



**III ENCONTRO NACIONAL  
I ENCONTRO LATINO-AMERICANO**  
Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

**CONJUNTOS NEBULOSOS E QUALIDADE ACÚSTICA  
DE AMBIENTES SONOROS**

Prof. Jules G. Slama  
Arqta. Denise da Silva de Sousa  
Ana Lúcia Poças Zambelli  
FAU/UFRJ PEM COPPE/UFRJ  
CAIXA POSTAL 68503 CEP 21945-900  
RIO DE JANEIRO

E-mail: Jules@serv.com.ufrj.br/Denise@serv.com.ufrj.br

**RESUMO**

A avaliação subjetiva do incômodo causada pelo ruído no homem é realizada através de pesquisas envolvendo amostras representativas da população. Os resultados são tratados estatisticamente, conduzindo a valores médios a partir dos quais são estabelecidas metodologias para avaliação da qualidade acústica do ambiente. As metodologias, que se baseiam na comparação dos níveis por faixas, de oitavas com curvas padronizadas de critério de ruído, são analisadas à luz da Lógica "fuzzy" (Nebulosa). Essa teoria recentemente apresentada por Lofti Zadeh, em 1965, pode ser utilizada como ferramenta metodológica na fase de elaboração desses critérios, assim como na classificação e adequação, de um determinado ambiente.

**ABSTRACT**

A subjective evaluation of annoyance due to noise is performed using representative samples of the population. The results are statistically processed and the mean values are used to construct methodologies to estimate environmental acoustic quality. Fuzzy logic is used to analyze a classical methodology that compares the noise level spectra in octave bands with standard curves of noise criterion. The aim of this paper is to show that this theory, which has been presented recently in 1965 by Lofti Zadeh, can be used to define new methodologies and to classify or adjust the noise of an activity area.

**PALAVRAS-CHAVE**

Qualidade Acústica; Conjuntos Nebulosos; Lógica Nebulosa Lógica Fuzzy.

## INTRODUÇÃO

A qualidade acústica de um ambiente, em relação ao seu ruído de fundo dependendo da sua finalidade, é definida a partir do nível em dB(A) ou de critérios de ruído existentes, como: NC (Noise Criteria), NR (Noise Rating), PNC (Preferred Noise Criteria) ou RC (Room Criteria). Há uma imprecisão na definição dos valores a serem adotados para níveis de conforto, podendo ser percebida pela gama de recomendações encontradas na literatura técnica.

## LÓGICA FUZZY

A Lógica "fuzzy" é empregada onde o conhecimento é usualmente impreciso, sendo mais fácil verbalizá-lo do que defini-lo matematicamente. Como por exemplo, nós podemos dizer que um ambiente é acusticamente aceitável, quando o nível de ruído não é muito alto, mas não podemos afirmar com precisão, qual seria esse nível, a não ser enquadrá-lo dentro de uma faixa de incômodo, já que a própria resposta humana a este estímulo pode ser imprecisa também. A seguir, são apresentadas definições relacionadas com a Lógica "fuzzy", bem como a sua aplicação na compreensão e melhoria da forma de avaliação da qualidade acústica de ambiente.

**Conjunto "Fuzzy".** Diferentemente da teoria clássica, em que simplesmente um elemento pertence ou não a um conjunto (lógica binária), esta lógica introduz os conjuntos "fuzzy" (nebulosos), em que um subconjunto A é caracterizado pela sua função de pertinência  $\mu(x)$ , que associa a cada elemento x um número entre 0 e 1, representando o grau de pertinência de x para o subconjunto. Várias definições para as operações de união e interseção foram propostas por diversos autores. Na mais clássica, definida por Zadeh, a função de pertinência da interseção é o mínimo das funções de pertinência de cada conjunto e a união é o máximo.

**Variável Lingüística.** Uma variável lingüística é uma informação qualitativa, atribuída a um determinado objeto, a qual pode ser associada a um conjunto "Fuzzy". Por exemplo, a partir da proposição "pessoa jovem", no qual JOVEM é considerada uma variável lingüística, Zadeh propõe um conjunto Fuzzy com uma função de pertinência igual a 1, para pessoas entre 0 e 25 anos e decrescente de 1 a 0, para pessoas entre 25 e 100 anos, conforme o gráfico abaixo:

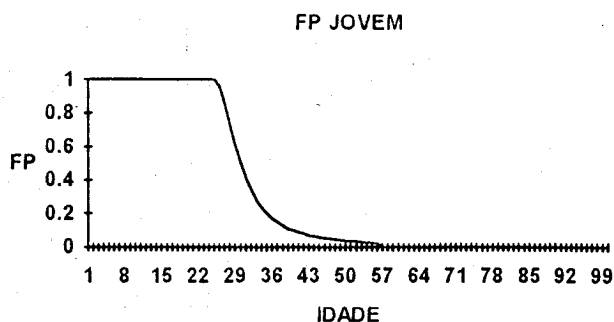


Figura 1. Função de pertinência para pessoas jovens

## METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ACÚSTICA DE UM AMBIENTE EM RELAÇÃO AO SEU RUÍDO DE FUNDO.

A Norma NBR 10152 (NB95) apresenta formas diferentes de avaliação de um ambiente sonoro em relação ao seu ruído de fundo, utilizando o dB(A) ou o CR (NC da Norma ISO associado). Analisamos, a seguir, a metodologia baseada no CR.

Consideramos, para exemplificar, que o ruído num local apresenta um espectro por faixas de oitavas, conforme abaixo:

**Tabela 1. Espectro de um ruído (NPS) por faixas de oitava.**

freq.	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000
NPS	65	60	55	50	45	40	35	30

**Metodologia para obter o CR do ruído.** Para cada faixa de oitava, calcula-se o CR associado através de uma tabela, relacionando o nível em dB com o CR. O CR Global do ruído de fundo será o supremo dos CR de cada uma das faixas de frequências. A operação que consiste em passar do valor do CR de cada faixa para o CR Global, pode ser considerada como uma operação de união de conjuntos fuzzy

**Tabela 2. Passagem de níveis de pressão sonora por faixas de oitavas a níveis NC para as mesmas faixas.**

freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NPS	50	45	40	35	30	25	20	15
NC	19	26	29	30	29	26	23	19

O critério de ruído global (CR) é NC 30, alcançado nas faixas de 500Hz. Costuma-se comparar os níveis de ruído por faixas de oitavas, com os níveis correspondentes ao critério global.

**Tabela 3. Comparação entre os níveis de ruído por faixas de oitavas com os correspondentes ao critério global.**

freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NC 30	57	48	41	35	31	29	28	27
NPS	50	45	40	35	30	25	20	15
DIF	-7	-3	-1	0	-1	-4	-8	-12

Considerando a atividade "Escritório, Salas de reunião", conforme estabelecido na Norma NBR 10152, o conforto acústico é assegurado, se o CR é inferior a NC 25, e a condição de aceitabilidade é assegurada, para um CR compreendido entre NC 25 e NC 35. À luz da Lógica Fuzzy, podemos construir uma função de pertinência de aceitabilidade e uma função de pertinência de rejeitabilidade.

Se um ruído, numa faixa, está abaixo de NC25, há aceitabilidade total para esta faixa. Se o ruído está acima de NC 30, há rejeição global do local para a realização de salas de reuniões. Para uma faixa de oitava determinada, é possível propor uma função de pertinência de

rejeitabilidade. Se o CR é inferior a NC25, a função de pertinência é nula. Essa função cresce linearmente até NC 35, onde ela vale 1. Acima de NC 35 o valor continua sendo igual a 1.

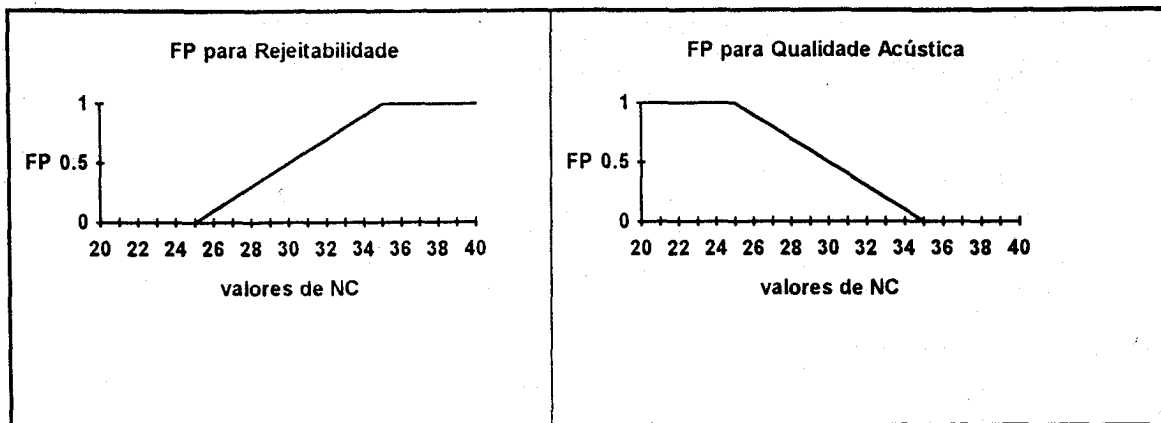


Figura 2. Função de pertinência para Rejeitabilidade

Figura 3. Função de pertinência para a Qualidade Acústica.

O cálculo do CR global é similar a uma união proposta por Zadeh. O ambiente deve ser rejeitado, se o CR em pelo menos uma das faixas de frequência, ultrapassar o valor do CR-A. A rejeitabilidade global é obtida pela união da rejeitabilidade por faixas de oitavas. O defeito dessa avaliação é que ruídos de diversas energias podem conduzir ao mesmo CR global, correspondente ao nível máximo. Não há interatividade dos níveis mais baixos com o nível máximo.

Tabela 4. Tabela de verdade de união segundo Zadeh

$$\mu_{A \cup B}(x, y) = \text{Max}(\mu_A(x), \mu_B(y))$$

	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
25	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1.0
26	.1	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1.0
27	.2	.2	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1.0
28	.3	.3	.3	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1.0
29	.4	.4	.4	.4	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1.0
30	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.6	.7	.8	.9	1.0
31	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.7	.8	.9	1.0
32	.7	.7	.7	.7	.7	.7	.7	.7	.8	.9	1.0
33	.8	.8	.8	.8	.8	.8	.8	.8	.8	.9	1.0
34	.9	.9	.9	.9	.9	.9	.9	.9	.9	.9	1.0
35	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Tabela 5. Tabela de verdade para a união probabilística

	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
25	.00	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90	1.
26	.10	.19	.28	.37	.46	.55	.64	.73	.82	.91	1.
27	.20	.28	.36	.44	.52	.60	.68	.76	.84	.92	1.
28	.30	.37	.44	.51	.58	.65	.72	.79	.86	.93	1.
29	.40	.46	.52	.58	.64	.70	.76	.82	.88	.94	1.
30	.50	.55	.60	.65	.70	.75	.80	.85	.90	.95	1.
31	.60	.64	.68	.72	.76	.80	.84	.88	.92	.96	1.
32	.70	.73	.76	.79	.82	.85	.88	.91	.94	.97	1.
33	.80	.82	.84	.86	.88	.90	.92	.94	.96	.98	1.
34	.90	.91	.92	.93	.94	.95	.96	.97	.98	.99	1.
35	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.

Outros exemplos de união pode ser utilizados, como por exemplo, a "União Probabilística" cuja função de pertinência é dada por:

$$\mu_{A \cup B}(x, y) = \mu_A(x) + \mu_B(y) - \mu_A(x) \mu_B(y)$$

Neste caso, na Tabela 5, a combinação de NC 29 ( $\mu=0.40$ ) com NC 33 ( $\mu=0.80$ ) é NC 34 ( $\mu=0.88$ ), proporcionando a interação dos níveis de pressão sonora por faixas de oitava. Experimentos deveriam ser realizados a fim de se encontrar uma tabela mais apropriada para este caso.

## CONCLUSÃO

A teoria dos conjuntos nebulosos (fuzzy sets) permitiu analisar a forma de avaliação da qualidade acústica de um ambiente, mediante a utilização de funções de pertinência e de resultados relativos a união destes conjuntos. Foi discutida, uma metodologia para a combinação dos níveis NC por faixas de frequências, a fim de se construir um critério de qualidade para o ruído global.

## REFERÊNCIAS

- [1] ZADEH, Lofti A. *Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-3, Nº , January 1973
- [2] BRADLEY, J.S. *Noise levels in rooms*. Noise control engineering journal, Vol. 42, Number 6 1994 November -December.