

Uma Aplicação da Lógica Fuzzy para a Melhoria da Mobilidade Urbana Focada no Usuário

Marcelo Prado Sucena (PET/COPPE/UFRJ – CENTRAL) msucena@central.rj.gov.br

Vladimir Lima da Silva (PET/COPPE/UFRJ) vladimir@pet.coppe.ufrj.br

Amaranto Lopes Pereira (PET/COPPE/UFRJ) amaranto@pet.coppe.ufrj.br

Licínio da Silva Portugal (PET/COPPE/UFRJ) licinio@pet.coppe.ufrj.br

Resumo

O planejamento da infra-estrutura urbana visando à circulação de pessoas é um fator essencial para melhoria da qualidade de vida nas cidades, principalmente naquelas consideradas metrópoles. Deve-se disponibilizar formas para facilitação da mobilidade urbana, objetivando principalmente a segurança, a fluidez e a acessibilidade aos sistemas de transporte.

O objetivo desse trabalho é propor um modelo, baseado na lógica Fuzzy, focando-se na ótica do usuário, para auxiliar os gestores das cidades no planejamento das prioridades para o aperfeiçoamento da infra-estrutura de transporte instalada, otimizando os escassos recursos públicos para este fim.

Palavras-chave: Fuzzy; Mobilidade; Trnsporte.

1. Introdução

Os países, sem distinção de nível de desenvolvimento, têm tido várias dificuldades para implementação de projetos que possam acompanhar, de maneira sustentável e homogênea, o crescimento de suas cidades.

A deterioração dos processos mercantis, associados ao acirramento das relações sociais e a globalização das economias, tem influenciado negativamente na implantação de políticas de longo prazo que minimizem as influências capitalistas no desenvolvimento humano.

É inquestionável a participação do poder público como principal estimulador e regulador das políticas de transporte, proporcionando a integração das necessidades básicas como fator de inclusão social.

As políticas urbanas têm influencias diretas na qualidade de vida do cidadão das cidades. Elas podem disponibilizar instrumentos para a integração da infra-estrutura, criando um ambiente eficiente, seguro e com custos acessíveis para os deslocamentos das pessoas e mercadorias, maximizando os efeitos positivos intrínsecos do desenvolvimento econômico, influenciando o acesso ao emprego, à educação, ao comércio, aos serviços de saúde, às atividades sociais etc..

A escassez de recursos para investimentos em infra-estrutura de transporte urbano provoca uma acentuada redução da mobilidade, pois a população é dinâmica, e por isso, necessita de continuidade na execução do planejamento traçado.

Aliada à redução dos recursos, a disponibilidade de informações confiáveis sobre onde alocá-los em detrimento de decisões subjetivas, pessoais e políticas, nem sempre acertadas, é um fator preponderante para a otimização do capital investido.

2. Objetivos

O objetivo principal do presente trabalho é o de apresentar um modelo, baseado na ótica do usuário, para subsidiar planejamento dos gestores das cidades no que tange ao aperfeiçoamento dos sistemas de transporte urbano, otimizando os recursos disponíveis para esse fim.

Como objetivos secundários, este modelo propõe:

- disponibilizar dados sobre as características das viagens dos usuários, as suas preferências quanto aos modos de transporte e as importâncias atribuídas a alguns atributos da mobilidade urbana;
- promover uma mudança de paradigma quanto ao aperfeiçoamento dos mecanismos públicos que influenciam na mobilidade urbana, utilizando o usuário como o foco principal dessas mudanças estruturais, em detrimento de decisões subjetivas, pessoais e políticas; e
- utilizar a lógica Fuzzy para o aperfeiçoamento da análise dos dados qualitativos disponibilizados pelos usuários da infra-estrutura de transporte atual.

3. O Gerenciamento da Mobilidade e as Questões Públicas

A manutenção da mobilidade urbana requer a parceria de agentes públicos e privados que podem interferir para o sucesso de iniciativas que melhorem a qualidade de vida de todos. Nessas iniciativas devem conter políticas de meio ambiente, de segurança, de melhoria do uso do solo, de transporte e de trânsito, destacando-se as questões que influenciam a oferta de infra-estrutura, principalmente no que diz respeito ao aperfeiçoamento delas.

Destacando-se a necessidade da participação de todos na melhoria integral da mobilidade urbana, Affonso (2002) ratifica que essa necessidade de movimentação urbana é ao mesmo tempo causa e efeito do desenvolvimento, devendo ser integradas às ações dos principais agentes que afetam a forma como uma cidade se desenvolve.

A mobilidade urbana é um atributo associado às pessoas e aos bens; corresponde às diferentes respostas dadas por indivíduos e agentes econômicos às suas necessidades de deslocamento, considerando-se as dimensões do espaço urbano e a complexidade de atividades nele desenvolvidas; capacidade das pessoas de se deslocarem no meio urbano para realizar suas atividades. (SeMOB, 2004)

As políticas públicas têm um fator determinante na elaboração de programas que englobem vários aspectos da vida do indivíduo. Por exemplo, os problemas de transportes e trânsito podem ser mais facilmente resolvidos quando a União, Estados e Municípios interagem de forma harmônica.

A Constituição de 1988 ressaltou a responsabilidade dos municípios como principal ator na implementação das políticas de transporte. Nesse caso, não se deve descartar a participação da União e dos Estados como responsáveis pelo estabelecimento de diretrizes gerais e principais fomentadores das políticas integradas do transporte.

Assmann (2004) resalta o conflito entre o poder metropolitano e o municipal imposto pela Constituição de 1988. Ele cita que os municípios metropolitanos estão conturbados, com os limites geográficos imperceptíveis na paisagem urbana e com superposição de atribuições e responsabilidades, dificultando a implementação de projetos de forma integrada entre os municípios que compõem o Estado.

Segundo Scaringella (2001), nas iniciativas dos poderes público devem estar inseridas as diretrizes, observadas por uma visão sistêmica, que envolvem a combinação das políticas de uso do solo, transporte e trânsito, dando condições de mobilidade e acessibilidade a todos os segmentos sociais.

Affonso (2002) resalta que a mobilidade urbana também pode ser afetada por outros fatores relacionados aos indivíduos, tais como a renda, a idade, o sexo e a capacidade de locomoção.

Pode-se notar esta influência pública avaliando-se as questões problemáticas de transporte e trânsito indicados por Vasconcellos (1995):

- Questão política: diz respeito à incapacidade do sistema político de garantir uma representatividade democrática dos interesses conflitantes de classes e grupos sociais no processo de decisão.
- Questão social: está relacionada a várias iniquidades nas condições de transporte e trânsito. Dentre essas iniquidades destaca-se a acessibilidade que pode ser subdividida em quatro componentes relacionados com o tempo:
 - de acesso ao transporte público;
 - de espera;
 - dentro do veículo; e
 - até o destino final após deixar o veículo.

Em relação à acessibilidade aos sistemas de transporte, Affonso (2002) ressalta que as características dos terrenos, o tratamento das vias, a integração das redes regulares de transportes urbanos, a qualidade dos seus serviços, os preços cobrados para a sua utilização, dentre outras, também devem ser contempladas na elaboração das políticas de transporte urbano:

- Questão institucional: está relacionada ao compromisso com as técnicas tradicionais desenvolvidas nos países industrializados, sem os ajustes apropriados para os países em desenvolvimento.
- Questão tecnológica: relaciona-se ao compromisso com uma forma de desenvolvimento automotivo que opera “contra” os sistemas de transporte público e não-motorizado.
- Questão econômica: está relacionada inicialmente à crise fiscal do Estado, que dificulta o apoio a sistemas de transporte público e a políticas distributivas e ao empobrecimento continuado que impede muitas pessoas de ter condições de pagar os custos do transporte público.
- Questão operacional: refere-se tanto a dificuldade de manter uma oferta regular e de qualidade para o transporte público, quanto à falha na garantia de condições adequadas de trânsito.
- Questão ambiental: mostra-se relevante em função da continuada degradação da qualidade da vida urbana, proporcionada principalmente pelos acidentes de trânsito, poluição, invasão do tráfego em áreas residenciais etc..

O mesmo autor destaca que as políticas de transporte e trânsito devem estar baseadas em alguns pontos, tais como:

- A natureza diferenciadora do desenvolvimento capitalista e a existência dos mercados informais: o desenvolvimento capitalista prioriza a competição e a mercantilização das relações sociais, promovendo a mobilidade social e física como sinônimos de progresso e felicidade.
- A natureza conflitiva da circulação: as diferenças econômicas reforçam as diferenças políticas entre as classes e grupos sociais, refletindo na violência da ocupação do espaço a favor dos veículos motorizados e, em particular, dos motoristas. A simples posse de um veículo permite à pessoa ocupar mais espaço sem compreensão e ameaçar a vida dos demais impunemente.
- A natureza política das políticas de transporte e trânsito: essas políticas são formas de intervenção técnica e políticas, que usam instrumentos técnicos para negociar politicamente a distribuição de uma acessibilidade entre as classes e grupos sociais.
- O domicílio como base da reprodução social: a análise tradicional dos deslocamentos individuais é limitada, impedindo a visão global sobre o fenômeno das decisões estratégicas de transporte a nível familiar, devendo ser o ponto de partida, tanto para

compreender a reprodução social, quanto para identificar as limitações para a garantia de uma apropriação mais eqüitativa do espaço urbano.

Pode-se considerar que a maior responsabilidade pela qualidade da mobilidade urbana é do poder público, que deve assegurar a acessibilidade para os cidadãos. Affonso (2002) cita que o mesmo deve proporcionar:

- O desenvolvimento urbano que aponte para uma melhor distribuição das funções urbanas no território;
- A ordenação legal e institucional que dê estabilidade à ação do Estado no setor de transporte e às suas relações com a iniciativa privada;
- O emprego dos melhores meios para tornar acessível a cidade por intermédio de uma política tecnológica voltada para o aperfeiçoamento dos serviços e da gestão pública; e
- A gestão de recursos que distribua os ônus da mobilidade e garanta a sustentabilidade dos diferentes agentes a um preço acessível para os usuários e a população em geral.

No Brasil, o foco da mobilidade urbana ainda está centrado em uma política não explícita, do uso do automóvel. Mas esse enfoque vem sendo modificado, pois a própria população vem sendo atingida pelos impactos diretos e pelas deseconomias impostas pelo regime automotivo. Em algumas cidades brasileiras como Curitiba e Porto Alegre, onde a mudança do enfoque político da mobilidade no atendimento às questões do capital era preponderante, a utilização do espaço urbano de forma integrada, a otimização do tempo de transporte e a relevância nas questões ambientais foram colocadas em primeiro plano, demonstrando que as questões do transporte e trânsito podem influenciar diretamente na qualidade de vida da população.

Os congestionamentos e a ocupação do solo de forma irregular têm sido os primeiros indicativos para a população dessa falta de política urbana integrada. Para ilustrar o nível desses impactos, Affonso (2002) destaca números relacionados com a Região Metropolitana de São Paulo: o espaço ocupado pelo automóvel varia de 70% a 90% da infra-estrutura viária disponível, mesmo esse modo de transporte respondendo por apenas 30% do total das viagens e 50% das viagens motorizadas. Em relação ao número de passageiros transportados, o espaço ocupado por esses varia de 6 a 24 vezes maior que o ocupado pelos passageiros de ônibus.

Conforme visto anteriormente, o tempo é o principal parâmetro para a análise da acessibilidade, tendo relevância na análise da mobilidade. Cabe então destacar alguns números expostos no anuário de 1999/2000 pela NTU: considera-se que as viagens de até 40 minutos praticamente não causam redução da produtividade dos indivíduos. Aquelas entre 40 e 60 minutos representam uma redução de 14%, entre 60 a 80 minutos, 16% e acima desse tempo, proporcionam 21% de perda de produtividade, causando reflexos na produtividade do país e influenciando negativamente no “Custo Brasil”.

4. Modelo Proposto

Conforme já destacado, esse trabalho espera contribuir para a melhoria do planejamento de transporte quanto ao gerenciamento da mobilidade, por meio de um modelo que viabilizará a análise de variáveis que estão associadas diretamente com a percepção do usuário a respeito da “qualidade” do transporte. Tal análise apontará as variáveis que, para o usuário, merecem maior atenção e cuidado por parte do órgão gestor quando a intervenções para melhoria do sistema de transporte.

A figura 1 mostra as relações entre as variáveis e os seus indicadores que serão utilizados para a formulação do modelo que representará a avaliação qualitativa do usuário sobre o transporte. Os valores de γ e δ , representam respectivamente os pesos dos indicadores e das variáveis que comporão a qualidade vista pelo usuário.

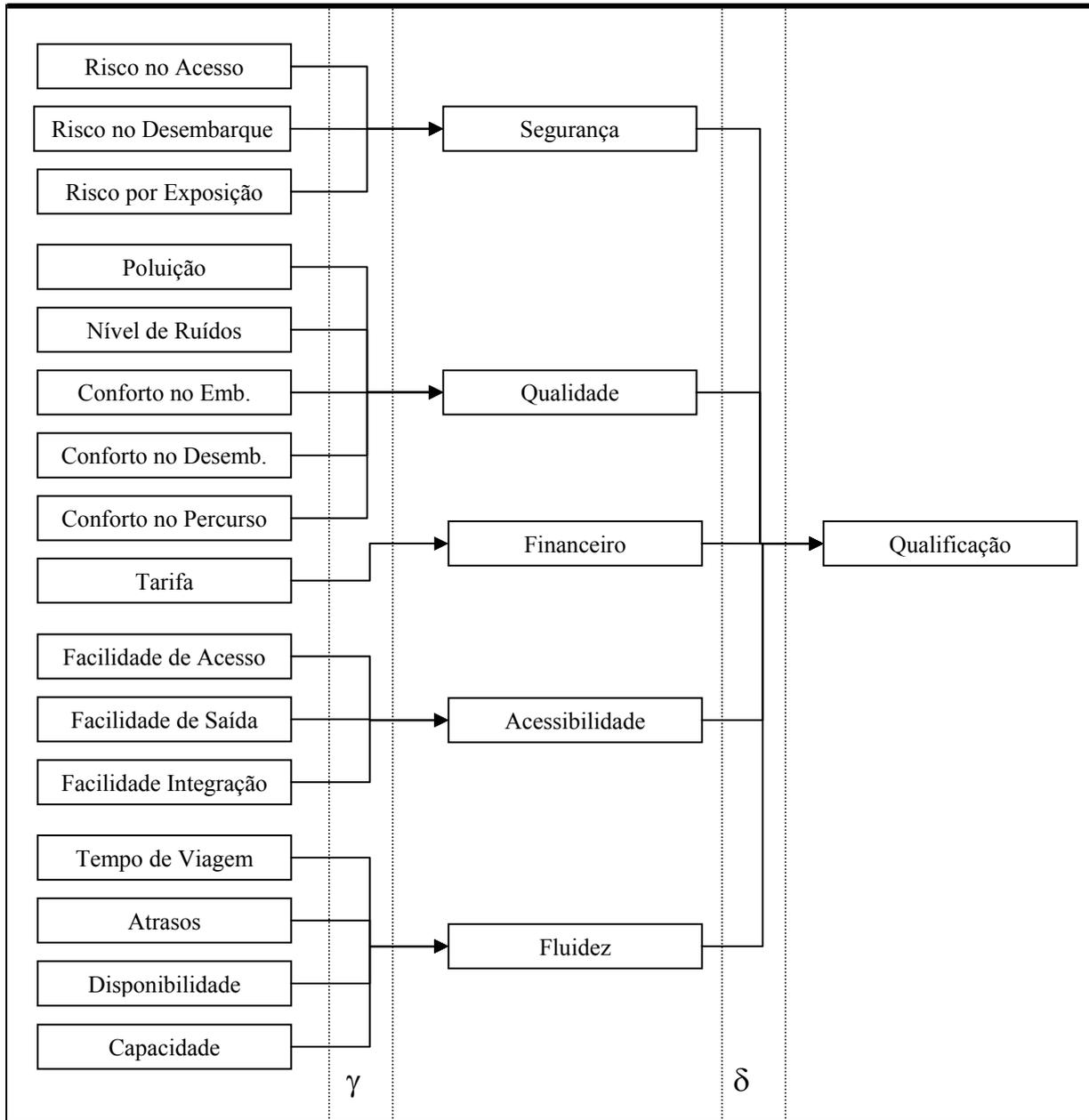


Figura 1 - Variáveis e atributos para qualificação da opinião do usuário.

5. A Metodologia Utilizada

A metodologia utilizada neste trabalho baseou-se nos seguintes passos:

5.1. Determinação das Variáveis de Entrada

A seleção de variáveis para a avaliação qualitativa da circulação urbana, teve por base a consideração de propriedades como a de ser completo (aspectos importantes para o usuário), 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). Assim, foram considerados aspectos relacionados a: Segurança, qualidade ambiental, Financeiro, acessibilidade e fluidez. Ressalva-se que tais variáveis foram agrupadas em seus respectivos indicadores, conforme exposto na Figura 1.

5.2. A Modelagem do Problema

Considerou-se que os problemas são caracterizados por meio de variáveis de entrada e “qualificadas” por meio de termos lingüísticos *muito ruim, ruim, razoável, bom e muito bom*. A ferramenta utilizada para tratamento do modelo é a “*Logica Fuzzy*”.

5.2.1. A Logica Fuzzy

A Logica 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 Matemática Nebulosa é uma tentativa de aproximar a precisão característica da Matemática à inerente imprecisão do mundo real, nascida no desejo profundo de conhecer melhor os processos mentais do raciocínio” (Braga, 1995). Algumas das vantagens da Lógica Fuzzy são a flexibilidade 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.

5.2.2. Etapas da Modelagem

Assim como Silva (2004), para essa modelagem, a metodologia tem os seguintes passos:

a) Definição das Variáveis de Entrada (VE) e seus Rótulos – As variáveis de entrada bem como suas estruturas de relacionamentos estão dispostas conforme Figura 1. Os rótulos de saída obedecem a escala de cinco variáveis semânticas proposta por Likert (*apud* Pereira, 1999). Neste caso, são considerados termos lingüísticos como Muito Ruim, Ruim, Razoável, Bom, Muito Bom.

b) Definição da Variável de Saída – A Variável de Saída (VS), motivo da avaliação, é a qualificação da Mobilidade para o grupo de usuários em análise.

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 (maior, menor).

d) Atribuição Numérica Subjetiva e Representação dos Conjuntos Fuzzy – Nesta etapa são atribuídos graus de pertinência, ou graus de certeza, ao intervalo numérico [0, 10]. Com a participação dos especialistas, os Rótulos de Entrada são quantificados nesta escala. Os Graus de Pertinência (GP) são calculados dividindo-se a freqüência total do valor na escala (valor total atribuído pelos usuários) pelo número total de respondentes multiplicado pelo maior valor da escala (5). Neste caso, porém, foram consideradas funções quadráticas de modo a serem obtidas as pertinências de cada valor de suporte no intervalo contínuo e fechado em 0, 10.

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. A tabela 1 apresenta as integrais-fuzzy utilizadas e que servem de base tanto para o cálculo de pertinência das variáveis no nível γ como no δ . As expressões 1 e 2 demonstram como se obter as referidas variáveis.

f) Defuzzificação – A defuzzificação é uma transformação inversa que traduz a saída do domínio fuzzy para o domínio discreto, onde o valor da variável lingüística de saída inferida pelas regras fuzzy é traduzido num valor discreto (Shaw e Simões, 1999).

Nível 1 (γ)

$$\gamma_i = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \times X_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (1)$$

Onde: γ_i – Variável de entrada do segundo nível (δ)
 μ_i – Grau de Pertinência;
 X_i – Valores de entrada de cada variável do modelo; e
 $i = 1.. n$.

Nível 2 (δ)

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \times Y_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (2)$$

Onde: δ_i – Valor para a Criticidade;
 μ_i – Grau de Pertinência;
 Y_i – Valores de entrada do nível gama; e
 $i = 1.. n$.

6. Aplicação do Modelo e Estudo de Caso

Como estudo de caso, tomou-se por base a empresa “X”. A empresa está localizada no Rio de Janeiro, no bairro Santo Cristo (omitiu-se o verdadeiro nome da organização).

Foi elaborado um questionário que solicitava as seguintes informações gerais:

- Área de atuação na empresa X;
- Cargo na empresa X;
- Tempo como empregado da empresa X;
- Sexo;
- Idade;
- Escolaridade; e
- Principal modo de transporte utilizado no trajeto “casa – trabalho”.

O mesmo questionário solicitava também as seguintes informações específicas:

- Qual o grau de importância (nenhuma, pouca, razoável, importante e muito importante) das variáveis “segurança, fluidez, financeiro, meio ambiente e acessibilidade”, para o usuário.
- Quais os pesos (Muito Ruim, Ruim, Razoável, Bom, Muito Bom) das variáveis anteriores e seus indicadores para o usuário.
- Qual a pontuação, de 0 a 10 (sendo 0 a pior e 10 a melhor), dos indicadores, dada ao transporte utilizado pelo usuário.

Foram aplicados 35 questionários. Os dados coletados foram armazenados em um banco de dados padrão Microsoft Access que facilitou o processamento dos dados e emissão de relatórios finais. A seguir serão descritos os passos para a obtenção dos resultados finais.

6.1. Definição das Integrais-Fuzzy

Após os cálculos dos Graus de Pertinência, procedeu-se com o cálculo das integrais-fuzzy para os rótulos de saída (Tabela 1).

Muito Ruim (MR)	$MR = \int_0^2 0,98 + 0,2x - 0,22x^2$	(3)
Ruim (R)	$R = \int_2^4 -3,5 + 3x - 0,5x^2$	(4)
Razoável (Rz)	$Rz = \int_4^6 -11,5 + 5x - 0,5x^2$	(5)
Bom (B)	$B = \int_6^8 -23,5 + 7x - 0,5x^2$	(6)
Muito Bom (MB)	$MB = \int_8^{10} -0,09x + 0,019x^2$	(7)

Tabela 1 - Cálculo de Graus de Pertinência para Rótulos de Entrada (RE)

6.2. Os Resultados

As análises foram efetuadas a partir das integrais obtidas para cada grau de pertinência; primeiramente, ao nível dos indicadores/critérios (nível γ) e, posteriormente, para o nível dos atributos (nível δ). Os dados obtidos baseando-se nos indicadores/critérios, são os pesos e as médias das importâncias atribuídas. Calcando-se nos atributos, foram calculadas as notas, o grau de pertinência, a classificação, e como resultado final o modelo expõe um escore final com a nota e a qualificação.

Os relatórios finais disponibilizados pela aplicação baseada no Microsoft Access estão expostos nas Figuras 2 e 3 a seguir.

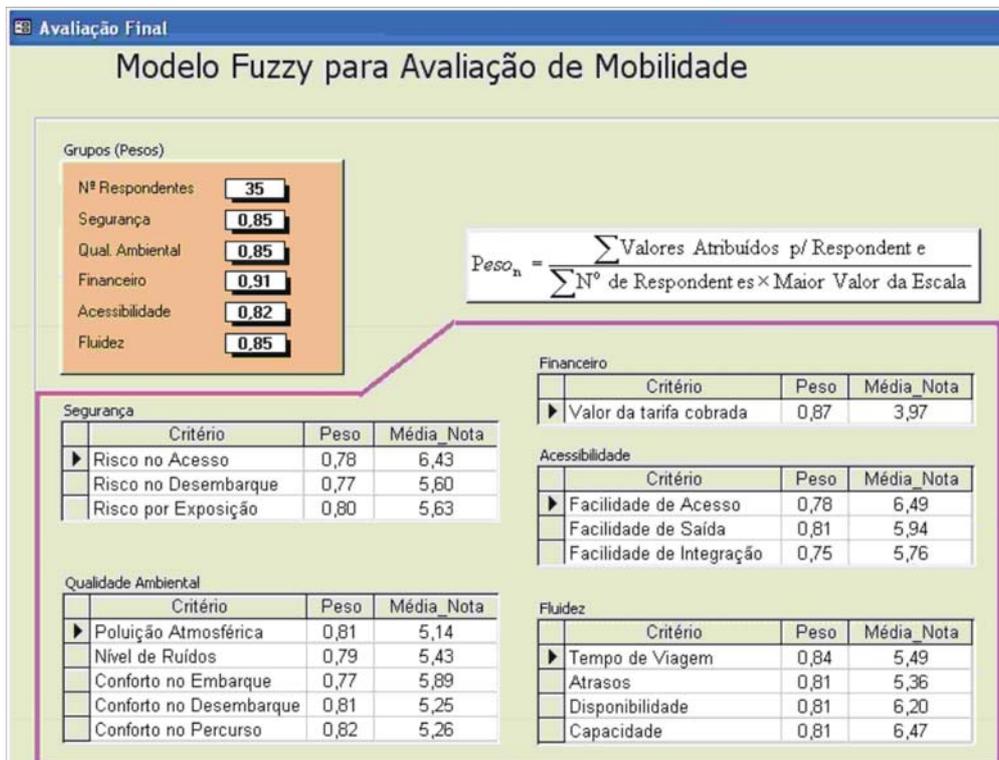


Figura 2 - Aplicação do Modelo Integral-Fuzzy e Resultados Obtidos (nível γ)



Figura 3 - Aplicação do Modelo Integral-Fuzzy e Resultados Obtidos (nível δ)

7. Conclusões

O setor público tem grande parcela de responsabilidade na coordenação e no lançamento de projetos que promovam a integração das políticas de transporte e de trânsito, principalmente nas cidades com alta densidade populacional, local onde a qualidade de vida é influenciada diretamente pelos aspectos da mobilidade.

As ações das várias esferas públicas são restringidas pelas condições financeiras, impondo uma otimização desses recursos, propondo, principalmente, o aperfeiçoamento da infraestrutura urbana, sem que seja necessário grande investimento.

Nessa ótica, foram considerados vários atributos que compõem a visão da mobilidade urbana, tomando-se as indicações dos usuários que utilizam a infra-estrutura local. Esses atributos foram escolhidos de acordo com a estrutura existente no local, destacando-se os pontos que são relevantes para as condições sociais, ambientais e financeiras dos usuários.

O modelo apresentado realiza, sob a ótica do usuário, uma avaliação geral de atributos e indicadores considerados importantes nos sistemas de transportes, por meio de um modelo *integral-fuzzy*. As variáveis utilizadas nesse modelo foram consideradas em dois níveis: o nível dos atributos (nível δ) e o nível dos indicadores (nível γ).

Vale ressaltar que esse modelo não tem por objetivo caracterizar de maneira cartesiana as possíveis soluções para os fatores considerados críticos, mas sim identificar os aspectos cujas ações de intervenção deverão ser priorizadas. Os dados coletados e tratados por meio do modelo *integral-fuzzy* permitem o monitoramento e controle das ações de intervenção, contribuindo para os ajustes e melhoria do sistema.

As respostas dadas por intermédio de questionários foram tabuladas e apresentadas utilizando-se um aplicativo desenvolvido em um sistema gerenciador de banco de dados, apresentando um valor que representa, conforme o modelo proposto, a qualidade da estrutura dos transportes na área do estudo de caso pelo enfoque dos funcionários da empresa X.

O resultado final considerou a infra-estrutura de transporte no local estudado como razoável, com uma nota 5,44, utilizando-se uma escala de 0 a 10, onde 0 é a pior condição e 10 a

melhor. Notou-se também que o quesito mais negativo para a contribuição dessa nota é o atributo “Financeiro” com uma classificação “ruim”; e o mais positivo é o atributo “Acessibilidade” classificado como “Boa”.

Referências

- ASSMANN, P. *Pode o Estado que temos promover os transportes públicos que precisamos?* São Paulo: Revista dos Transportes Públicos, nº 101, 2004.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. *Anuário 1999/2000 – A Crise da Mobilidade Urbana*. Capturado de http://www.ntu.org.br/frame_publicacoes.htm em 22/07/2004.
- AFFONSO, N. S. *Mobilidade e Qualidade de Vida*. , São Paulo: Revista dos Transportes Públicos, nº 96, 2002.
- PEREIRA, J. C. R. *Análise de Dados Qualitativos: Estratégias Metodológicas para as Ciências da Saúde, Humanas e Sociais*. São Paulo: EDUSP, 1999.
- SCARINGELLA, R. S. *A Crise da Mobilidade Urbana em São Paulo*. São Paulo: Revista São Paulo em Perspectiva, 2001.
- SECRETARIA NACIONAL DE TRANSPORTE E DA MOBILIDADE URBANA – SeMOB. *Política Nacional de Transportes Públicos*. Recife, 2004.
- SHAW, I. S. et al. *Controle e Modelagem Fuzzy*. 1ª ed. São Paulo: Edgard Blücher-FAPESP, 1999.
- SILVA, V.L. *Modelo de Avaliação de Desempenho de Empresas Aéreas de Transporte Regular de Passageiros – O Caso Brasileiro*. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, 2004.
- TANAKA, K. *An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications*. New York: Springer-Verlag, 1997.
- VASCONCELLOS, E. A. *A Crise do Planejamento de Transporte nos Países em Desenvolvimento: Reavaliando Pressupostos e Alternativas*. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes-ANPET, Rio de Janeiro: volume 3, nº 2, 1995.