

# A TEORIA DE SISTEMAS NEBULOSOS NA ANÁLISE DA QUALIDADE DO ESPAÇO INTERIOR

**CHENG, Liang-Yee (1); HARRIS, Ana Lúcia N.C.(2)**

(1)Eng. Naval, Doutor em Engenharia, professor do PCC-POLI-USP,  
Av. Prof. Almeida Prado, trav.-2, nº83, SP/SP, CEP-05508-900.

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

(2) Arquiteta, Mestre em Arquitetura, doutoranda no PCC-POLI-USP,  
Av. Prof. Almeida Prado, trav.-2, nº83, SP/SP, CEP-05508-900.

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

## RESUMO

Considerando o problema da dificuldade no tratamento de conceitos subjetivos no processo do projeto arquitetônico, principalmente nas suas fases iniciais, este artigo aborda uma possibilidade de aplicação da Teoria de Sistema Nebuloso (*Fuzzy System Theory*) como suporte ao projetista. Este artigo apresenta uma metodologia simples baseada na teoria, onde é utilizado o conceito de satisfação com relação à metragem dos ambientes internos de uma residência unifamiliar. Os índices de satisfação são obtidos com a utilização de ‘curvas de satisfação’, que por sua vez são determinadas a partir de um levantamento bibliográfico. Esta metodologia possibilita a análise e o redimensionamento das áreas dos ambientes.

## ABSTRACT

*On considering the problem involving the difficulty of introducing subjective concepts into the process of the architectonic project, especially in its initial phases, this paper proposes the possibility of using the Fuzzy System Theory for the architect to brace himself on. This paper presents a simple methodology based on the theory and the concept of satisfaction with the internal environmental dimension of a one family home. The satisfaction indices are obtained through graphs displaying satisfaction curves. As a hint that may considerably help the architect, this methodology enables analysis and redimensioning of environmental areas.*

## 1 INTRODUÇÃO

Na fase de concepção do projeto arquitetônico são definidas muitas das características básicas do projeto que influenciam efetivamente em algumas qualidades tais como: conforto térmico, iluminação natural, conforto acústico, etc.

Nesta fase do projeto, o projetista geralmente tem em mãos pouca informação além de sua experiência. Por outro lado, não se justifica uma pesquisa minuciosa de cada um dos itens de desempenho do sistema, pois isso pode despende um tempo que poderia ser

economizado com o uso de sistemas que o auxiliem a modelar e analisar os problemas do projeto. Uma das alternativas para isso está na utilização da Teoria de Sistema Nebuloso (TSN) para a modelagem de informações subjetivas do projeto.

Este trabalho faz parte de uma linha de pesquisa sobre a utilização da teoria no desenvolvimento de metodologias para o tratamento de informações subjetivas. CHENG (1999a) mostra da importância da consideração de subjetividade na análise do projeto. CHENG (1999b) apresenta uma técnica baseada no Método de Monte Carlo para operações com números nebulosos. CHENG (1999c) discute alguns aspectos da aplicação da teoria na área de Conforto Ambiental. HARRIS e CHENG (1999) aplica a inferência nebulosa na análise dos resultados de uma Avaliação Pós-Ocupação (APO). GRAÇA et al (2000) aplica a teoria para a qualificação subjetiva de imagens.

Como parte do desenvolvimento de um sistema de auxílio ao projeto, este trabalho apresenta uma metodologia simples, com base na TSN, para o auxílio à decisão sobre a metragem quadrada das áreas de uma habitação. O sistema é capaz de avaliar as áreas propostas inicialmente pelo projetista de acordo com a opinião dos usuários expressa na forma de ‘índice de satisfação’. Além disso, sugere ajustes caso estes sejam necessários. Esta avaliação está relacionada a uma distribuição equilibrada de áreas entre os ambientes de acordo com o tipo da função a que eles se destinam.

## **2 METODOLOGIA**

Cada ambiente no interior de uma habitação tem necessidades dimensionais específicas provenientes das dimensões humanas e das funções, que são determinadas com base nas atividades a que se destinam (PANERO,1979). A definição do espaço alocado para cada ambiente, expresso em metragem quadrada, é uma das primeiras diretrizes físicas do projeto. A metodologia proposta, parte do pressuposto de que o projetista tem em mãos a planta de um projeto residencial unifamiliar. Esta avaliação inclui:

- Análise do nível de satisfação dos ambientes, individualmente, pelas áreas.
- Análise da satisfação global, considerando o conjunto dos ambientes.
- Sugestões para readequação das áreas que garantam uma coerência na distribuição espacial destes ambientes.

A avaliação dos ambientes tem por base a opinião dos usuários. A TSN é utilizada para modelar a opinião dos usuários e para avaliar os projetos.

## **3 FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E CURVAS DE SATISFAÇÃO**

A modelagem da opinião dos usuários, através da TSN, é feita determinando-se uma função de pertinência para cada ambiente relacionando os índices de satisfação e uma faixa de áreas para este ambiente. Esta função é denominada de ‘curva de satisfação’.

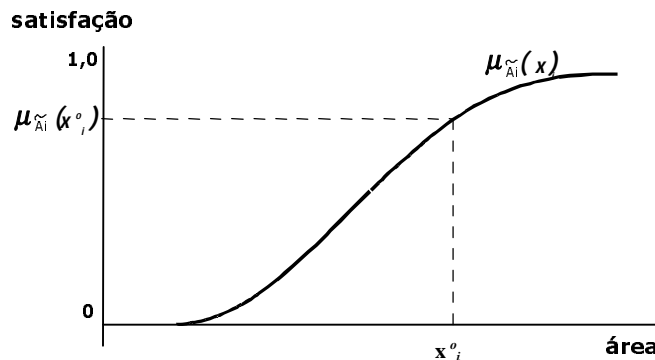
Partindo-se de uma planta baixa, conforme o exemplo dado na Figura 1, a metodologia permite a avaliação do espaço alocado para cada ambiente de acordo com a opinião dos usuários que são modeladas na forma de ‘curva de satisfação’.

O conceito de ‘satisfação’ pode ser utilizado para definir outros aspectos relacionados ao conforto ambiental do projeto, principalmente os que representam as expectativas dos usuários, com características subjetivas. Neste estudo, por simplicidade, os esforços foram concentrados nos problemas de satisfação em relação as metragens quadradas

para cada ambiente  $i$ . Em geral, cada ambiente  $i$  apresenta uma curva específica de satisfação em relação a metragem quadrada, conforme mostra a Figura 2, uma vez que cada ambiente possui necessidades específicas de área em função das atividades a que ele se destina. Neste trabalho consideramos, numa primeira abordagem, curvas distintas para os seguintes ambientes: dormitório, sala, cozinha e banheiro.



**Fig. 1 – Planta baixa de um apartamento no Residencial Jardim Glória – SP (adaptado de prospecto do jornal- notícias- Afusp, abril/1998).**



**Fig.2 – Curva de satisfação em função da área de um ambiente.**

Na Figura 2,  $\mu_{\tilde{A}i}(x)$  é a função que representa a ‘curva de satisfação’, relacionando a área  $x$  do ambiente  $i$  com o índice de satisfação alcançado por ela. Em outras palavras, é a função de pertinência (*membership function*) do conceito nebuloso ‘satisfação’  $\tilde{A}$  do ambiente  $i$  de acordo com a sua metragem. As curvas podem ser determinadas a partir do julgamento subjetivo e intuitivo baseado na experiência do projetista ou, de modo mais elaborado, a partir de uma pesquisa sobre a opinião dos usuários. As curvas são específicas para cada padrão habitacional a que se destinam. Tendo-se a curva de satisfação e a área do ambiente  $i$ , pode-se avaliar a qualidade, ou seja, a satisfação deste ambiente em função de sua área. Para isto, basta entrar com o valor da área inicial  $x_i^o$  do ambiente na ‘curva de satisfação’ e encontrar o índice inicial de satisfação  $\mu_{\tilde{A}i}(x_i^o)$  correspondente, conforme exemplo na Figura 2.

A otimização do projeto com relação ao aspecto de alocação dos espaços para os diversos ambientes que disputam o espaço total disponível, leva a uma solução de

compromisso, ou seja, é necessário que se atinja um equilíbrio entre os índices de satisfação dos ambientes. Se o que está sendo avaliada é a metragem quadrada de cada ambiente  $i$ , é importante que os índices de satisfação correspondentes a cada ambiente, além de alcançarem valores adequados, apresentem também valores compatíveis entre si. No caso de existir uma diferença significativa entre os índices de satisfação, em relação às metragens quadradas, dos ambientes  $i$ , as áreas devem ser redimensionadas para que os índices sejam igualados.

Sendo assim, o objetivo da metodologia para a resolução do problema de distribuição espacial é alcançar índices de satisfação  $\mu_{\tilde{A}i}(x_i)$ ,  $i=1,...,n$ , onde  $n$  é o número de ambientes, coerentes entre si. Vale a pena ressaltar que os ambientes  $i$  podem ter importâncias variadas, por exemplo: um 2º dormitório, num projeto residencial, pode ser menos importante do que um 1º dormitório. Assim, teoricamente, cada ambiente deve ter sua própria ‘curva de satisfação’.

O objetivo do ajuste é, portanto, igualar os índices de satisfação dos ambientes a fim de atingir uma distribuição harmoniosa:

$$\mu_{\tilde{A}_1}(x_1^f) = \mu_{\tilde{A}_2}(x_2^f) = \dots = \mu_{\tilde{A}_n}(x_n^f) \quad , \quad (1)$$

onde o índice  $f$  indica o valor final.

Como restrição do problema, temos a área total que deve ser mantida após a distribuição:

$$\sum_{i=1}^n x_i^f = \sum_{i=1}^n x_i^o \quad . \quad (2)$$

Para cada ambiente  $i$  temos uma curva de satisfação  $\mu_{\tilde{A}i}(x)$  definida previamente, e duas incógnitas: área final  $x_i^f$  e índice final de satisfação a ela associada  $\mu_{\tilde{A}i}(x_i^f)$ . Somando-se as equações (1) e (2), conclui-se que o problema de readequação dos espaços envolvendo  $n$  ambientes possui  $n + 2$  equações para  $2n$  incógnitas. Deste modo, o problema só apresenta solução analítica para casos que envolvem apenas dois ambientes, o que está muito distante de uma situação real. Portanto, faz-se necessária uma solução iterativa para o problema aberto.

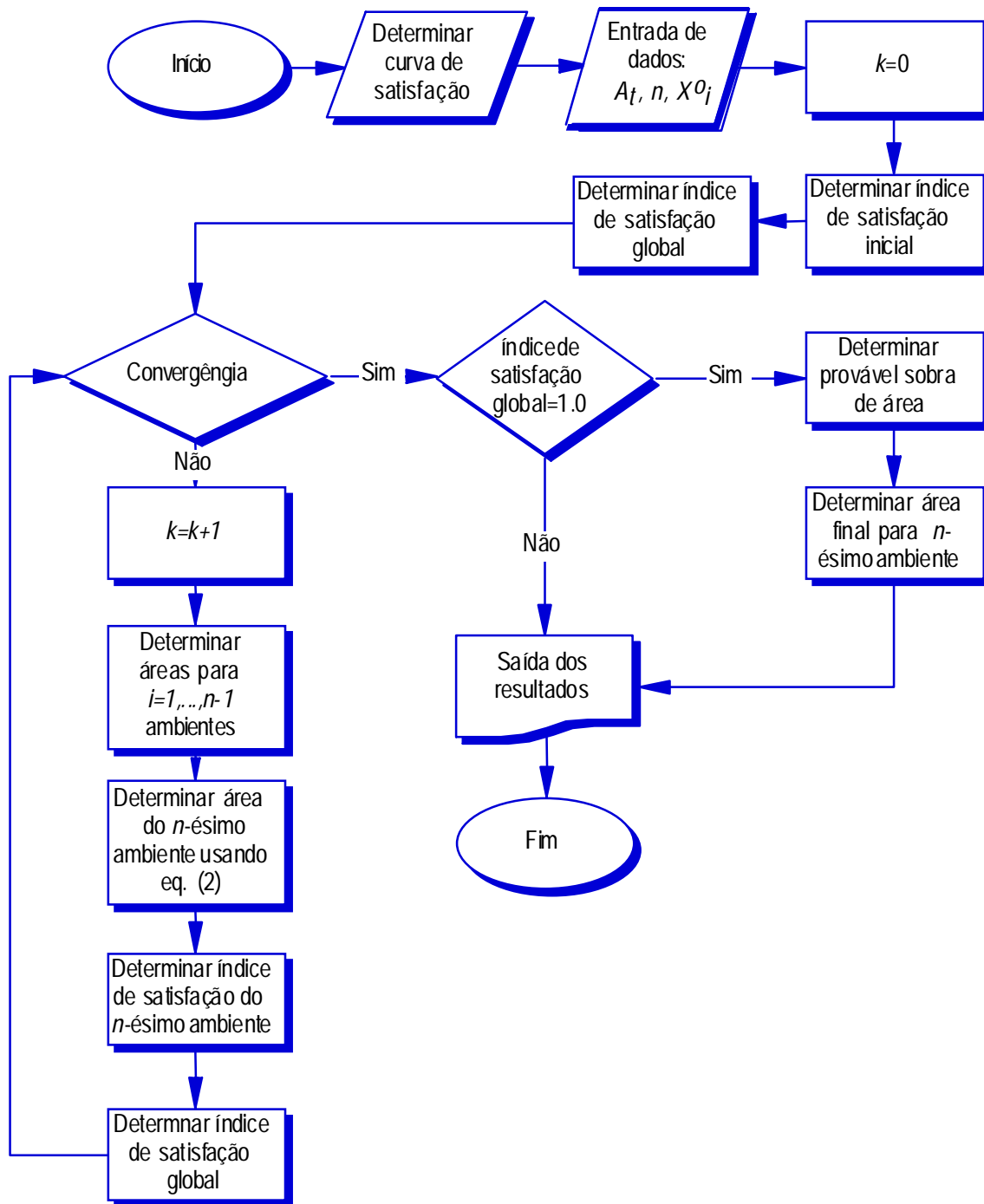
## 4 ALGORITMO DA METODOLOGIA

A solução iterativa pode ser obtida utilizando-se, como guia para a busca, o índice de satisfação global da habitação, definido como:

$$\mu_g^k = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}i}(x_i^k)}{n} \quad , \quad (3)$$

onde  $k$  é o número de iteração, pois, de acordo com a equação (1), ao final do ajuste, teremos:

$$\mu_g^f = \mu_{\tilde{A}i}(x_i^f) \quad , \quad i=1,...,n \quad . \quad (4)$$



**Fig. 3 – Algoritmo para a análise do espaço dos ambientes.**

O fluxograma da metodologia é dado na Figura 3 e procede da seguinte maneira:

1. Definição das curvas de satisfação  $\mu_{Ai}(x)$  para os ambientes a serem analisados.
2. Entrada dos dados referentes às áreas propostas inicialmente para o projeto, através da leitura do *croqui* da planta baixa:

$A_t$  : a área total disponível no projeto,

$n$  : número de ambientes,

$x^0_i$  : valor da área inicial do ambiente  $i$ , para  $i=1,...,n$ .

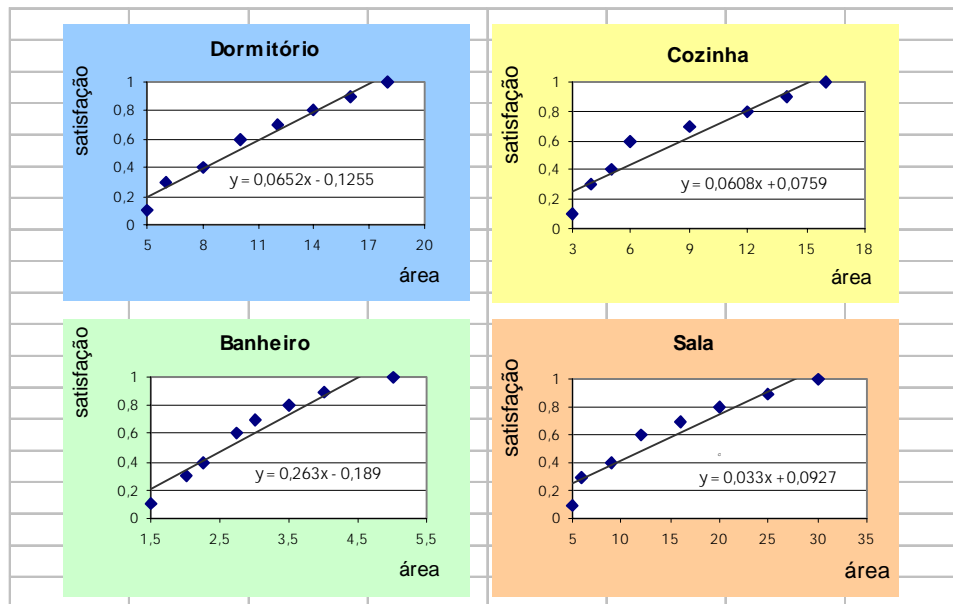
3. Determinação do índice inicial de satisfação  $\mu_{\bar{A}i}(x_i^0)$  para cada ambiente  $i$  usando ‘curva de satisfação’ do ambiente.
4. Determinação do índice inicial de satisfação global  $\mu_g^0$ , ou seja, a média dos índices de satisfação dos ambientes  $i=1,...,n$  na iteração  $k=0$ .
5. Análise das discrepâncias entre os índices de satisfação de cada ambiente e o índice de satisfação global. Elas devem ser menores que um valor muito pequeno  $\epsilon$ , denominado de critério de convergência, ou seja:

$$| \mu_{\bar{A}i}(x_i^k) - \mu_g^k | \leq \epsilon, \forall i = 1,...,n, \quad (5)$$

6. Se as discrepâncias fossem menores que o critério de convergência  $\epsilon$ , significa que os índices de satisfação de todos os ambientes são muito próximos e, portanto, as áreas encontram-se harmoniosamente distribuídas. Neste caso, existem duas situações para o índice de satisfação global:
  - a. Se o índice de satisfação é máximo (igual a 1.0), segue-se para o passo 11.
  - b. Se o índice de satisfação global é menor que 1.0, segue-se para o passo 12.
7. Por outro lado, se esta diferença for maior que o critério de convergência  $\epsilon$ , avança-se a contagem da iteração  $k$  e inicia-se um processo para o cálculo de novas áreas  $x_i^k$ , através da inserção do índice de satisfação global  $\mu_g^k$  na função inversa da curva de satisfação  $\mu_{\bar{A}i}^{-1}(x)$  dos ambientes  $i$ , onde  $i = 1...n-1$ , ou seja, menos para o  $n$ -ésimo (último) ambiente.
8. A área  $x_n^k$  do  $n$ -ésimo (último) ambiente na  $k$ -ésima iteração, é calculada aplicando a restrição dada na equação (2), através da diferença da área total disponível com a soma das áreas dos demais ambientes, calculadas no passo 7.
9. Com  $x_n^k$  e a curva de satisfação para o  $n$ -ésimo (último) ambiente, determina-se o índice de satisfação  $\mu_{\bar{A}i}(x_n^k)$  correspondente.
10. Calcula-se o novo índice de satisfação global  $\mu_g^k$ . Em seguida repete-se os passos 5 a 10, até que a condição de convergência do passo 6 seja satisfeita.
11. Se no final do processo o índice de satisfação global atingir seu valor máximo ( $\mu_g^k=1.0$ ), é possível que haja sobra de áreas. Neste caso, determina-se o valor da sobra de área e recalcula-se a área do  $n$ -ésimo (último) ambiente.
12. Uma vez satisfeito o critério de convergência, dado pela equação (5), as áreas  $x_i^k$  e os índice de satisfação  $\mu_{\bar{A}i}(x_i^k)$ ,  $i=1,...,n$ , determinadas iterativamente satisfazem as equações (1) e (2) e são, portanto, assumidos como  $x_i^f$  e  $\mu_{\bar{A}i}(x_i^f)$ ,  $i=1,...,n$ .

## 5 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA

Para o teste inicial da metodologia, as curvas de satisfação foram levantadas hipoteticamente, a partir da intuição dos pesquisadores. As curvas são mostradas na Figura 4. Para a validação da metodologia, usou-se a planta de um apartamento padrão apresentada na Figura 1. Assumiu-se que a planta apresenta uma distribuição adequada dos espaços internos. Assim, a partir da metragem dos ambientes internos da planta, cujo valor total, excluindo a área de serviço, é de 35,78 m<sup>2</sup>, foram realizados três testes:



**Fig.4 – Curvas de satisfação hipotéticas.**

- No primeiro teste, utilizando as áreas dos ambientes, obteve-se um índice de satisfação global em torno de 0,44 para o apartamento. As discrepâncias entre os índices de satisfação de todos os ambientes foram relativamente pequenas. Partindo do pressuposto de que o projeto apresenta uma distribuição relativamente equilibrada dos espaços, confirma-se que as curvas de satisfação estão próximas da realidade no caso estudado, pelo menos na faixa analisada. A intuição dos pesquisadores, apesar de imprecisa, vaga e subjetiva é útil e as vezes imprescindível e efetiva para resolver os problemas mal-definidos (*ill-defined*) do projeto.
- No segundo teste, verificou-se a capacidade de convergência da metodologia. Para isso, utilizou-se os mesmos valores das áreas anteriores, porém com os tipos dos ambientes trocados. Obteve-se assim, novas áreas para cada ambiente, cujos valores ficaram muito próximos dos da planta real, mostrando eficácia na convergência.
- No último teste, utilizou-se valores quaisquer para os ambientes, porém, conservando o valor da área total original. Os resultados obtidos foram muito próximos dos da planta real, confirmando os resultados anteriores.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo foi dedicado a apresentação de uma metodologia desenvolvida, com base na Teoria de Sistemas Nebulosos, para a análise da satisfação do usuário em relação aos aspectos do conforto ambiental. No estágio atual, pode-se constatar a viabilidade da aplicação da teoria para a análise da qualidade dos ambientes de um projeto. Com o intuito de simplificar o tema, tratou-se especificamente da análise da satisfação com relação a metragem dos ambientes internos de um projeto residencial unifamiliar. A metodologia avalia os ambientes em relação a satisfação dos usuários e também propõe uma readequação dos espaços alocados para os ambientes, de forma que atinjam uma

distribuição harmoniosa das áreas. Com esta finalidade, utiliza-se como 'guia', o índice de satisfação global, definido-o a partir da média dos índices de satisfação de cada ambiente. Para isto, supõe-se que é possível levantar curvas de satisfação em relação as metragem dos ambientes. O valor da maior diferença alcançada no processo para a validação da metodologia, apresentou-se em torno de 0,6m<sup>2</sup>, tendo como causa principal as diferenças subjetivas de satisfação em relação as exigências dos ambientes reais e as geradas pelas curvas hipotéticas. Na segunda fase da pesquisa estão sendo desenvolvidas metodologias para a determinação de curvas de satisfação para dois padrões de população Padrão Popular e Médio, pois entende-se que, pelo fato das realidades e costumes serem diferentes, as variações das necessidades e funções para os ambientes devem ser respeitadas. Além disso, o uso do conceito de 'satisfação' permite a inclusão de outros parâmetros de conforto ambiental, em estudos posteriores.

## **7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- CHENG, L.Y. (1999a) **Consideração de fatores subjetivos no projeto**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE (SBAI'99), 4. **Anais**. São Paulo: SBAI, 1999.pp.326-331.
- CHENG, L.Y. (1999b) **Aplicação do Método de Monte Carlo para as operações de números nebulosos**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE (SBAI'99), 4. **Anais**. São Paulo: SBAI, 1999. pp.308-313.
- CHENG, L.Y. (1999c) **A teoria de sistema nebuloso e as informações subjetivas de conforto ambiental**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5. **Anais**. Fortaleza, 1999 (no prelo).
- FIALHO F.A.P. (1994) **A fuzzy architecture for an eco-ergonomic approach**. JAPAN JOINT SYMPOSIUM ON FUZZY SYSTEMS 07/94.
- GRAÇA, V.A.C.; CHENG L.Y.; PETRECHE, J.R.D. (2000) **Qualificação subjetiva de imagens arquitetônicas utilizando a Teoria de Sistemas Nebulosos**. In: GRAPHICA'2000. Ouro Preto (no prelo).
- HARRIS, A.L.N.C. e CHENG, L.Y. (1999) **A inferência nebulosa aplicada a análise de dados na avaliação pós-ocupação**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., Fortaleza, 1999 (no prelo).
- PANERO, J. (1979) **Human dimension & interior space: a source book of design reference standards**. New York: Whitney Library of Design, 1979. 320p.
- ZIMMERMANN, H.J. (1987) **Fuzzy Sets, Decision Making and Expert Systems**. Boston/Dordrecht/ London: Kluwer Academic Publishers, 1987.