem o número *fuzzy* relacionados ao termo lingüístico i para uma pessoa j ;

4.4. ORDENAMENTO FUZZY

Aos usuários de ônibus foi solicitado que atribuíssem um grau de 0 a 4 (escala de Likert) a cada um dos atributos utilizados para a avaliação da qualidade do serviço oferecido. As Tabelas 3 e 4 expressam os resultados obtidos mediante a aplicação do questionário a 30 passageiros.

A partir dos dados das tabelas, e utilizando-se a correspondência entre a escala Likert e os números *fuzzy* definidos na Tabela 2, faz-se, para cada parâmetro a , b e c , o cálculo da média (Equação 2). Conforme mencionado na seção 4.3, isto corresponde à agregação das opiniões dos usuários. Este procedimento também pode ser visto como o cálculo da média dos números *fuzzy*, que, para o caso de números triangulares, equivale a se obter a média de cada um dos parâmetros dos vértices. Os resultados deste procedimento estão expressos na Tabela 5 e mostrados graficamente na Figura 2. O grau de pertinência máximo (GdP) de cada número *fuzzy* (coluna 5 da Tabela 5) é obtidos simplesmente pela divisão do valor de c pelo valor máximo possível (4,0).

Tabela 3 – Dados obtidos por meio de questionários (primeiras 15 pessoas)

Atributos	Avaliação dos atributos pelos passageiros														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 Disponibilidade	3	2	2	4	4	1	4	2	2	3	4	3	3	4	4
2 Acessibilidade	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	2	2	0
3 Informação	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	2	2	1	2	1
4 Rapidez	2	2	3	3	4	4	3	4	4	3	3	4	3	4	3

5	Tratamento	1	1	0	2	1	0	1	1	0	1	1	2	1	1
6	Conforto	2	1	0	1	2	1	2	3	1	1	2	2	3	2
7	Confiabilidade	3	3	4	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	3
8	Segurança	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	3	4	4	4
9	Impacto ambiental	3	1	2	2	2	3	0	2	0	3	1	0	0	1
10	Modicidade	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Tabela 4 – Dados obtidos por meio de questionários (15 pessoas restantes)

Atributos	Avaliação dos atributos pelos passageiros															
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	Disponibilidade	4	3	3	4	4	3	4	2	3	3	3	3	3	4	3
2	Acessibilidade	2	1	2	1	4	3	0	3	1	2	0	1	2	1	1
3	Informação	2	0	1	0	4	1	0	2	3	1	0	2	0	0	2
4	Rapidez	2	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	3	3	4
5	Tratamento	2	1	2	1	4	2	2	0	0	0	1	1	2	2	2
6	Conforto	3	2	2	2	3	2	3	3	2	1	3	3	2	3	3
7	Confiabilidade	4	4	4	4	3	4	3	2	4	3	3	3	2	4	3
8	Segurança	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4
9	Impacto ambiental	1	2	3	0	2	2	3	2	1	2	3	1	0	3	2
10	Modicidade	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Tabela 5 – Números *fuzzy* triangulares, graus de pertinência e respectivos termos lingüísticos

Atributo	Número <i>fuzzy</i>			GdP	Termo lingüístico
	a	c	b		
1	2,13	3,13	3,77	0,78	Bom
2	0,43	1,20	2,17	0,30	Ruim
3	0,40	0,97	1,93	0,24	Ruim
4	2,43	3,43	3,90	0,86	Bom
5	0,40	1,20	2,17	0,30	Ruim
6	1,10	2,07	3,07	0,52	Regular
7	2,33	3,33	3,93	0,83	Bom
8	2,87	3,87	4,00	0,97	Ótimo
9	0,83	1,63	2,63	0,41	Regular
10	2,97	3,97	4,00	0,99	Ótimo

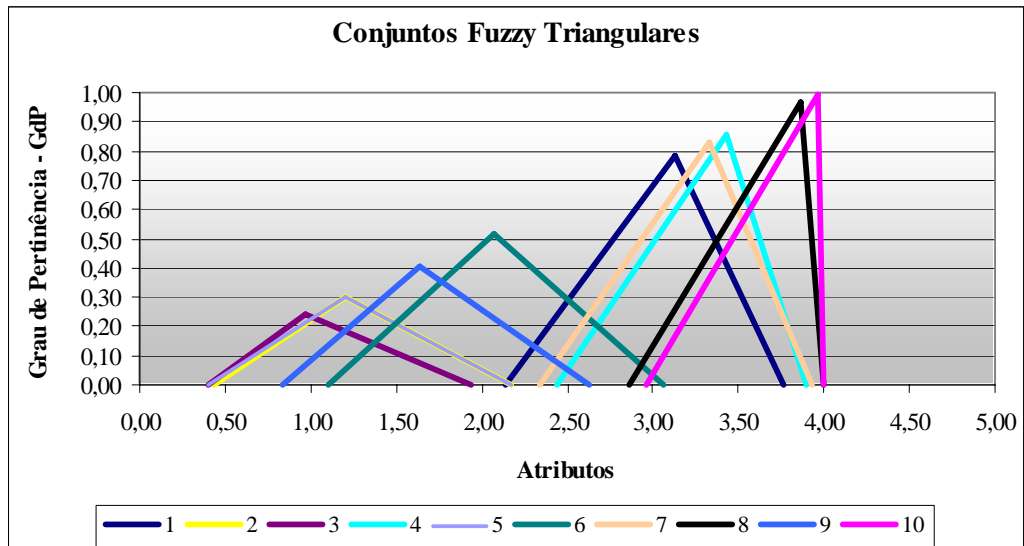


Figura 2 – Números *fuzzy* triangulares dos atributos

Os números *fuzzy* da Figura 2 não são, evidentemente, os mesmos que aparecem na Tabela 2, de forma que não há termos lingüísticos a eles correspondentes. Para fazer corresponder termos lingüísticos aos números *fuzzy* obtidos mediante o cálculo da média (agregação de opiniões), deve-se verificar sua *proximidade* com aqueles da Tabela 2. Uma maneira de se resolver o problema é considerar os graus máximos de pertinência (GdPs) e verificar, para cada intervalo especificado pelos parâmetros *a*, *b* e *c* da Tabela 5, em que números *fuzzy* da Tabela 2 eles se enquadram. Este procedimento pode falhar se alguns dos GdPs não se enquadrarem nos domínios desses números *fuzzy*. Uma outra maneira simples e eficaz de se avaliar esta proximidade consiste em arredondar os parâmetros *a*, *b* e *c* para o inteiro mais próximo, o que proporciona a identificação do número *fuzzy* resultante com os termos lingüísticos da Tabela 2, conforme expresso na última coluna da Tabela 5.

De posse dos resultados da Tabela 5, é possível estabelecer uma hierarquia dos atributos avaliados. Isto é efetuado tomando-se por base o parâmetro *c*, que corresponde ao o maior grau de pertinência. A Figura 3 apresenta a hierarquia dos atributos e os termos lingüísticos relacionados à avaliação.

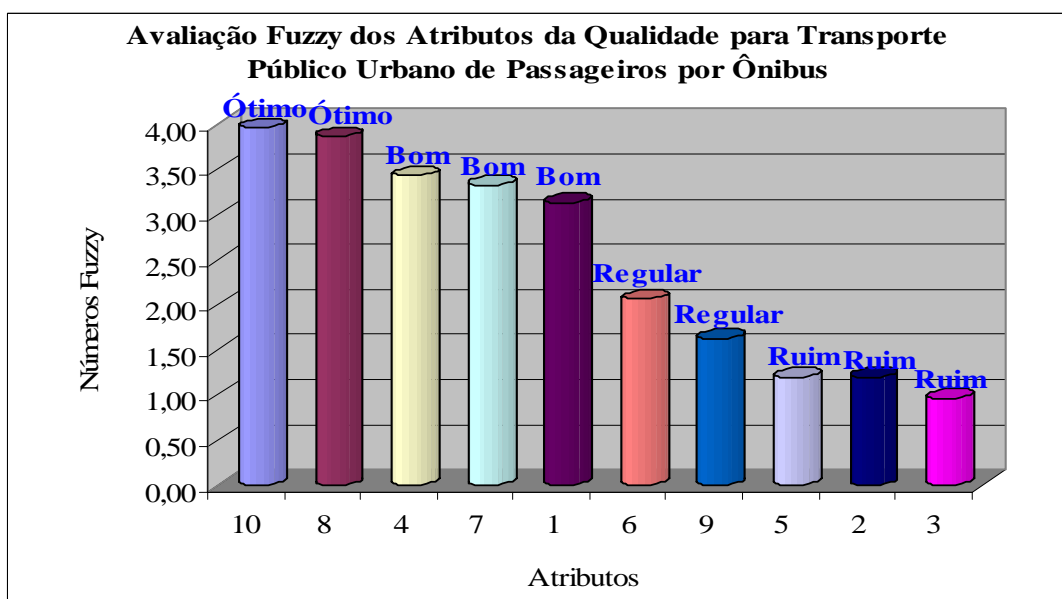


Figura 3 – Hierarquização dos atributos da qualidade

5. CONCLUSÕES

Em função da grande importância econômica e social que o sistema de transporte público urbano de passageiros por ônibus apresenta e da necessidade de gerenciamento de sua qualidade pelo órgão gestor, é importante avaliar o grau de satisfação dos usuários com o serviço oferecido. Para isto foi desenvolvido um modelo baseado na teoria dos conjuntos *fuzzy* e nos conceitos de números *fuzzy* que procura agregar as opiniões dos passageiros, constituindo-se em uma ferramenta eficaz para a gestão da qualidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BOLOGNESE, J. A., SCHNITZER, T. J., EHRICH, E. W., Response relationship of VAS and Likert scales in osteoarthritis efficacy measurement, *Osteoarthritis and Cartilage*, Volume 11, edição 7, pp 499-507, July 2003.
- [2] BRAGA, Mario Jorge, BARRETO, Jorge Muniz, MACHADO, Maria Augusta Soares, *Conceitos de matemática nebulosa na análise de riscos*. Rio de Janeiro: Artes & Rabiskus, 1995.
- [3] BUCKLEY, J. J., The multiple judge, multiple criteria ranking problem: a fuzzy set approach, *Fuzzy sets and systems*, 13, 1984, pp 25-37.
- [4] CHANG, Hung-Chi, YAO, Jing-Shing, OUYANG, Liang-Yuh, Fuzzy mixture inventory model with variable lead-time based on probabilistic fuzzy set and triangular fuzzy numbe, *Mathematical and Computer Modelling*, Volume 39, Edição 2-3, pp 287-304, Janeiro de 2004.
- [5] COSTA, M., B., LINDAU, L., SOUSA, F., B., B., FOGLIATTO, F., Estudo comparativo entre empresas de ônibus utilizando AHP: o caso das empresas de consorciadas de Porto Alegre, *Transporte em Transformação VI – Trabalhos Vencedores do Prêmio CNT Produção Acadêmica 2001*.
- [6] CURY, M. Q., Modelo heurístico neuro-fuzzy para avaliação humanística de projetos de transporte urbano, Tese de doutorado, UFRJ, Pós-graduação em Engenharia de Produção, 1999 (março).
- [7] FERNANDES, F. S., Avaliação da qualidade do serviço de transporte coletivo urbano: uma abordagem humana exploratória, Tese de Doutorado, COPPE / UFRJ, Programa de Engenharia de Transportes, 1999.
- [8] GOUDARD, B., Avaliação ambiental de alternativas de projetos de transporte rodoviário com o uso da lógica *fuzzy*, Dissertação de mestrado, Instituto Militar de Engenharia – IME, 2001.
- [9] KANDEL, A., *Fuzzy mathematical techniques with applications*. Addison –Wesley Publishing. Co., USA, 1986.
- [10] KAHRAMAN, C., TOLGA, E., ULUKAN, Z., Using triangular *fuzzy* numbers in the tests of control charts for unnatural patterns, *Emerging Technologies and Factory Automation – ETFA/ IEEE*, Volume 3 , pp 291 – 298, 1995.
- [11] OLIVEIRA, K. R., BELCHIOR, A. D., Adequas: ferramenta *fuzzy* para avaliação da qualidade de software, I Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software – SBQS, Gramado - Rio Grande do Sul - Brasil Outubro, 2002.
- [12] PEREIRA, J. C. R., *Análise de dados qualitativos: estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humanas e sociais*, 3º edição, São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

- [13] SASSER JR, W. E., HART, C. W. L., HESKETT, J. L., Serviços revolucionários mudando as regras do jogo competitivo, Thomson Pioneira, 1ª Edição – 1994.
- [14] SOUZA, H. H. H., Avaliação do desempenho de sistemas de transporte público urbano sob a ótica da eficácia, Dissertação de mestrado, Instituto Militar de Engenharia – IME, 2001.
- [15] ZADEH, L. A., Fuzzy sets, Information and control, volume 8, número 3, 338 – 353, junho de 1965.
- [16] ZIMMERMANN, H. J., Fuzzy set theory and its application. Kluwer-Nijhoff publishing, Boston –Dordrecht – Lancaster, USA, 1988.