

DESEMPENHO AMBIENTAL DOS SISTEMAS DE TRANSPORTES PÚBLICOS URBANOS

M. C. F. de Sinay e G. K. A. Alves

RESUMO

Os serviços de transportes públicos urbanos são prestados, na maioria dos grandes centros brasileiros, por operadoras que tiveram estes serviços concedidos pelos respectivos órgãos públicos. Cabe a estes a fiscalização para que esses serviços sejam realizados de acordo com o estipulado no ato da concessão e é de interesse das operadoras prestar este serviço em consonância com a legislação vigente do setor a fim de não sofrer atuações legais que vão desde multas pecuniárias de valores diversos até a perda do serviço concedido.

O objetivo deste trabalho é o de apresentar um procedimento para obtenção de um índice de sustentabilidade ambiental associado ao serviço de transporte público urbano. Este índice pode ser usado tanto pelas operadoras dos serviços para detectar e ajustar os aspectos que provocam externalidades negativas quanto pelos órgãos públicos pela simplificação e sistematização do processo de fiscalização.

1 INTRODUÇÃO

Ao mesmo tempo em que o processo desorganizado de urbanização se instalou nos centros urbanos brasileiros como consequência da migração dos trabalhadores rurais em busca de melhores oportunidades de vida, a infra-estrutura urbana foi pressionada e marcada pela insuficiência ou deficiência dos transportes para o atendimento dos usuários, visto que este serviço não acompanhou, nem acompanha atualmente, o crescimento da população.

O modelo de desenvolvimento econômico adotado no Brasil, iniciado em meados da década de 60 e baseado no crescimento da indústria automobilística, impôs ao país uma cultura rodoviarista, segundo a qual ficou concentrada no modo rodoviário a responsabilidade de propiciar a mobilidade urbana.

Sem dúvida os transportes públicos urbanos auxiliam no desenvolvimento e no progresso das cidades, entretanto, suas atividades provocam uma série de impactos ambientais negativos, como falta de segurança e de conforto, poluições sonora e atmosférica, perda de espécies verdes e aumento dos tempos de viagens.

Estas externalidades nos casos de planejamentos e fiscalização deficientes que permitem sobreposição de linhas de ônibus, ajudam a formar passivos ambientais cuja recuperação é imputada às operadoras dos serviços conforme estabelecido na lei dos Crimes Ambientais, nº 9.605 de 1998, que prevê multas consideráveis aos responsáveis pela deterioração do meio ambiente.

Aos governos cabem os planejamentos e as políticas dos transportes que incluem a concessão das linhas e seus “traçados”. Às agências fiscalizadoras cabe a obrigação de verificar o conforto, o respeito e a segurança que estão sendo oferecidos aos usuários tanto nos veículos quanto nos pontos de parada, assim como a avaliação do arcabouço físico da linha. Aos operadores das linhas cabe a obrigação de atender as questões impostas pelos governos investindo na manutenção dos veículos e na educação dos motoristas quanto ao tratamento dado aos usuários, principalmente àqueles com necessidades especiais. Os usuários e a população do entorno devem dar apoio aos órgãos fiscalizadores, relatando fatos indesejados em canais de comunicação eficientes abertos para tais fins.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é o de apresentar um procedimento para obtenção de um índice de sustentabilidade ambiental associado ao serviço de transporte público urbano, útil para as operadoras para verificar seus problemas operacionais quanto para os órgãos públicos nos seus processos de fiscalização e controle do serviço.

Para atingir este objetivo, após a caracterização de indicadores ambientais relacionados à frota, ao serviço, aos pontos de paradas e a terminais associados às linhas, os mesmos são representados através de uma arquitetura neural que inclui parâmetros de naturezas quantitativa e qualitativa onde a lógica *fuzzy* aparece como a técnica indicada para resolver o problema. Um estudo de caso numa linha de ônibus que circula na cidade do Rio de Janeiro, Brasil, é desenvolvido para ajudar no entendimento da construção dos conjuntos *fuzzy*.

Este trabalho está direcionado aos transportes públicos por ônibus, que é hoje em dia o principal meio de transporte público urbano de passageiros no Brasil: mais de 550 milhões de passageiros por mês com uma frota de cerca de 110 mil veículos, que percorre aproximadamente 280 milhões de km (ANTP, 2004).

3 O TRANSPORTE URBANO E O MEIO AMBIENTE

De acordo com diversos autores como McGean (1976) e Vuchic (1981) *apud* d’Agosto (1999), os componentes de um sistema de transporte urbano são: vias, veículos, terminais e sistemas de controle. Outros autores incluem motoristas e o ambiente onde os deslocamentos ocorrem. Cada um destes componentes pelas suas peculiaridades e limitações, faz com que os deslocamentos tenham características diferentes.

Em relação às vias, fatores que influenciam os deslocamentos são as características físicas e o estado de manutenção, bem como o tipo de revestimento e a largura das faixas. Em relação aos veículos, tem-se a idade, a manutenção, as dimensões, o peso e a potência dos mesmos e sua adequabilidade ao itinerário. No que se relaciona aos terminais, estações e paradas, dentre os fatores que podem influenciar os deslocamentos incluem-se suas dimensões, localizações e tipos de construção. Os dispositivos de controle influenciam os deslocamentos segundo a tecnologia, a manutenção e a localização dos mesmos. Do ponto de vista dos motoristas, podem ser citados idade, condições física e psíquica, grau de educação, capacidade de atenção, visão, audição, além dos fatores modificadores do comportamento humano, como o uso de álcool, medicamentos e drogas. E em relação ao ambiente as características climáticas e de luminosidade e o comportamento dos pedestres, podem influenciar os deslocamentos.

De acordo com a literatura técnica relacionada ao assunto, são diversos os impactos ambientais negativos decorrentes dos deslocamentos realizados pelos transportes. Os mais mencionados são as poluições do ar, do solo e da água, ruídos e vibrações, congestionamentos, acidentes, impactos visuais e segregação da malha urbana, destruição de construções importantes, de áreas verdes e redução do valor das propriedades (FOGLIATTI et al, 2004). Para estes impactos, quando não podem ser eliminados, medidas mitigadoras devem ser colocadas em prática e controladas de forma a verificar a efetividade das mesmas. Estas medidas são de grande utilidade para evitar que os componentes modificados passem a constituir passivo ambiental.

Os passivos ambientais são obrigações da operadora do serviço contraídas voluntária ou involuntariamente, em decorrência de ações passadas ou presentes, e que exigem a entrega de ativos ou a realização de serviços de controle, preservação e recuperação (PAIVA, 2004).

4 PROPOSTA PARA CÁLCULO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL ASSOCIADO AOS SISTEMAS DE TRANSPORTES PÚBLICOS URBANOS POR ÔNIBUS

Os impactos ambientais negativos associados às atividades de um sistema de transporte público urbano por ônibus podem ser integrados de forma a constituírem indicadores. Pode ser observado que algum destes, quais sejam, idade média da frota, consumo médio de combustível em litro por passageiro por quilômetro, número de programas de manutenção e regulagem do motor e exaustor aplicados aos veículos por mês, número de programas de educação dos motoristas para melhor se relacionarem com os usuários disponibilizados pela empresa por mês, conforto (medido em espaço disponível no vão central do ônibus por passageiro), número de equipamentos de segurança presentes nos veículos, número de equipamentos disponíveis nos veículos e que auxiliam aos portadores de necessidades especiais, frequência da linha, tempo das viagens, tarifa cobrada, número de equipamentos presentes nas paradas, quantidade de produtos líquidos utilizados nas oficinas de manutenção/garagens e quantidade de produtos sólidos utilizados nas oficinas de manutenção/garagens, têm índole quantitativa, enquanto limpeza, tipo de combustível empregado, segurança, adequabilidade dos veículos à rota, localização dos pontos de parada e identificação das linhas nestes pontos, têm índole qualitativa.

Na Figura 1 à seguir representa-se a arquitetura da rede neural proposta no presente trabalho onde a junção de indicadores em camadas intermediárias permite a obtenção do índice buscado.

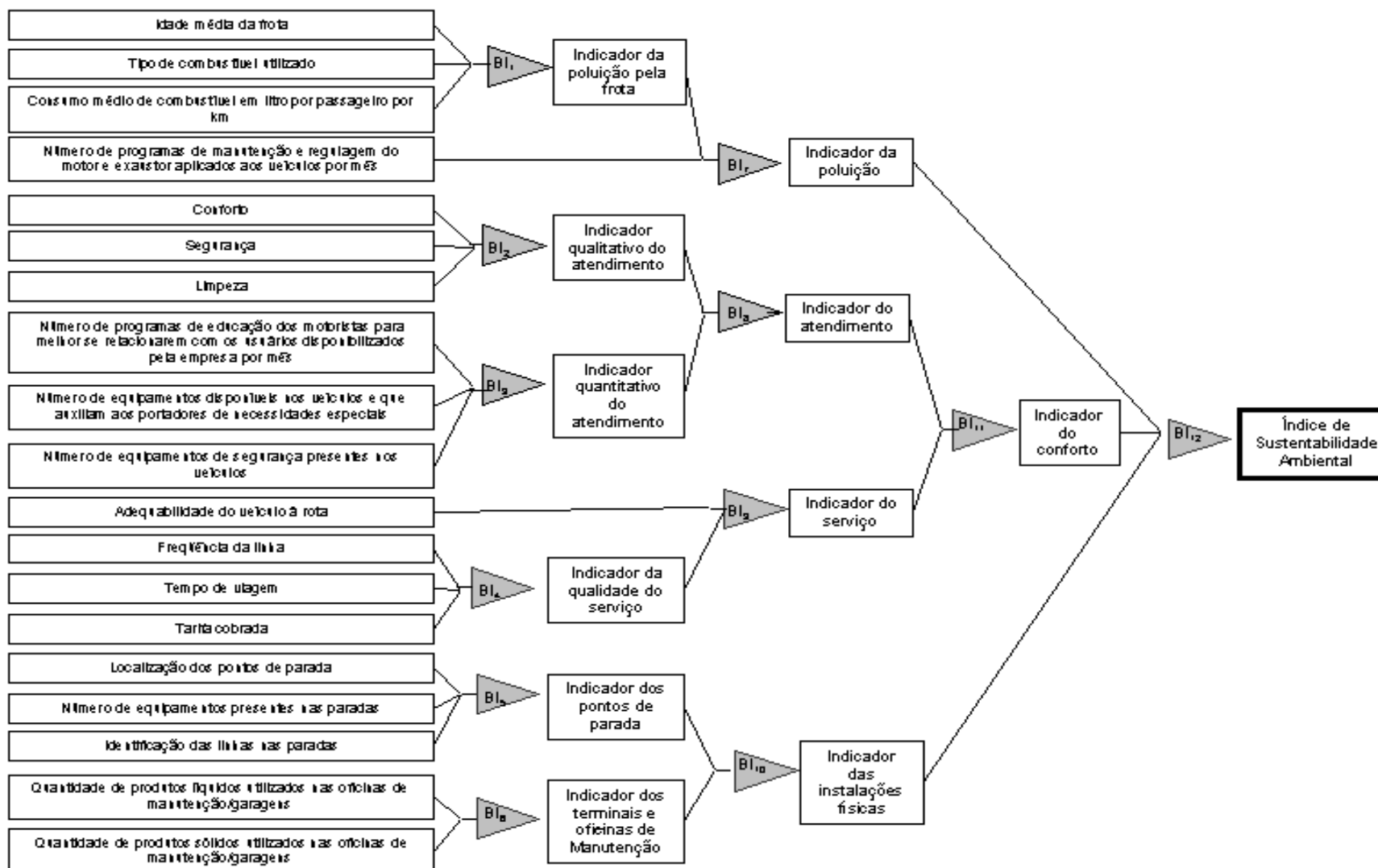


Fig. 1 Arquitetura do problema a ser considerado

Fonte: ALVES (2006)

Como a estrutura gerada inclui parâmetros qualitativos e quantitativos, observa-se a viabilidade do uso da lógica *fuzzy* para obtenção do Índice de Sustentabilidade Ambiental associado à linha sob análise.

5 LÓGICA FUZZY PARA RESOLVER O PROCEDIMENTO PROPOSTO

O conceito de lógica *fuzzy* foi introduzido na década de 60, por Lotfi Zadeh. A tecnologia *fuzzy* consiste no tratamento matemático de sistemas onde a subjetividade e as características ambíguas das variáveis processadas tornam a lógica clássica de difícil modelagem e aplicação. Conjugada com a heurística, um conjunto de regras apoiadas no processo de realização de tarefas por meio do “conhecimento” obtido na solução de certos problemas, a lógica *fuzzy* pode ser utilizada para a construção da arquitetura do pensamento consensual e humano, incorporando assim a experiência de especialistas e de usuários (FILIPPO *et. al* 2005). Vários pesquisadores aplicaram estes conceitos para resolver problemas nas mais diversas áreas do conhecimento. Dentre estes, podem ser mencionados Von Altrock (1995), Cury (1999) e Goudard (2001).

Definida a arquitetura do processo, e conseqüentemente escolhidos os parâmetros a serem mensurados, para a construção dos conjuntos *fuzzy* e posterior fuzzificação dos parâmetros, questionários devem ser elaborados e aplicados a especialistas do setor sob estudo assim como a usuários do sistema em avaliação. Enquanto estes são mais receptivos e têm mais facilidade para opinar sobre os termos qualitativos, os especialistas podem facilmente estimar quantitativamente os impactos. O tratamento estatístico dado às respostas obtidas permite a construção dos conjuntos *fuzzy* e a definição dos fatores de certeza associados às regras de composição propostas para o processo de inferência *fuzzy*.

5.1 Construção dos conjuntos *fuzzy*

Como exemplo, para a construção do conjunto *fuzzy* que representa o indicador “Idade média da frota”, foi solicitado a 20 especialistas associar os termos lingüísticos excelente, bom e ruim às idades médias da frota entre 0 e 15 anos. De posse das respostas obtidas são computadas as freqüências das respostas positivas para cada intervalo e para cada termo lingüístico. Estas freqüências atuam como graus de certeza associados.

Para a idade média da frota obtiveram-se os graus de certeza da Tabela 1 e os respectivos conjuntos *fuzzy* da Figura 2:

Tabela 1 Graus de certeza para “Idade média da frota”

Idade da frota (anos/veículo)	EXCELENTE	BOA	RUIM
0 a 2	1,00	0,00	0,00
2 a 4	0,70	0,40	0,00
4 a 6	0,50	0,47	0,16
6 a 8	0,00	1,00	0,26
8 a 15	0,00	0,07	1,00

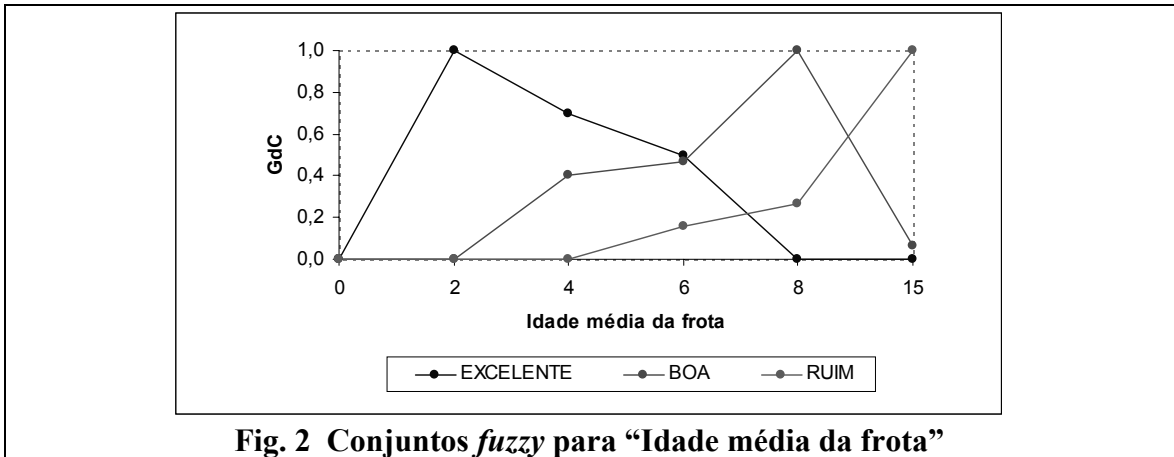


Fig. 2 Conjuntos *fuzzy* para “Idade média da frota”

Idêntico tipo de tratamento foi dado a todos os indicadores quantitativos, obtendo-se os conjuntos *fuzzy* apresentados nas Figuras 3 a 13:

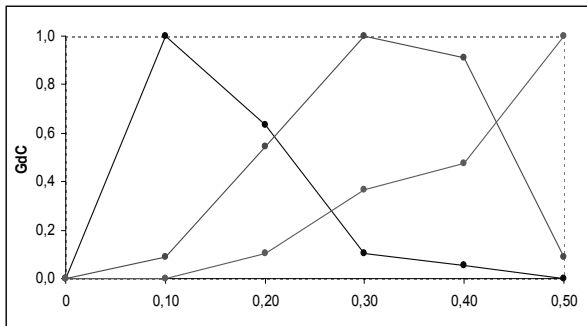


Fig. 3 “Consumo médio de combustível em litro por passageiro por quilômetro”

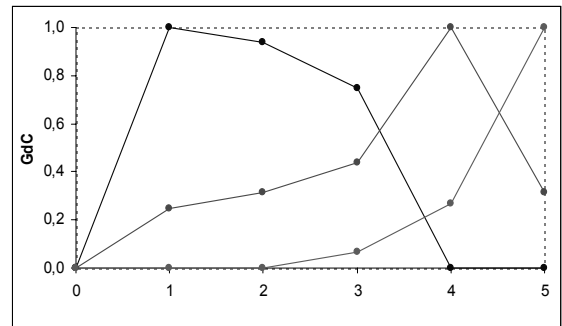


Fig. 4 “Número de programas de manutenção e regulagem do motor e exaustor aplicados aos veículos por mês”

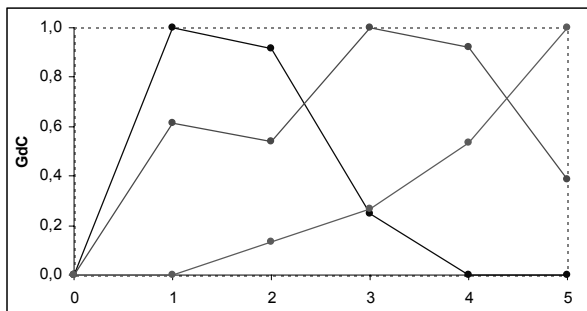


Fig. 5 “Número de programas de educação dos motoristas para melhor se relacionarem com os usuários disponibilizados por mês pela empresa”

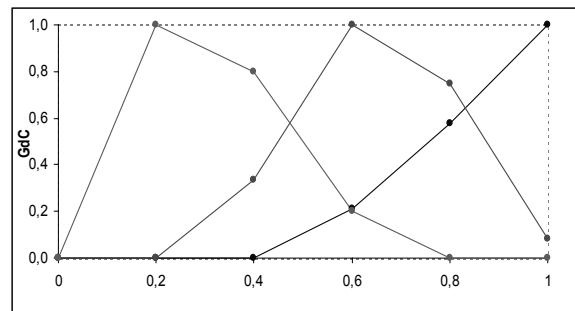


Fig. 6 “Conforto”

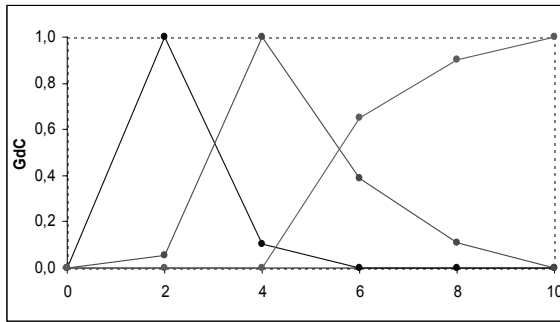


Fig. 7 “Número de equipamentos disponíveis nos veículos e que auxiliam aos portadores de necessidades especiais”

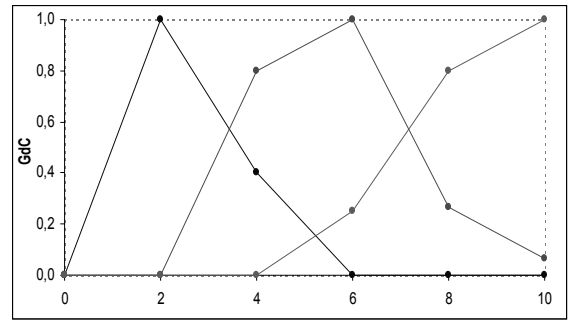


Fig. 8 “Número de equipamentos de segurança presentes nos veículos”

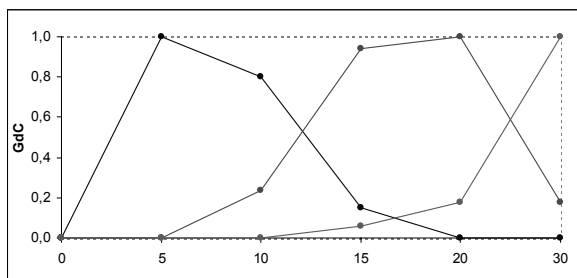


Fig. 9 “Frequência da linha”

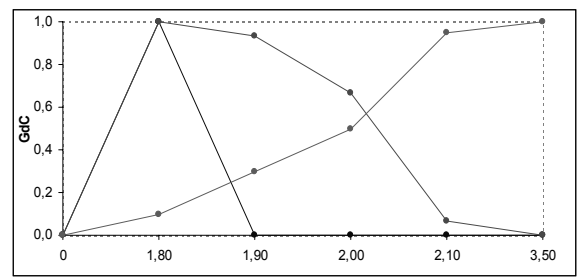


Fig. 10 “Tarifa cobrada”

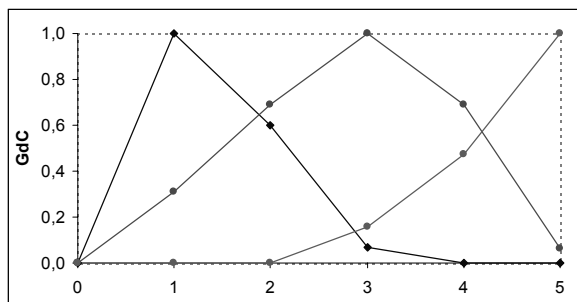


Fig. 11 “Número de equipamentos presentes nas paradas”

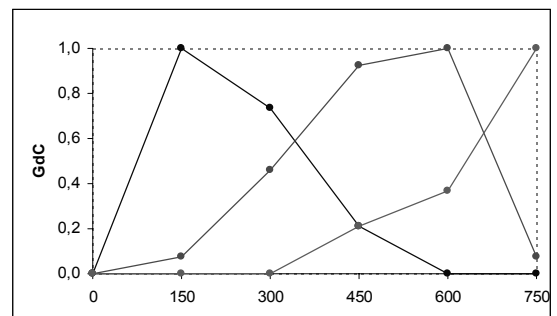


Fig. 12 “Quantidade de produtos sólidos utilizados nas oficinas de manutenção/garagens”

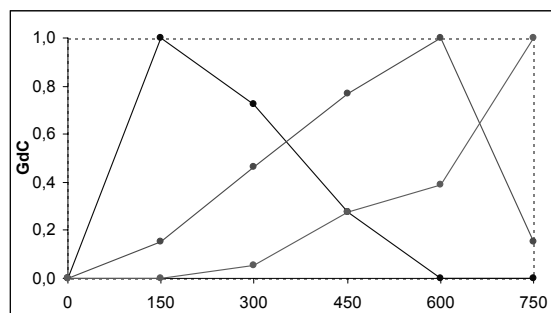


Fig. 13 “Quantidade de produtos líquidos utilizados nas oficinas de manutenção/garagens”

Já os conjuntos *fuzzy* para os indicadores qualitativos foram definidos por CURY (1999), com base numa amostra de 30 pessoas que atribuíram termos lingüísticos para todos os valores da escala de 0 a 10 num contexto genérico. Estes conjuntos encontram-se representados na Figura 14.

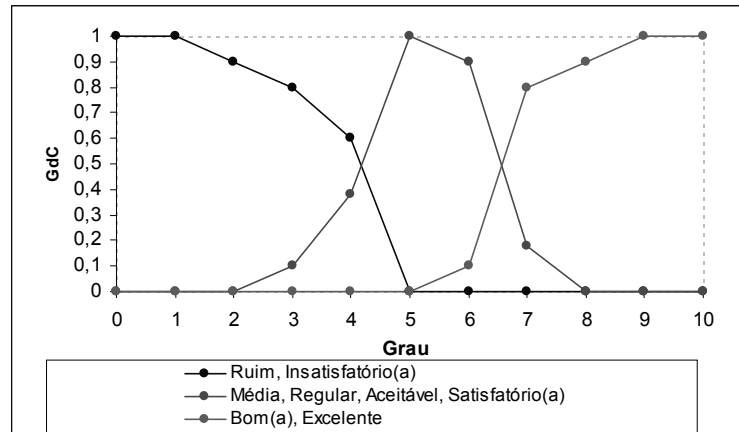


Fig. 14 Conjuntos *fuzzy* dos parâmetros qualitativos

Para o processo de defuzzificação, isto é, conversão do vetor lingüístico final em valor numérico utilizou-se a Equação 1 a seguir:

$$D = \frac{\sum_{n=1}^N GdC_n \cdot X_n}{\sum_{n=1}^N GdC_n} \tag{1}$$

onde:

GdC_n = graus de certeza dos termos lingüísticos da variável de saída final;

X_n = valores da componente sob análise que correspondem aos máximos dos conjuntos *fuzzy*;

n = regra

N = número total de regras

O uso do conjunto *fuzzy* para defuzzificação da Figura 15 permite a obtenção do índice de sustentabilidade ambiental buscado.

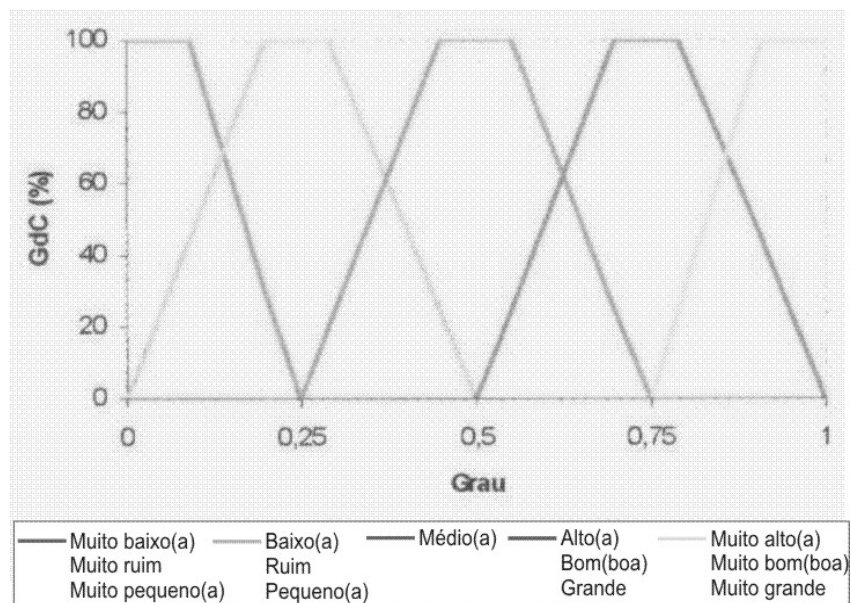


Figura 15 Conjunto fuzzy para defuzzificação
FONTE: CURY (1999)

Para passar de uma camada externa a outra, associam-se os indicadores e criam-se todas as combinações entre os mesmos. Estas associações e suas respostas constituem as chamadas regras de inferência, as que são acompanhadas de fatores de certeza.

Assim, a associação dos indicadores do primeiro grupo composto da “Idade média da frota”, “Tipo de combustível” e “Consumo médio de combustível em litro por passageiro por quilômetro”, obtém-se o indicador “Poluição pela frota”, a partir de 27 regras do tipo SE-ENTÃO. A título de exemplo, uma dessas regras e a correspondente resposta é a apresentada na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 Base de regras e respectivos FC para o Bloco de Inferência 1

REGRA	SE			ENTÃO	FATOR DE CERTEZA (FC)
	Idade média da frota	Tipo de combustível utilizado	Consumo médio de combustível em litro por passageiro por quilômetro	Indicador da poluição pela frota	
1	EXCELENTE	RUIM	EXCELENTE	BOM	0,9

Para complementar o processo de inferência é proposta neste trabalho a seguinte tabela de avaliação de desempenho ambiental do serviço de transporte público urbano:

Tabela 3 Interpretação da escala do índice de sustentabilidade ambiental

ÍNDICE	SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL
$0 \leq x \leq 0,20$	Muito baixa
$0,20 \leq x \leq 0,40$	Baixa
$0,40 \leq x \leq 0,60$	Média
$0,60 \leq x \leq 0,80$	Alta
$0,80 \leq x \leq 1$	Muito alta

6 ESTUDO DE CASO

Com a finalidade de mostrar a aplicabilidade do procedimento proposto, foi desenvolvido um estudo de caso para uma linha de ônibus que circula na cidade do Rio de Janeiro. Esta linha liga os bairros Centro-Urca percorrendo os bairros Botafogo, Flamengo e Glória.

A empresa operadora do serviço forneceu dados relativos aos veículos empenhados nesta linha, à própria operação e à administração do serviço. Esses dados encontram-se resumidos na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 Valores dos parâmetros quantitativos

	ESPECIALISTA
Idade média da frota	1 ano
Consumo médio de combustível em litro por passageiro por quilômetro	0,20 l/pass/km
Número de programas de manutenção e regulagem do motor e exaustor aplicados aos veículos por mês	1 unidade/mês
Número de programas de educação dos motoristas para melhor se relacionarem com os usuários disponibilizados por mês pela empresa	2 unidades/mês
Conforto	0,80 m ² / passageiro no vão central
Número de equipamentos disponíveis nos veículos e que auxiliam aos portadores de necessidades especiais	1 unidade/veículo
Número de equipamentos de segurança presentes nos veículos	3 unidades/veículo
Frequência da linha	4 min
Tarifa cobrada	R\$ 1,80
Nº de equipamentos presentes nas paradas	2 unidades/parada
Quantidade de produtos sólidos utilizados nas oficinas de manutenção/garagens	605 l/mês
Quantidade de produtos líquidos utilizados nas oficinas de manutenção/garagens	560 kg/mês

Para os parâmetros qualitativos foi elaborado um questionário a ser aplicado a usuários da linha em estudo. Após a exposição do problema, os usuários atribuíram um grau, numa escala crescente de 0 a 10, correspondente à influência estimada dos parâmetros analisados. As respostas dos 10 usuários a todas as variáveis qualitativas são apresentadas na Tabela 5 a seguir:

Tabela 5 Estimativa final dos valores dos parâmetros qualitativos

	USUÁRIOS									
Tipo de combustível utilizado	8	6	9	2	5	4	6	10	6	5
Segurança	6	7	5	4	7	5	7	7	5	4
Limpeza	8	8	8	4	8	7	7	8	7	6
Adequabilidade do veículo à rota	7	6	6	3	7	4	5	8	4	5
Tempo de viagem	7	7	7	3	10	3	8	7	6	6
Localização dos pontos de parada	5	4	8	4	8	6	7	7	8	7
Identificação das linhas nas paradas	4	3	5	2	10	2	6	4	2	4

Com as respostas da empresa e dos usuários, determinaram-se os graus de certeza dos termos lingüísticos de cada um dos indicadores por meio da utilização dos conjuntos *fuzzy* previamente apresentados. Por exemplo, tomando como base o valor 1 estimado pela empresa para o parâmetro quantitativo “Idade média da frota”, quando plotado no gráfico no respectivo conjunto genérico (Figura 3) produz o vetor lingüístico com correspondentes graus de certeza: Excelente; 0,50, Boa; 0,00 e Ruim; 0,00.

Para o bloco de inferência final tem-se o vetor lingüístico com graus de certeza associados: (EXCELENTE = 0,40, BOM = 0,09 e RUIM = 0,00)

O processo de defuzzificação é a última etapa de um sistema *fuzzy*. No presente trabalho, utilizou-se o método do centro dos máximos.

Na Tabela 6 apresentam-se os valores obtidos com a defuzzificação:

Tabela 6 Índice de sustentabilidade ambiental (especialista x usuários) para a linha

		USUÁRIOS									
ESPECIALISTA	VETORES LINGÜÍSTICOS	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
E1	RUIM	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,29	0,00	0,00	0,29	0,00
	BOM	0,25	0,20	0,25	0,19	0,28	0,35	0,25	0,25	0,35	0,35
	EXCELENTE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	D =	0,50	0,50	0,50	0,34	0,50	0,39	0,50	0,50	0,39	0,50

O vetor lingüístico associado ao índice de sustentabilidade ambiental é: (RUIM = 0,09; BOM = 0,27; EXCELENTE = 0,00)

Usando o conjunto *fuzzy* correspondente (Figura 16) e aplicando a Equação 1, obtém-se:

$$\text{Índice de Sustentabilidade Ambiental} = \frac{(0,09 \times 0,25) + (0,27 \times 0,50) + (0,00 \times 0,75)}{(0,09 + 0,27 + 0,00)}$$

$$\text{Índice de Sustentabilidade Ambiental} = 0,44$$

Da Tabela 3 observa-se que o valor encontrado corresponde a um índice de sustentabilidade ambiental médio e portanto a empresa operadora deve buscar os pontos ambientalmente frágeis da linha a fim de melhorar este desempenho. Neste caso, esses pontos são: número de programas de educação aplicados aos motoristas por mês, conforto oferecido, equipamentos para auxiliar aos portadores de necessidades especiais e pontos de paradas.

7 CONCLUSÕES

Do exposto, conclui-se que a obtenção do índice de sustentabilidade ambiental do serviço de transporte público urbano por ônibus como proposto neste trabalho é de utilidade tanto para as empresas operadoras do serviço que podem detectar e ajustar os aspectos que influenciam negativamente seus posicionamentos no mercado, evitando com isso multas aplicadas pelo poder público pela criação de passivo ambiental, quanto para o poder

público que tem o processo de fiscalização simplificado e sistematizado com a adoção do procedimento.

Apesar da subjetividade inerente a todo o processo tendo em vista que a lógica *fuzzy* está fortemente apoiada em “opiniões” de especialistas e usuários e principalmente na construção das regras e associação de fatores de certeza, o uso de pesos no processo de defuzzificação dilui tal subjetividade e permite que o tamanho da amostra utilizada para responder os questionários estabilize as respostas.

8 REFERÊNCIAS

Alves, G. K. A. (2006) **Sustentabilidade Ambiental dos Sistemas de Transportes Públicos em Centros Urbanos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia – IME, Brasil.

ANTP. Site da Associação Nacional de Transportes Públicos. Disponível: <http://www.antp.org.br/> [capturado em 02/02/2005, 10/02/2005, 15/04/2005]

Cury, M. V. Q. (1999) **Modelo Heurístico Neuro-fuzzy para Avaliação Humanística de Projetos de Transporte Urbano**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

D’Agosto, M. A. (1999) **Avaliação do Desempenho Operacional de Sistemas de Transportes Urbanos em Vias Segregadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia – IME, Brasil

Filippo, S., SILVA, V., Machado, A., Cosenza, C., Ribeiro, S. (2005) **Lógica Fuzzy para Obtenção do Índice de Prioridade para Intervenção no Passivo Ambiental de Segmentos de Rodovias Pavimentadas**. In: XIX ANPET – CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE. Anais eletrônicos (CD). Recife, Brasil

Fogliatti, M.C., Filippo, S., Goudard, B., (2004) **Avaliação de Impactos Ambientais-Aplicação aos Sistemas de Transporte**. Editora Interciência, Rio de Janeiro, Brasil
Goudard, B. (2001) **Avaliação Ambiental de Alternativas de Projetos de Transporte Rodoviário com o Uso da Lógica Fuzzy**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia – IME, Brasil

Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia – IME, Brasil

SEMOB. Site da Secretaria de Transporte e da Mobilidade Urbana. Disponível: <http://www.cidades.gov.br/>[capturado em 01/02/2005, 20/02/2005, 05/04/2005]

Paiva, K. (2004) **Subsídios para Implementação de um Sistema de Gestão Ambiental para Operação de Rodovias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia – IME, Brasil

Von Altrock, C. (1995) **Fuzzy Logic and Neurofuzzy Applications Explained**. Edited by Prentice Hall.