



## A INFERÊNCIA NEBULOSA APLICADA À ANÁLISE DE DADOS NA AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO

A L N C Harris & L Y Cheng

Universidade de São Paulo -Escola Politécnica

Dept. de Engenharia. de Construção Civil -LabCAD

05508-900 – Av. Professor Almeida Prado, Tr. 2, nº83

Cidade Universitária - São Paulo/SP - Brasil

Fax: 21 (11) 818-5438 / 818-5791

E-mail: [luharris@pcc.usp.br](mailto:luharris@pcc.usp.br) , [cheng@pcc.usp.br](mailto:cheng@pcc.usp.br)

*Resumo Na Avaliação Pós-Ocupação (APO) muitos dos dados obtidos têm características subjetivas, o que vem a dificultar as análises matemáticas para o tratamento das variáveis qualitativas. Este trabalho visa estudar a aplicabilidade da Inferência Nebulosa (Fuzzy Logic) e sua possível contribuição no tratamento deste tipo de dado. O trabalho propõe uma metodologia baseada na inferência nebulosa para APO. Nesta metodologia foi abordada a inserção de um conhecimento de especialistas na forma de informações que permitem uma análise global dos dados. É também apresentado um estudo de caso como ilustração da metodologia.*

*Abstract In the Post-Occupancy Evaluation many of the collected data are subjective. This makes mathematical analyses difficult and therefore one comes up against the need of finding better solutions regarding the treatment of the qualitative variables. This paper aims at evaluating whether the Fuzzy Logic is applicable and its possible contribution to the treatment of this kind of data. This paper exposes what Fuzzy Logic is about and proposes a methodology for Post-Occupancy Evaluation based on Fuzzy Logic. Throughout this methodology the possibility of insertion of expertise knowledge in the form of critical information was considered in order to obtain a global analyses of data. To illustrate the methodology a case study is also presented.*

### 1 Introdução

A Inferência Nebulosa (*Fuzzy Logic*) constitui-se num dos tópicos da Teoria de Sistema Nebuloso (*Fuzzy Systems Theory*), apropriada para o tratamento de problemas que apresentam características subjetivas. Estas características são muito comuns nos índices utilizados para medições na área de conforto ambiental, como por exemplo, as sensações de satisfação do usuário com o meio ambiente em que se encontra inserido.

Por outro lado, observa-se que as metodologias correntemente utilizadas em APO para a avaliação da satisfação do usuário possibilitam uma visualização realística da situação analisada. Isso resulta em insumo tanto para detecção de problemas relativos a obra construída quanto para índices indicadores no desenvolvimento de novos projetos. No entanto, estes dados obtidos têm características basicamente qualitativas, limitando assim o seu aproveitamento por meio da estatística clássica. A metodologia proposta consiste aplicar a inferência nebulosa, para modelar e analisar os dados colhidos por meio de pesquisa de APO do ambiente construído.

## 2 Metodologia

Pesquisas na área de APO geralmente utilizam questionários com questões de múltipla escolha cuja resposta é constituída por termos que são associados a uma escala numérica discreta, onde termos como: péssimo, precário, bom e ótimo podem ser interpretados diretamente como variáveis lingüísticas através da Teoria de Sistema Nebuloso (TSN), na forma de conjuntos nebulosos.

Esta metodologia consiste em modelar um sistema onde é possível inserir conhecimento de especialistas da área de APO e utilizá-lo na análise dos resultados obtidos por meio de questionários aplicados nos levantamentos em campo. Esta análise refere-se aos possíveis efeitos que determinadas modificações poderiam causar nos ambientes em estudo. A inserção de conhecimento especialista é feita por regras do tipo:

**se ~ então ~ senão ~**

E a análise é feita através do mecanismo de inferência nebulosa.

A seguir, apresentaremos as variáveis lingüísticas, a estrutura das regras, o mecanismo de inferência nebulosa e os resultados obtidos de um caso de estudo.

## 3 Variáveis lingüísticas

Na metodologia proposta podemos modelar matematicamente as alternativas de um questionário de APO interpretando as alternativas para as respostas como sendo variáveis lingüísticas:

$$\tilde{A} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

onde,

$\tilde{A}$  é o conjunto de rótulos que representa as possíveis alternativas para uma determinada pergunta do questionário de APO para o ambiente construído.

$x_1, x_2, \dots, x_n$  são os rótulos, ou seja, os valores apresentados como opções de resposta aos usuário no questionário. Estes rótulos são modelados como variáveis lingüísticas.

Assim, definimos um **conjunto dos rótulos das alternativas**, conforme Figura 1.

$$\tilde{A} = \{\text{Péssimo, Precário, Bom, Ótimo}\}$$

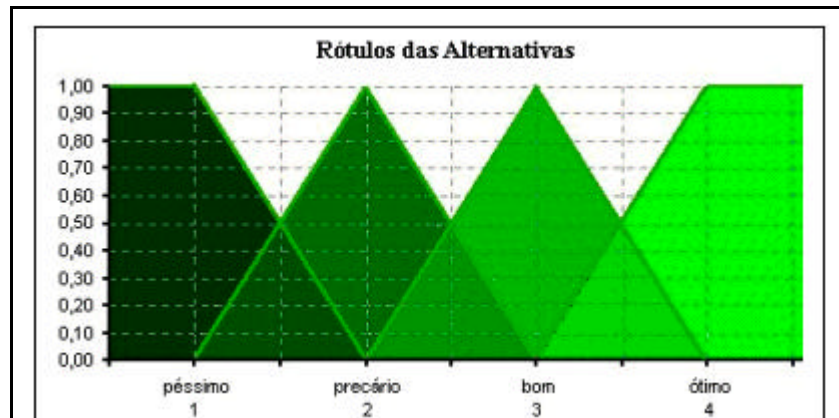


Fig. 1 Exemplo de um conjunto de rótulos das alternativas de um questionário

Para expressar a opinião dos especialistas sobre os efeitos que uma determinada modificação causaria no ambiente é definido um **conjunto dos rótulos dos efeitos**. Estes rótulos também são modelados como variáveis lingüísticas, são elas (Figura 2):

$$\tilde{B} = \{ \text{Muita Piora (MP), Pouca Piora (PP), Pouca Melhor (PM), Muito Melhor (MM)} \}.$$

As respostas obtidas dos usuários sobre a situação de um item *i* específico do questionário podem ser sintetizadas por um **conjunto nebuloso da "situação detectada"** do item *i*.

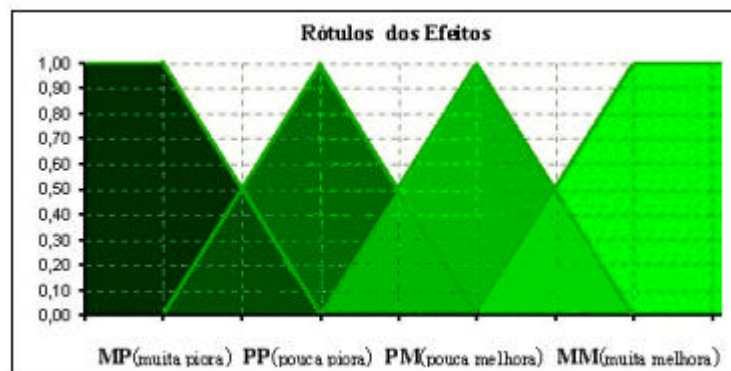


Fig. 2 Exemplo de um conjunto de rótulos que expressam os efeitos

No estágio atual de estudos de TSN, ainda não existe um consenso sobre a melhor maneira para definir conjuntos nebulosos com base nas respostas obtidas de questionários. Neste trabalho adotou-se uma abordagem simplificada baseada em parâmetros estatísticos do seguinte modo:

1<sup>o</sup> Assume-se uma distribuição normal. A média das respostas colhidas é utilizada para definir a moda do conjunto nebuloso;

2<sup>o</sup> A dispersão do conjunto nebuloso é definida como o intervalo de confiança da distribuição estatística da resposta. O índice de confiabilidade é definido arbitrariamente e varia de acordo com a necessidade de precisão;

3º O conjunto nebuloso é normalizado, ou seja, valor modal é igual a 1. Isso corresponde a fixar o grau de pertinência máximo no 1. Os valores extremos, com grau de pertinência igual a zero, são determinados pela dispersão( $\alpha$ ) e ( $\alpha$ );

4º Assume-se uma forma triangular para o conjunto nebuloso, por simplicidade.

Define-se então o conjunto nebuloso com as características mostradas na Figura 3.

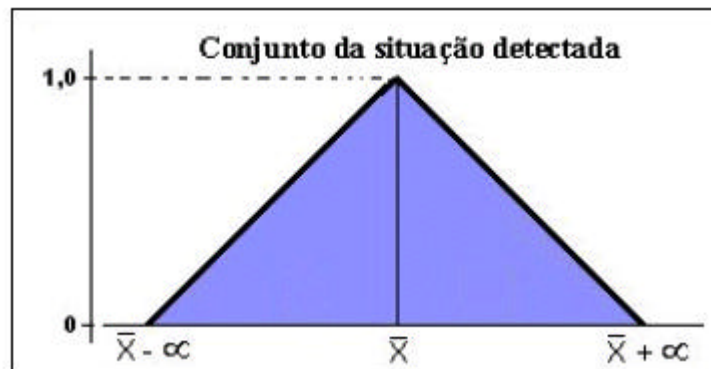


Fig. 3 Conjunto nebuloso para a situação detectada.

#### 4 Regras da Inferência Nebulosa

Na metodologia proposta, o conhecimento especialista é modelado na forma de proposições nebulosas para a inferência do seguinte modo:

Para cada uma das modificações **M** em estudo,

**SE** acontecer a situação 1 e ... e a situação n **ENTÃO** esta modificação **M** tem como efeito **W** no ambiente.

Por exemplo:

Proposição: **SE** ventilação estiver **X** e

Iluminação estiver **Y** e

Temperatura estiver **Z** **ENTÃO** produz efeito **W** no local.

Onde,

**Ventilação, iluminação e temperatura** são os **itens** analisados;

**X, Y e Z** são as variáveis lingüísticas ou rótulos referentes a **situação** de cada **item** analisado;

**W** é a variável lingüística ou rótulo sobre o efeito que a **modificação M** causará ao ambiente considerando o **estado** detectado, ou seja, a combinação de **situações** dos **itens** analisados.

Na prática, cada uma destas combinações de **situações** dos **itens** analisados corresponde a um **estado** específico do ambiente construído. Para cada **estado**

específico temos uma **opinião** de especialistas sobre o **efeito** gerado pela **modificação** a ser aplicada no ambiente. Assim, temos para cada **estado** específico uma **regra** de inferência.

Para cada **modificação** considerada, o conjunto das regras de inferência pode ser representado numa **estrutura matricial** de **m** dimensões, onde cada dimensão contém **n** divisões. O valor de **m** corresponde ao número de **itens** analisados e o valor de **n** é definido pelo número de variáveis lingüísticas ou **rótulos** utilizados para os **itens** analisados. Cada célula da **matriz** representa uma **regra** de inferência que modela uma **opinião** de especialistas sobre os **efeitos** que podem ser causados pela **modificação** e expressos por meio de **rótulos** de **efeitos** diante de um determinado **estado** em que o ambiente se encontra.

A Figura 4 ilustra a estrutura matricial de regras para a inferência com um caso bidimensional.

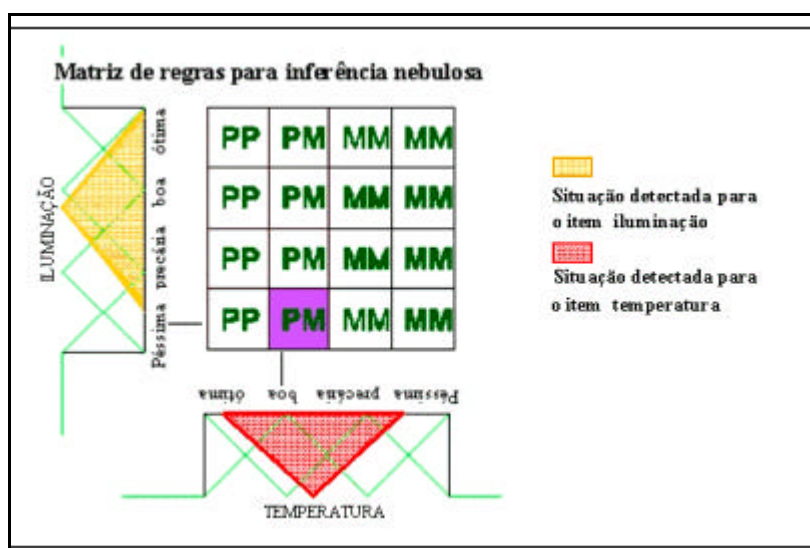


Fig. 4 Exemplo de uma matriz para regras de inferência nebulosa

No exemplo da Figura 4, a modificação considerada na análise é a 'instalação de ar condicionado' para um determinado ambiente A. Considerando este ambiente e a seguinte situação: Iluminação '**Péssima**' e Temperatura '**Boa**'. Da matriz verifica-se que o efeito resultante para o ambiente seria de 'Pouca Melhora (**PM**)', ou seja, segundo uma opinião especialista, neste caso e para este **estado** do ambiente A, o problema da iluminação não seria resolvido. A modificação apenas melhoraria a situação da temperatura, que por sua vez não exigiria interferência uma vez que se apresenta '**Boa**'.

## 5 Mecanismo de inferência

O processo de inferência utilizado neste trabalho é baseado no método de Mamdani (MAMDANI,1975). As operações que compõe este processo podem ser sintetizadas como:

1º A partir da situação detectada de todos os **itens** a serem analisados ( representada pelo conjunto nebuloso da situação detectada para cada item), realiza-se a inferência para cada regra ( por meio da matriz), com base na relação nebulosa proposta por Mamdani (CHENG,1997), para determinar o conjunto nebuloso de efeito produzido pela regra.

2º Com a união dos conjuntos nebulosos de efeito produzido em cada regra chega-se ao conjunto nebuloso que expressa o *Efeito* global.

3º Através de uma ‘desfuzzyficação’ do conjunto nebuloso de efeito global chega-se a um valor determinístico sobre o *Efeito* que a *Modificação* causará no ambiente estudado referente aos *Itens* analisados, no estado em que o ambiente se encontra.

## 6 Estudo de caso

Como o objetivo deste estudo foi ilustrar a aplicação da metodologia, utilizamos os dados de uma pesquisa de campo já realizada em um edifício de serviços no centro da cidade de São Paulo sobre APO. Seu enfoque foi centrado na situação dos ambientes de trabalho frente a inúmeros fatores ambientais. Escolheu-se como objeto do estudo os itens relacionadas a iluminação, temperatura e ventilação. As modificações consideradas no estudo são: instalação de brises e colocação de ar condicionado.

A partir dos dados escolhidos foram definidos:

- Três conjuntos de rótulos de alternativas, um para cada item:

$$\tilde{A}_{iluminação} = \{\text{Péssimo, Precário, Bom, Ótimo}\};$$

$$\tilde{A}_{temperatura} = \{\text{Péssimo, Precário, Bom, Ótimo}\} \in$$

$$\tilde{A}_{ventilação} = \{\text{Péssimo, Precário, Bom, Ótimo}\}.$$

- Um conjunto de rótulos para cada modificação considerada:

$$\tilde{B}_{instalação de brises} = \{\text{Muita Piora (MP), Pouca Piora (PP), Pouca Melhor (PM), Muito Melhor (MM)}\} \in$$

$$\tilde{B}_{instalação de ar cond.} = \{\text{Muita Piora (MP), Pouca Piora (PP), Pouca Melhor (PM), Muito Melhor (MM)}\}.$$

Deste modo, as regras de inferência puderam ser estruturadas em duas matrizes de três dimensões, uma para cada modificação em estudo, de 4 x 4 x 4 células cada. As regras foram delineadas com base numa pesquisa de opinião entre pesquisadores da área.

Foi definido um conjunto nebuloso de situação detectada para cada item com base nos parâmetros estatísticos das respostas obtidas dos questionários de APO, conforme Figura 5.



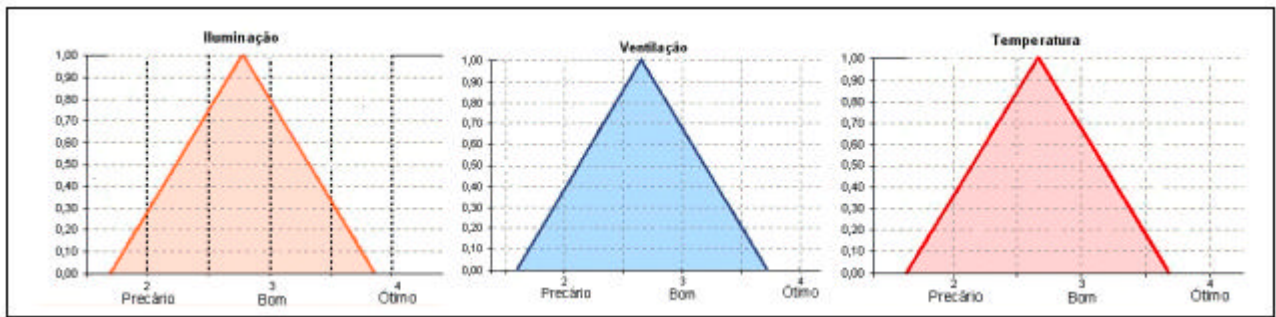


Fig. 5 Conjunto nebuloso de situação detectada para o item ventilação

Aplicando a inferência de Mamdani chegou-se a um efeito global para cada uma das modificações. Fazendo a ‘desfuzzyficação’ obteve-se os valores determinísticos, conforme Figura 6 e as seguintes interpretações:

- A **modificação** referente à instalação dos brises não interfere significativamente na situação apresentada, o resultado determinístico ficou entre ‘Pouca Piora (PP)’ e ‘Pouca Melhora (PM)’ quando analisado o estado geral do ambiente;
- A **modificação** referente à instalação do ar condicionado por sua vez, resultou em ‘Pouca melhora (PM)’ ao conforto do ambiente.

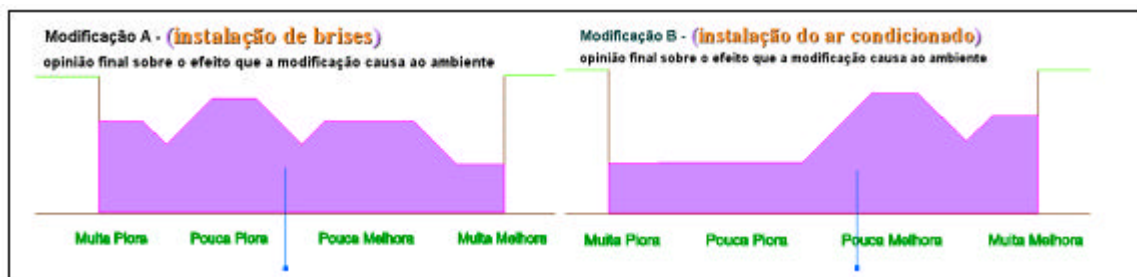


Fig. 6 Conjuntos dos efeitos globais com os pontos dos valores determinísticos

Sendo assim, neste estudo de caso obteve-se a resposta: das duas **modificações** analisadas, a que menos interfere no ambiente estudado é a instalação de brises.

## 7 Conclusão

A resposta obtida através da aplicação da metodologia aponta qual é o efeito quando uma modificação for executada dentro das condições indicadas pela situação detectada de cada item de avaliação considerado no estudo.

Esta resposta representa a opinião especialista sobre o assunto e pode ser utilizada tanto para avaliar a qualidade da solução proposta, quanto para servir de diretriz para reforma do ambiente construído ou melhorar novos projetos nas fases iniciais do processo de projeto.

Esta metodologia abre uma abordagem alternativa e adequada para as pesquisas de APO no tratamento das respostas dos questionários. Além disso, com a modelagem das alternativas dos questionários em variáveis lingüísticas e com a geração de conjuntos de regras para inferência nebulosa é possível estender a análise de APO

para estudar o impacto de cada modificação na melhoria do ambiente e, portanto, auxiliar na tomada de decisão.

## **8 Agradecimentos**

Agradecemos a Prof. Dra. Sheila Ornstein por ceder gentilmente o material utilizado para o estudo de caso.

## **9 Referências Bibliográficas**

CHENG, L.Y. (1997): *Quantificação de variáveis subjetivas no projeto*. Apostila da disciplina de pós-graduação 'PCC-5015', POLI - USP, São Paulo. n.p.

MAMDANI, E. H.; ASSILIAN S. (1975): An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *Intern. J. Man-Machine Studies*, 7, no. 1, pp.1-13

ORNSTEIN, S.; ROMÉRO M. (1992): *Avaliação pós-ocupação do ambiente construído*, Studio Nobel - EDUSP, São Paulo