

## MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE RODOVIAS CONCESSIONADAS SOB A ÓTICA DO USUÁRIO

Marcus Vinicius Quintella Cury, Fernando José Pombo Veiga  
Instituto Militar de Engenharia – IME  
Rua Voluntários da Pátria, nº 30 / aptº 301, Botafogo  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Cep. 22.270-010  
Fax: 55-21-2538-0857  
e-mail: [mvqc@epq.ime.eb.br](mailto:mvqc@epq.ime.eb.br)

### RESUMO

Os conjuntos *fuzzy* foram concebidos, originalmente, para tratar com sistemas humanísticos, segundo as palavras de Lotfi Zadeh, considerado o “pai” da lógica *fuzzy*. Entretanto, os maiores sucessos da lógica *fuzzy* vêm ocorrendo na área tecnológica, em que o fator humano não é prioritário e, muitas vezes, desconsiderado. Este trabalho tenta resgatar o propósito original da lógica *fuzzy*, aplicando seus conceitos para avaliar o desempenho de rodovias concessionadas, sob o ponto de vista do usuário. A idéia é utilizar a tecnologia *neuro-fuzzy*, que congrega as principais vantagens da lógica *fuzzy* e das redes neurais artificiais, para classificar o desempenho das rodovias concessionadas, com base na percepção de seus usuários, no que diz respeito à prestação de serviços médico-mecânicos, à manutenção do pavimento e das sinalizações, ao gerenciamento do tráfego, ao valor do pedágio, entre outros. Assim sendo, um método heurístico *neuro-fuzzy* foi desenvolvido para funcionar como uma mente coletiva, uma vez que a sua arquitetura hierárquica condensa os graus de avaliação subjetivos atribuídos pelos usuários, numa combinação de todos os dados em blocos de inferência que utilizam bases de regras *fuzzy* e expressões lingüísticas, para que a intensidade do desempenho da rodovia possa ser expressa por meio de uma nota, ou seja, o grau de avaliação da satisfação do usuário - GAS, numa escala entre 0 e 10. Em resumo, o GAS é a nota atribuída pelo usuário para a rodovia concessionada em estudo, em decorrência de sua percepção do desempenho geral dessa rodovia.

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de implantação do programa de concessões de rodovias federais brasileiras iniciou-se em 1995, com a concessão, pelo Ministério dos Transportes, de 856,4 km de rodovias federais, por meio de licitação de cinco trechos que já haviam sido pedagiados diretamente pelo próprio Ministério dos Transportes. Paralelamente, eram realizados estudos para identificar outros segmentos considerados técnica e economicamente viáveis para inclusão no referido programa. Inicialmente, foram analisados 17.247 km de rodovias, dos quais 10.379 km foram considerados viáveis para concessão total e 6.868 km viáveis somente para a concessão dos serviços de manutenção. (ANTT, 2003)

Assim, a parceria entre o governo federal e os governos estaduais deu continuidade ao processo de descentralização das atividades do Estado na área de transportes, transferindo à iniciativa privada a prestação de determinados serviços que, apesar de serem essenciais à sociedade, não precisariam, necessariamente, ser oferecidos pelo poder público. Essa transferência de responsabilidade vem possibilitando ao Estado a alocação de mais verbas para as atividades sociais. (Duarte, 2003)

Concessão e privatização são palavras cujos cernes possuem um aspecto comum, que é a transferência de bens públicos a agentes da iniciativa privada. Todavia, existe uma diferença semântica, baseada na duração da posse do bem em questão. Desse modo, na privatização o bem público é vendido e transferido em caráter definitivo para uma ou mais empresas privadas, enquanto que a concessão implica na transferência do bem por tempo determinado, após o qual o bem público volta a ser responsabilidade do poder público. Continua sendo um patrimônio público, mas sob a responsabilidade da iniciativa privada durante um período. (Nova Dutra, 2003)

Nas concessões rodoviárias à iniciativa privada, quando o órgão fiscalizador não possui estrutura para executar suas tarefas de fiscalização e avaliação ou quando a tecnologia a ser controlada exige profissionais específicos, pode-se contratar uma empresa que possua requisitos para tais serviços, apresentando ao poder público relatórios periódicos. (ANTT, 2003)

Quanto ao regime de competências, dentro da estrutura organizacional do governo do Brasil, cabe à Agência Nacional de Transporte Terrestres (ANTT), órgão do Ministério dos Transportes, a fiscalização e controle das rodovias federais concedidas a iniciativa privada. A ANTT é responsável, entre outras coisas, pela exploração, regulação e fiscalização dos trechos rodoviários e ferroviários concedidos à iniciativa privada, inclusive no que diz respeito à satisfação dos usuários das rodovias e ferrovias concessionadas. (Ministério dos Transportes, 2003)

O método aqui desenvolvido parte do princípio de que o sucesso de uma rodovia concessionada, sob a ótica do usuário, é uma função de diversos fatores que atuam sobre os próprios usuários. Assim sendo, um método heurístico *neuro-fuzzy*, arquitetado hierarquicamente, foi desenvolvido, em ambiente participativo dos usuários da rodovia concessionada em análise, para se obter o grau de avaliação de satisfação do usuário – GAS, numa escala entre 0 e 10. O GAS é definido como uma medida de intensidade dos impactos que uma rodovia concessionada pode estar causando aos seus usuários. Em outras palavras, o GAS, baseado no trabalho de Cury (1999), é a nota dada para avaliar a rodovia concessionada por seus efeitos e ações sobre o bem-estar de seus usuários.

Os dados de entrada do método, de ordem eminentemente subjetiva, são “condensados” em um parâmetro único para descrever o GAS. Já que não existem bons métodos matemáticos para esse

tipo de cálculo, partiu-se para um método lingüístico bem definido, tal como a tecnologia *neuro-fuzzy*, devido à sua habilidade de imitar o processo de decisão humana, conforme preconizado no trabalho de Von Altrock e Krause (1994).

Em resumo, o método visa elaborar um indicador para classificar as rodovias concessionadas, sob a ótica do usuário, utilizando a tecnologia *neuro-fuzzy*, que congrega as principais vantagens da lógica *fuzzy* e das redes neurais artificiais, ferramentas adequadas para tratar problemas complexos, carregados de imprecisões e mal formulados sob o ponto de vista das técnicas convencionais.

## 2. TECNOLOGIA NEURO-FUZZY

Zadeh (1965) descreveu a teoria matemática dos conjuntos *fuzzy* e, por extensão, a lógica *fuzzy*, apresentando a proposta de fazer uma função de pertinência (ou valores verdadeiros e falsos) operarem dentro do intervalo de números reais  $[0,1]$ .

A lógica *fuzzy* baseia-se fundamentalmente na crença de Zadeh de que a incerteza é inerente às ações e acontecimentos da vida humana e é pouco provável que a formulação de modelos matemáticos exatos obtenham sempre sucesso. Assim, Zadeh decidiu observar o mundo e seus problemas de modo que expressões lingüísticas sejam passíveis de operação por computadores, sempre utilizando os graus de pertinência de cada conceito. (Meech, 1997)

Na essência, *fuzziness* é um tipo de imprecisão que deriva de um grupo de elementos dividido em classes que não possui limites claramente definidos. Tais classes, denominadas de conjuntos *fuzzy*, surgem, sempre que são traçadas a ambigüidade, a imprecisão, a incerteza e a ambivalência em modelos matemáticos de fenômenos empíricos. Partindo-se do fato que certos aspectos da realidade sempre escapam de tais modelos, a aproximação estritamente binária para o tratamento de fenômenos físicos não é sempre adequada para descrever sistemas no mundo real; e os atributos de sistemas de variáveis freqüentemente emergem de algum tipo de *fuzziness*. (Veiga, 1994)

As variáveis lingüísticas são importantes na inferência *fuzzy*. Basicamente, uma variável lingüística é usada para caracterizar aproximadamente tanto os valores das variáveis como as suas relações. Por exemplo, números podem ser utilizados para caracterizar a altura de uma pessoa, mas as palavras podem atribuir categorias a essa altura, tais como “alta”, “muito alta”, “baixa”, “mediana” etc. A imprecisão introduzida pelo uso das palavras pode ser facultativa ou obrigatória, ou seja, a imprecisão pode ser intencional, com base na ausência de necessidade de maior precisão. Entretanto, freqüentemente a imprecisão é imposta pela falta de meios para se quantificar os atributos de um objeto. Os limites entre os termos lingüísticos são *fuzzy*, além de existir superposição entre eles. Isso significa que se pode estar mais ou menos certo sobre a verdade ou falsidade de um fato particular. (Meech, 1997)

As redes neurais artificiais podem ser definidas como técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência. Uma grande rede neural artificial pode possuir centenas ou milhares de unidades de processamento; já o cérebro de um mamífero pode ter muitos bilhões de neurônios. (Mendes Filho, 1997)

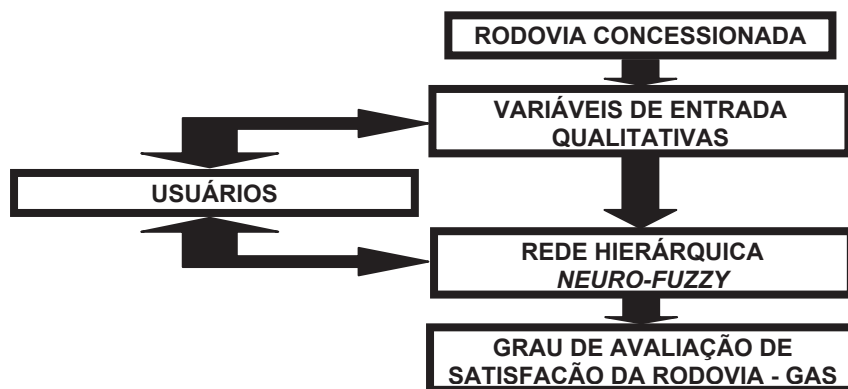
Existe uma estreita relação entre a lógica *fuzzy* e os sistemas neurais. Um sistema *fuzzy* tenta encontrar uma região que represente o espaço definido pela interseção, união ou complemento de variáveis *fuzzy*. Isso é análogo tanto aos modelos de rede neurais quanto aos de programação linear. Entretanto, os sistemas *fuzzy* aproximam o problema de forma diferente, a partir da mais profunda e robusta epistemologia, ou seja, estudando os limites da faculdade humana de conhecimento e os critérios que condicionam sua validade (Cox, 1992)

O problema de um sistema *fuzzy* é sua dificuldade em tratar muitos fatores, funções de pertinência e/ou regras. As redes neurais já são altamente adequadas para tratar grandes quantidades de dados e classes. Desta forma, as duas técnicas se completam e a fusão de ambas tornou-se uma grande tendência de pesquisa, dando origem, em consequência, à tecnologia *neuro-fuzzy* utilizada no presente trabalho.

### 3. ESTRUTURA DO MÉTODO

O método aqui proposto funciona como uma “mente coletiva”, apresentando uma arquitetura hierárquica que condensa os graus de avaliação atribuídos por usuários e as estimativas de especialistas, numa combinação de todos os dados em blocos de inferência que utiliza bases de regras *fuzzy* e expressões lingüísticas, para que a percepção do usuário em relação à rodovia em estudo possa ser expressa por meio de uma “nota”, ou seja, o GAS.

A estrutura do método, representada no diagrama da Figura 1, baseia-se, fundamentalmente, nas variáveis de entrada (VE), de natureza qualitativa, e possibilita, por meio das técnicas de inferência de um sistema especialista *neuro-fuzzy*, se alcançar o GAS desejado.



**Figura 1: Estrutura do Método Heurístico**

O método utiliza 8 variáveis de entradas (VE) e depende da transformação dessas VE em variáveis lingüísticas, com seus respectivos Graus de Convicção ou de Certeza (GdC), em função da interação entre os usuários da rodovia. O método permite a utilização de um número maior de variáveis de entrada, como, por exemplo, as 24 variáveis de entradas que fizeram parte do trabalho original de Cury (1999), sendo 8 quantitativas e 16 qualitativas. Os GdC são definidos de forma subjetiva, com base mais no pragmatismo do que na estatística. Um grau de certeza de 0,70, por

exemplo, pode ser atribuído por uma pessoa a um parâmetro quando ela tiver certeza que este valor não é o máximo de uma escala de 0 a 1, mas tão somente 70% dessa.

Em seguida, entra-se no sistema de inferência da rede *neuro-fuzzy*, arquitetado hierarquicamente, que utiliza bases de regras SE-ENTÃO, proporcionando, assim, um fator de evidência da satisfação dos usuários, por meio de uma variável lingüística final, que, por um processo de defuzificação lingüística, indica o GAS da rodovia.

A estrutura do método privilegia, em todas as suas fases, a extração da percepção dos usuários da rodovia em estudo, ponto fundamental do método heurístico. Segundo o enfoque do presente trabalho, a base natural para a avaliação do desempenho de uma rodovia é constituída por seus próprios usuários. Desta forma, quando da aplicação do método, deve-se selecionar uma amostra representativa de usuários. Por intermédio de questionários, os usuários atribuem notas, de 0 a 10, para cada VE, segundo sua percepção.

A execução do método como um todo, a seleção dos usuários, a elaboração dos questionários para a captação dos sentimentos dos usuários e a interpretação do resultado final são responsabilidades do especialista que gerencia o método aqui proposto.

#### 4. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA

As oito VE do método tentam representar os quesitos mais importantes das rodovias concessionadas, caracterizados de forma qualitativa, que influenciam, direta ou indiretamente, os usuários das mesmas. A Tabela 1 apresenta as VE definidas para o presente método.

**Tabela 1**  
**Variáveis de Entrada (VE)**

Descrição
<b>Sistema de Cobrança do Pedágio – SCP</b>
<b>Valor da Tarifa de Pedágio – VTP</b>
<b>Poluição Visual - PVI</b>
<b>Sinalizações Horizontal e Vertical – SHV</b>
<b>Qualidade do Pavimento – QPA</b>
<b>Traçado da Rodovia, Acessos e Retornos – TAR</b>
<b>Atendimento ao Usuário (Médico, Mecânico e Policial) – ATU</b>
<b>Nível de Serviço da Rodovia (Condições de Tráfego) - NSR</b>

#### 5. TRATAMENTO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA

A falta de medidas para as VE qualitativas pode ser acomodada com a conversão dos campos de observação em variáveis lingüísticas, por meio da atribuição, por parte dos usuários, de graus de avaliação, numa escala de 0 a 10, com base nos questionários citados anteriormente. Os graus atribuídos pelos usuários são convertidos em expressões lingüísticas, com seus respectivos GdC,

com base nos conjuntos *fuzzy* e nas regras SE-ENTÃO. Essa fase é denominada fuzificação, uma vez que utiliza os conjuntos *fuzzy* para as referidas conversões. Na realidade, as VE qualitativas não precisariam passar pelo processo de fuzificação, pois já são, por excelência, variáveis lingüísticas, cujos termos seriam associados a GdC atribuídos pelos usuários da rodovia. Entretanto, no presente método, as VE qualitativas passam pelo processo de fuzificação, em função da utilização do artifício da atribuição de graus numéricos que refletem os sentimentos dos usuários. Para isso, foram definidos os conjuntos *fuzzy* genéricos para todas as VE qualitativas, que apresentam sempre três níveis de termos lingüísticos: um inferior, um médio e outro superior; conforme mostra a Figura 2. A construção desses conjuntos *fuzzy* tomou por base uma amostra de 30 pessoas, que atribuíram termos lingüísticos para todos os valores da escala de 0 a 10, dentro de um contexto genérico.

Cabe ressaltar que os termos lingüísticos BAIXO, MÉDIO e ALTO, podem ser substituídos, dependendo das características da VE, por quaisquer outros termos equivalentes, tais como RUIM, FRACO, REGULAR, RAZOÁVEL BOM, FORTE, SATISFATÓRIO, EXCELENTE etc, desde que não seja alterado o sentido de graduação do inferior ao superior, mostrado na Figura 2.

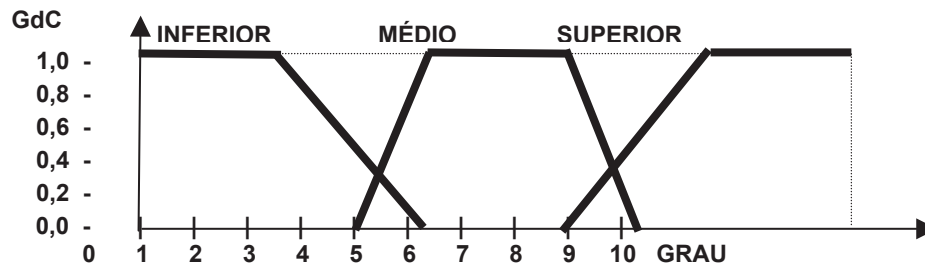


Figura 2: Conjuntos *Fuzzy* Genéricos para as VE Qualitativas

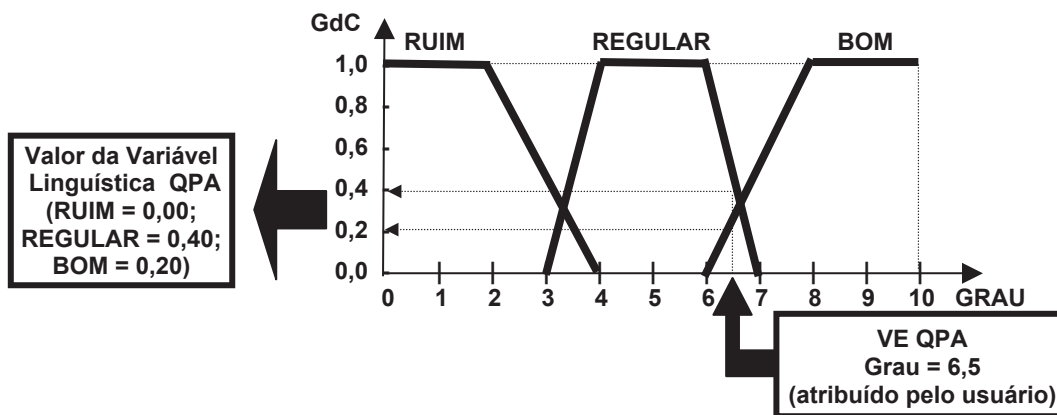


Figura 3: Fuzificação de uma VE

Como exemplo, toma-se a variável de entrada QUALIDADE DO PAVIMENTO - QPA, cujos termos lingüísticos são RUIM, REGULAR e BOM, e faz-se a seguinte solicitação a um usuário de uma rodovia hipotética: “Numa escala de 0 a 10, que grau você atribuiria para a qualidade desta rodovia?” A seguir, após a resposta do usuário, realiza-se o processo de fuzificação da variável

qualitativa QPA, conforme mostra a Figura 3. Portanto, entrando-se no gráfico da Figura 2, a variável QPA, cujo grau atribuído pelo usuário corresponda a 6,5, é convertida no seguinte vetor da variável lingüística: (RUIM=0,00; REGULAR=0,40; BOM=0,20).

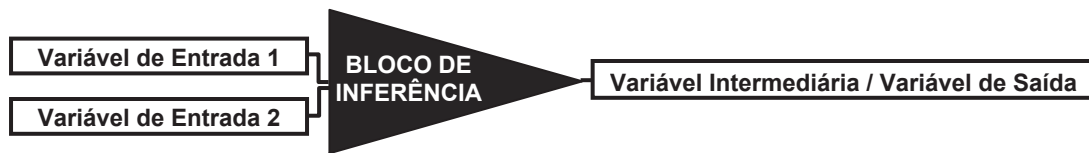
## 6. ARQUITETURA DA REDE *NEURO-FUZZY*

A arquitetura do método segue o conceito de rede neural hierárquica. Em cada nó da rede dois ou mais elementos são agregados num único elemento, dando origem a um novo nó. Esse novo nó, por sua vez, também se agrega a outros nós, produzidos paralelamente, e dão origem a um novo nó. E assim por diante, até a obtenção do nó final.

Com base numa recomendação encontrada no trabalho de Von Altrock e Krause (1994), foi adotada a prática de não se agregar mais que três variáveis em cada nó da rede, para, assim, tornar a inferência mais fácil de ser executada e, no caso da construção da base de regras, permitir a melhor definição dos termos lingüísticos de agregação e de composição das regras, bem como da atribuição dos fatores de certeza de cada regra. Desta forma, no método proposto foram agregados sempre dois elementos em cada nó da rede.

A arquitetura da rede *neuro-fuzzy* (RNF) possui 8 VE em sua primeira camada e sempre duas variáveis convergindo para seus nós, num total de 7 nós de rede. Cada nó corresponde a uma base de regras *fuzzy*, denominado de Bloco de Inferência (BI), no qual são computadas as variáveis lingüísticas, por agregação e composição, de modo a produzir um resultado inferido, também na forma de variável lingüística. Assim, nos 7 BI da RNF foram definidas 63 regras.

Em resumo, a arquitetura proposta é composta de 7 configurações de sistemas especialistas *fuzzy*, denominados aqui de Unidades-Padrão de Inferência *Fuzzy* (UPIF), conforme mostra a representação esquemática da Figura 4, em que duas variáveis de entrada (VE) passam pelo processo de fuzificação e pelo bloco de inferência (BI), produzindo, em seguida, uma variável de saída (VS), denominada de variável intermediária (VI), caso não corresponda ao último BI da rede. Essa VI, por sua vez, junta-se com outra VI, formando um conjunto de duas novas VE, configurando, por conseguinte, uma seqüência de UPIF, até a última camada da rede. Na última camada, a UPIF, também composta por duas VI, produz a variável de saída (VS) definitiva da RNF. Essa VS sofre, então, o processo de defuzificação para que o resultado final seja obtido: o GAS da rodovia concessionada em análise.



**Figura 4: Unidade-Padrão de Inferência *Fuzzy* (UPIF)**

A Figura 5 mostra o desenho esquemático da arquitetura hierárquica do método heurístico *neuro-fuzzy* proposto, doravante denominada de Rede *Neuro-Fuzzy* (RNF).

Os pares de VE escolhidas para a presente RNF apresentam características correlacionadas, no que diz respeito aos tipos de desempenho estudados, tais como os desempenhos operacional, econômico, psicológico e técnico. Cabe ressaltar que quaisquer mudanças nas ordens das VE podem afetar significativamente o resultado final do GAS, uma vez que haveria uma descaracterização do objetivo proposto. Na verdade, a RNF é genérica e podem ser escolhidas quaisquer VE, desde que coerentes entre si, de forma que a RNF possa produzir um resultado final condizente com o objetivo de cada caso estudado.

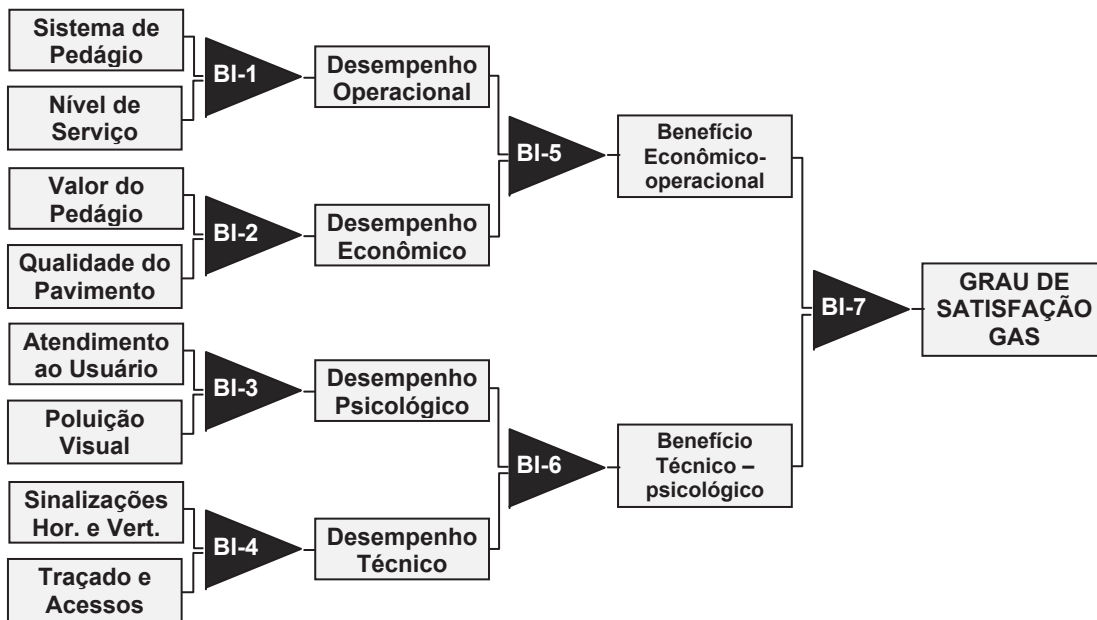


Figura 5: Arquitetura da Rede *Neuro-Fuzzy* (RNF)

A arquitetura da RNF deve ser aplicada numerosas vezes, dependendo da quantidade de usuários convocados a participar da execução do método, conforme mostrado na Figura 6. Em resumo, haverá uma  $RNF_j$  para cada  $USU_j$  e, conseqüentemente,  $j$  valores de GAS como resultados, que, por sua vez, produzirão o  $GAS_{final}$ .

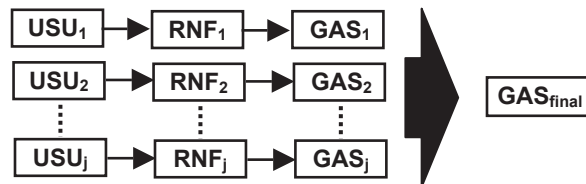


Figura 6: Determinação do GAS Médio Final

O  $GAS_{final}$ , na verdade, é uma média dos  $GAS_j$ , calculada e interpretada segundo os tradicionais métodos da estatística. Para que seja obtido um  $GAS_{final}$  representativo do usuário-padrão da rodovia concessionada em estudo, recomenda-se que sejam selecionados, ao acaso, em diferentes dias, uma amostra de, no mínimo, 100 usuários.



## 7. BLOCO DE INFERÊNCIA

Após a conversão de todas as VE em suas correspondentes variáveis lingüísticas, com seus respectivos GdC, os blocos de inferência *fuzzy* (BI) já podem ser operados.

Como já foi mostrado, o método hierárquico *neuro-fuzzy* é uma rede simétrica composta de 7 UPIF e o *cérebro* de cada UPIF é o BI, composto pela base de regras SE-ENTÃO, que por sua vez atua como um sistema especialista *fuzzy*. A base de regras construída depende da camada anterior das variáveis de entrada, para então gerar as variáveis de saída.

O processo de inferência *fuzzy* identifica as regras e computa os valores lingüísticos da variável de saída, dentro do BI. Desta forma, utilizando-se os conceitos de computação das regras SE-ENTÃO, com base nos operadores MIN-MAX, obtém-se um vetor lingüístico para as variáveis intermediárias de cada UPIF e para a variável de saída final do método, cujos termos lingüísticos foram previamente definidos pelo método.

Cada regra possui um fator de ponderação individual, denominado de Fator de Certeza (FC), compreendido entre 0 e 1, que indica o grau de importância de cada regra na base de regras *fuzzy*, como recomenda Veiga (1994).

A computação da inferência *fuzzy* consiste de dois componentes: agregação (computação da parte SE das regras) e composição (computação da parte ENTÃO das regras). Os resultados da agregação correspondem aos GdC das partes SE e, por conseguinte, indicam quão adequadas são as regras para o caso em estudo, devidamente ponderadas pelos seus respectivos FC. Para exemplificar, pode-se utilizar a variável QPA, utilizada anteriormente, e a variável VALOR DA TARIFA DE PEDÁGIO - VTP, para formar uma UPIF, cuja variável de saída é a VI denominada DESEMPENHO ECONÔMICO - DEC, de acordo com a rede *neuro-fuzzy* da Figura 5, cujo grau do mesmo usuário da rodovia hipotética foi convertido no seguinte vetor da variável lingüística: (BAIXO=0,30; RAZOÁVEL=0,70; ALTO=0,00). Em seguida, por meio da base de regras do BI, também hipotética (Tabela 2), executa-se computação da inferência *fuzzy*, obtendo-se, por conseguinte, o resultado lingüístico da variável de saída VI (Tabela 3).

**Tabela 2**  
**Base de Regras do Exemplo Hipotético**

Regra	SE				ENTÃO	
	VTP		QPA		DEC	
	Termo	GdC	Termo	GdC	Termo	FC <sub>i</sub>
1	BAIXO	0,30	RUIM	0,00	BAIXO	1,00
2	BAIXO	0,30	REGULAR	0,40	BAIXO	0,80
3	BAIXO	0,30	BOM	0,20	MÉDIO	0,60
4	RAZOÁVEL	0,70	RUIM	0,00	BAIXO	0,80
5	RAZOÁVEL	0,70	REGULAR	0,40	MÉDIO	1,00
6	RAZOÁVEL	0,70	BOM	0,20	ALTO	0,80
7	ALTO	0,00	RUIM	0,00	MÉDIO	0,60
8	ALTO	0,00	REGULAR	0,40	ALTO	0,80
9	ALTO	0,00	BOM	0,20	ALTO	1,00

**Tabela 3**  
**Inferência *Fuzzy* do Exemplo Hipotético**

Agregação
Regra 1: $FC_1 \cdot \text{MIN} \{ \text{BAIXO}; \text{RUIM} \} = 1,00 \cdot \text{MIN} \{ 0,30; 0,00 \} \rightarrow \{ \text{BAIXO} = 0,00 \}$
Regra 2: $FC_2 \cdot \text{MIN} \{ \text{BAIXO}; \text{REGULAR} \} = 0,80 \cdot \text{MIN} \{ 0,30; 0,40 \} \rightarrow \{ \text{BAIXO} = 0,24 \}$
Regra 3: $FC_3 \cdot \text{MIN} \{ \text{BAIXO}; \text{BOM} \} = 0,60 \cdot \text{MIN} \{ 0,30; 0,20 \} \rightarrow \{ \text{MÉDIO} = 0,12 \}$
Regra 4: $FC_4 \cdot \text{MIN} \{ \text{RAZOÁVEL}; \text{RUIM} \} = 0,80 \cdot \text{MIN} \{ 0,70; 0,00 \} \rightarrow \{ \text{BAIXO} = 0,00 \}$
Regra 5: $FC_5 \cdot \text{MIN} \{ \text{RAZOÁVEL}; \text{REGULAR} \} = 1,00 \cdot \text{MIN} \{ 0,70; 0,40 \} \rightarrow \{ \text{MÉDIO} = 0,40 \}$
Regra 6: $FC_6 \cdot \text{MIN} \{ \text{RAZOÁVEL}; \text{BOM} \} = 0,80 \cdot \text{MIN} \{ 0,70; 0,20 \} \rightarrow \{ \text{ALTO} = 0,16 \}$
Regra 7: $FC_7 \cdot \text{MIN} \{ \text{ALTO}; \text{RUIM} \} = 0,60 \cdot \text{MIN} \{ 0,00; 0,00 \} \rightarrow \{ \text{MÉDIO} = 0,00 \}$
Regra 8: $FC_8 \cdot \text{MIN} \{ \text{ALTO}; \text{REGULAR} \} = 0,80 \cdot \text{MIN} \{ 0,00; 0,40 \} \rightarrow \{ \text{ALTO} = 0,00 \}$
Regra 9: $FC_9 \cdot \text{MIN} \{ \text{ALTO}; \text{BOM} \} = 1,00 \cdot \text{MIN} \{ 0,00; 0,20 \} \rightarrow \{ \text{ALTO} = 0,00 \}$
Composição
$VI = \text{MAX} \{ \text{BAIXO}; \text{MÉDIO}; \text{ALTO} \}$
$VI = \{ \text{BAIXO} = 0,24; \text{MÉDIO} = 0,40; \text{ALTO} = 0,16 \}$

## 8. TRATAMENTO DA VARIÁVEL DE SAÍDA

A fim de possibilitar comparações e classificações entre sistemas e/ou projetos, a variável de saída final do método, ou seja, o vetor lingüístico do GAS precisa passar pelo processo de defuzificação para ser transformado em um número real, entre 0 e 1, para, assim, representar a intensidade humanística do sistema.

O método aqui proposto utiliza a técnica do Centro dos Máximos (CM), ou Centro de Gravidade (CG), no tratamento da variável de saída final, que é uma das técnicas de defuzificação mais utilizadas para transformar um resultado lingüístico novamente num valor numérico, segundo Von Altrock (1997). A maioria dos sistemas de lógica *fuzzy* utiliza essa etapa porque o resultado desejado, freqüentemente, precisa ser expresso de forma numérica, em vez de maneira lingüística. A expressão abaixo calcula o GAS do sistema por meio da defuzificação pelo Centro dos Máximos:

$$\text{GAS}_j = \frac{\sum \text{GdC}_i \cdot X_i}{\sum \text{GdC}_i} \quad (1)$$

onde  $\text{GdC}_i$  são os graus de certeza dos termos lingüísticos da variável de saída final; e  $X_i$  são os valores da escala definida para o GAS que correspondem aos máximos dos conjuntos *fuzzy* que definem a variável de saída final.

Assim, o GAS é, na realidade, um valor ponderado pelos GdC de cada termo lingüístico da variável lingüística GAS, ilustrado na Figura 7, que apresenta o desenho dos três conjuntos *fuzzy* que definem a variável de saída do GAS do sistema de transporte em análise.

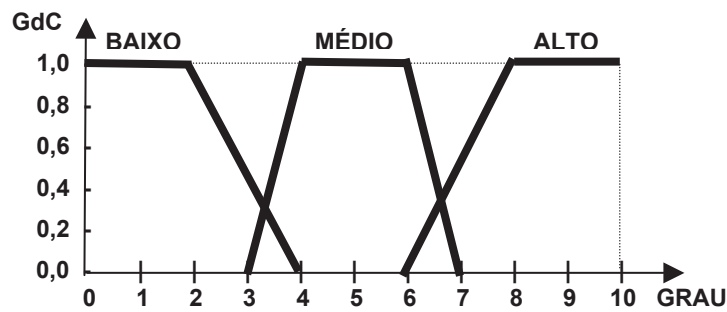


Figura 7: Conjuntos *Fuzzy* da Variável de Saída - GAS

O valor do GAS, que sempre pertencerá ao intervalo [0; 1], representa uma medida de intensidade da satisfação do usuário em relação à rodovia em análise. Para um GAS igual a 1, a satisfação do usuário da rodovia concessionada em análise pode ser considerada máxima, dentro dos padrões estabelecidos no presente método. Por outro lado, para um GAS igual a 0, a rodovia concessionada não satisfaz o usuário de forma alguma. Já um GAS intermediário, igual a 7,5, por exemplo, pode ser interpretado segundo critérios a serem estabelecidos, numa escala lingüística qualquer. Esse GAS de 7,5 poderia classificar uma rodovia dentro de um bom padrão de atendimento ao usuário, como poderia classificar a mesma rodovia num contexto de atendimento regular ao usuário, dependendo do nível de exigência para a rodovia em questão.

Como exemplo, utilizando-se graus atribuídos para uma rodovia hipotética, entra-se na expressão do cálculo do  $GAS_j$  com os  $GdC_i$  do seguinte vetor lingüístico da variável de saída GAS, também hipotético: (BAIXO=0,32; MÉDIO=0,45; ALTO=0,12). Para que seja encontrada o GAS numérico, encontra-se o valor defuzificado da variável lingüística GAS, numa escala de 0 a 1, conforme demonstrado na Figura 8. Assim, o GAS do exemplo hipotético corresponde a 0,410.

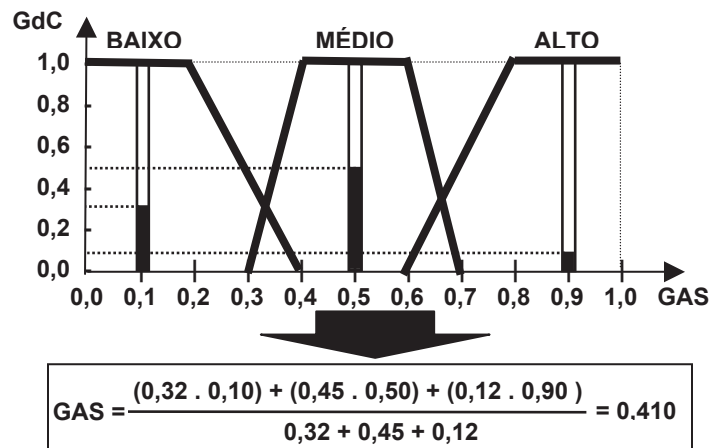


Figura 8: Defuzificação do Exemplo Hipotético

## 9. TREINAMENTO DA REDE

Algum algoritmo de aprendizagem de redes neurais deveria ser utilizado no presente método para gerar automaticamente as ponderações das bases de regras, isto é, os Fatores de Certeza (FC). Segundo Veiga (1994), tal procedimento seria um interessante exercício para se estabelecer quão rigorosa uma técnica automatizada seria para a avaliação heurística dos usuários. Entretanto, isso está além do escopo do presente trabalho. Por outro lado, a implementação de qualquer algoritmo de treinamento de aprendizagem poderia descaracterizar a essência da abordagem heurística proposta, uma vez que a extração de conhecimento dos usuários passaria a ser realizada por meio de um método matemático. Entretanto, os mecanismos de treinamento deste método podem ser tratados futuramente.

## 10. CONCLUSÕES

O método aqui proposto traduz o interesse coletivo numa escala numérica, com base em julgamentos subjetivos, trabalhando passo a passo as variáveis qualitativas, sem recair no ponto comum do paradigma atual da monetarização de valores intangíveis. Outrossim, pode-se concluir que existe um espaço nas políticas atuais de avaliação de sistemas de transporte para a introdução da interatividade entre os interesses privados, a ciência e os cidadãos. Em suma, o método aqui proposto pode, inicialmente, atuar como coadjuvante no processo de classificação de rodovias concessionadas de interesse público, criando, assim, um *ranking* sob o ponto de vista do usuário; e, no futuro, após seu aperfeiçoamento, poderá atuar de forma decisiva nas avaliações de concessões privadas de rodovias.

A tecnologia *neuro-fuzzy* comprovou ser uma técnica adequada no tratamento do conhecimento heurístico para imitar o raciocínio humano, conferindo elasticidade aos GdC atribuídos pelos usuários. Esta técnica pareceu ser de fácil entendimento e apresentou boa flexibilidade de utilização, além de permitir aos usuários introduzirem dados vagos, incertos e subjetivos. Ademais, a lógica *fuzzy* demonstrou ser uma técnica útil para inferir e transformar variáveis qualitativas em graus de certeza, para serem manuseadas em métodos heurísticos que utilizam termos lingüísticos, que são mais inteligíveis pelas pessoas não-técnicas do que os complexos métodos matemáticos e econômicos existentes.

A grande contribuição do presente trabalho foi a adaptação da tecnologia *neuro-fuzzy* para a avaliação participativa dos usuários de rodovias, já que este método vem sendo largamente utilizada no campo da automação industrial, em eletrônica, em sistemas de controle, em diagnósticos médicos e nas avaliações de concessão de crédito bancário. Além disso, o método aqui desenvolvido também pode ser aplicado para avaliações de outros modos de transporte, tais como o ferroviário, o hidroviário e o aeroviário, bem como em outros campos, tais como, análise de projetos de investimentos governamentais, seleção de recursos humanos, concursos públicos, avaliação de obras públicas, entre outros.

## REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT (2003) **Apresentação e Aspectos Gerais do Programa de Concessões**. Artigo capturado em 30/04/2003, da página eletrônica: <http://www.antt.gov.br>.
- Cox, E. (1992) **The Seven Noble Truths of Fuzzy Logic**. Artigo capturado em 11/04/1992, da página eletrônica: <http://www.aptronix.com/fuzzynet>
- Cury, M. V. Q. (1999) **Modelo Heurístico Neuro-Fuzzy para Avaliação Humanística de Projetos de Transporte Urbano**. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ.
- Duarte, M. (2003) **Concessão de Rodovias vai muito além do Pedágio**. Artigo capturado em 31/03/2003, da página eletrônica da Agência Estado: <http://www.aesetorial.com.br/transportes/artigos/2003/jan/14/235.htm>
- Meech, J. A. (1997) **Fuzzy Logic and Expert Systems**. Documento de Trabalho. University of British of Columbia, Vancouver, Canada.
- Mendes Filho, E. F. (1997) Evolutionary Design of MLP Neural Network Architectures. **IV Brazilian Symposium on Neural Networks**, IEEE Computer Press, Goiânia, Brazil.
- Ministério dos Transportes (2003) **Organograma**. Artigo capturado em 30/04/2003 da página eletrônica: <http://www.transportes.gov.br/>
- Nova Dutra (2003) **O que é concessão?** Artigo capturado em 30/04/2003 da página eletrônica: [http://www.novadutra.com.br/home\\_perguntas.html](http://www.novadutra.com.br/home_perguntas.html)
- Veiga, M. M. (1994) **A Heuristic System for Environmental Risk Assessment of Mercury from Gold Mining Operations**. Ph.D. Thesis, The University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Von Altrock, C. and Krause, B. (1994) Multi-Criteria Decision Making in German Automotive Industry Using Fuzzy Logic. **Fuzzy Sets and Systems, Vol. 63, 375-380**.
- Von Altrock, C. (1997) **Fuzzy Logic and Neuro-Fuzzy Applications in Business and Finance**. Prentice Hall, USA.
- Zadeh, L. A. (1965) Fuzzy Sets. **Inform and Control, Vol. 8, 338-353**.