

AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO ACÚSTICA: UM INSTRUMENTO DE APOIO AO  
PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL NA CIRCUNVIZINHANÇA DE PEQUENOS  
AEROPORTOS

Marta Ribeiro Valle Macedo

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE  
PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE  
JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO  
GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS, EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Aprovada por:

---

Prof. Mário César Rodrigues Vidal, D.Sc.

---

Prof. Jules Ghislain Slama, D.Sc.

---

Prof. Carlos Alberto Nunes Cozensa, D.Sc.

---

Prof. Mauro César de Oliveira Santos, D.Sc.

---

Prof. Sheila Walbe Ornstein, D.Sc.

---

Prof. Webe João Mansur, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
DEZEMBRO DE 2004

MACEDO, MARTA RIBEIRO VALLE

Avaliação Pós-Ocupação Acústica: Um instrumento de apoio ao planejamento e gestão ambiental na circunvizinhança de pequenos aeroportos. [Rio de Janeiro] 2004.

XIX, 421 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc, Programa de Engenharia de Produção, Área Interdisciplinar de Acústica Ambiental, 2004).

Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

1. Avaliação Pós-Ocupação
2. Acústica
3. Gestão Ambiental
4. Aeroportos

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

---

---

*Dedico este trabalho a minha família, pela participação especial que teve em cada etapa do seu desenvolvimento e pela compreensão dispensada nos momentos em que não pude lhe dedicar atenção e a minha mãe que, infelizmente, não chegou a vê-lo concluído.*

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaria de agradecer aos Professores Jules Slama e Mário César Vidal pela dedicação, paciência e grande estímulo dispensados durante a orientação deste trabalho, demonstrando serem não apenas mestres, mas grandes amigos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pela bolsa concedida durante os primeiros anos do curso.

Aos profissionais do Instituto de Aviação Civil (IAC), em especial ao Eng. Paulo Abdala pelo fornecimento de dados e informações fundamentais ao seu desenvolvimento.

À equipe da torre de controle do Aeroporto de Jacarepaguá (INFRAERO), pela oportunidade de conhecer com maior profundidade o sistema operações do aeroporto objeto de estudo, permitindo-me compreender a situação acústica da área em questão.

Ao grupo de Acústica Ambiental da COPPE/UFRJ pelo apoio na elaboração das curvas de ruído e à amiga Ana Paula Gama na aplicação de questionários no Bosque da Barra.

Aos síndicos e funcionários dos edifícios situados no entorno do Aeroporto de Jacarepaguá, em especial ao senhor Luciano pelo grande auxílio na aplicação dos questionários.

À diretora do Colégio Estadual Vicente Jannuzzy, Prof. Judith, cuja compreensão foi indispensável à aplicação de questionários aos alunos e professores da escola.

Aos professores Cheng Liang e Sheila W. Ornstein pelas orientações e apoio dedicados durante a minha estada em São Paulo.

Aos amigos e companheiros de trabalho da FIOCRUZ, pelas opiniões e grande incentivo oferecido nos momentos mais difíceis.

Ao paisagista Leonardo Almeida da FIOCRUZ pela grande contribuição com a definição da vegetação mais adequada ao clima do Rio de Janeiro na composição de barreiras acústicas vegetais.

*A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho, MUITO OBRIGADA!*



Resumo de tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO ACÚSTICA: UM INSTRUMENTO DE APOIO AO PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL NA CIRCUNVIZINHANÇA DE PEQUENOS AEROPORTOS

Marta Ribeiro Valle Macedo

Dezembro 2004

Orientadores: Jules Ghislain Slama

Mário César Vidal

Programa: Engenharia de Produção

O presente trabalho apresenta uma metodologia de avaliação do ambiente sonoro de áreas urbanas situadas na circunvizinhança de aeroportos, baseada em uma abordagem sistêmica e na Avaliação Pós Ocupação Acústica, a qual é utilizada como uma ferramenta que permite diagnosticar o ambiente sonoro no entorno de aeroportos, considerando-o um sistema ambiental de grande complexidade.

A metodologia apresentada objetiva auxiliar na implementação da Abordagem Equilibrada aprovada pela “Assembly Resolution A33-7”, realizada pela OACI (Organização Internacional de Aviação Civil), em 2001.

A Teoria de Sistemas Nebulosos é utilizada na criação de um modelo que tem como entrada os dados resultantes da APO e como saída um indicador da qualidade ambiental sonora do sistema em avaliação. Este procedimento se justifica devido a sua grande habilidade em lidar com variáveis subjetivas e com sistemas de grande complexidade.

Como exemplo, a metodologia proposta foi aplicada à área em torno do Aeroporto de Jacarepaguá, um pequeno aeroporto situado no Rio de Janeiro, cuja possibilidade de ampliação vem sendo discutida.

Abstract of thesis presented to COPPE/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for degree of Doctor of Science (D.Sc.)

ACOUSTICAL POST-OCCUPANCY EVALUATION (ACOUSTICAL POE): A  
SUPPORT TOOL ON PLANNING AND MANAGEMENT AROUND SMALL  
AIRPORTS

Marta Ribeiro Valle Macedo

December 2004

Advisors: Jules Ghislain Slama  
Mário César Vidal  
Department: Production Engineer

This paper presents a methodology of assessment of acoustical quality of urban areas located around airports based on a systemic approach and on Post-Occupancy Evaluation (Acoustical POE), which is used as a tool to diagnose the acoustical environment around airports regarding it is a complex environmental system.

The methodology presented has as goal to aid the implementation of “balanced approach” approved by Assembly Resolution A33-7”, accomplished by ICAO (International Civil Aviation Organization), 2001.

On this thesis the fuzzy models are utilized to design a model which input is the resultant data of POE and the output is an indicator of acoustical environment quality of the evaluated system. This procedure is justified due to the great capability that the fuzzy models present to deal with objective and subjective variables and with complex systems.

For instance, the proposed methodology has been applied to study the vicinity area to Jacarepaguá Airport, a small airport placed in Rio de Janeiro which enlargement is being debated.

## ÍNDICE DO TEXTO

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>1</b>
JUSTIFICATIVA .....	1
O PROBLEMA .....	5
HIPÓTESES .....	7
METODOLOGIA: A APO ACÚSTICA.....	11
ESTRUTURA DO TEXTO DE TESE.....	12
<b>Capítulo 1.....</b>	<b>14</b>
<b>PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL NO ENTORNO DE AEROPORTOS.....</b>	<b>14</b>
1. 1. O PLANEJAMENTO.....	14
1.1.1. O Planejamento Ambiental.....	18
1.1.2. A gestão do meio ambiente .....	21
1.2. O AEROPORTO E SEU ENTORNO .....	23
1.3. O PLANEJAMENTO E A GESTÃO DO RUÍDO AERONÁUTICO.....	25
1.3.1. O controle de ruído aeroportuário no mundo.....	26
1.3.2. O planejamento aeroportuário no Brasil.....	39
<b>Capítulo 2.....</b>	<b>47</b>
<b>QUALIDADE AMBIENTAL, RUÍDO E FORMA URBANA.....</b>	<b>47</b>
2.1. A QUALIDADE AMBIENTAL .....	47
2.1.1. A resposta humana à poluição sonora .....	49
2.2. O RUÍDO .....	49
2.2.1. Os efeitos do ruído no homem.....	49
2.2.2. Propagação do som em ambientes externos .....	59
2.2.3. Carga de ruído sobre a coletividade.....	66
2.2.4. Fontes de ruído aeronáutico.....	70
2.3. A FORMA URBANA .....	73
2.3.1. Controle do ruído urbano.....	73
2.3.2. Elementos Urbanos.....	75
2.3.3. Tecidos abertos e fechados .....	77
2.3.4. Permeabilidade .....	78
2.3.5. Espessura .....	79
2.3.6. A sonoridade e os materiais.....	80
2.3.7. Efeito barreira.....	80
<b>Capítulo 3.....</b>	<b>84</b>
<b>AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO (APO).....</b>	<b>84</b>
3.1. A APO .....	84
3.2. ORIGENS DA APO .....	85
3.3. A TEORIA DOS SISTEMAS NEBULOSOS E A APO .....	89
3.3.1. A COLETA DE DADOS .....	91
3.3.2. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS ATRAVÉS DA TEORIA DE SISTEMAS NEBULOSOS .....	108
3.3.3. RELAÇÕES ENTRE A COLETA DE DADOS E OS ATORES SOCIAIS ENVOLVIDOS NA APO.....	114
3.3.4. RELATÓRIO: DIAGNÓSTICO E RECOMENDAÇÕES .....	115

<b>Capítulo 4.....</b>	<b>116</b>
<b>A APO ACÚSTICA E A LÓGICA "FUZZY" .....</b>	<b>116</b>
4.1. APO ACÚSTICA .....	116
4.1.1. Estratégias para a implementação da APO Acústica no entorno de aeroportos.....	117
4.2. O PLANEJAMENTO PARTICIPATIVO ATRAVÉS DA APO.....	121
4.3. A APO ACÚSTICA E A LÓGICA FUZZY .....	122
4.3.1. A modelagem “fuzzy” .....	124
4.3.2. Identificação dos atributos de cada subsistema .....	124
4.3.3. Definição das variáveis linguísticas de cada subsistema: o processo de fuzificação.....	129
4.3.4. Definição das regras de inferência.....	130
4.3.5. Definição das funções de pertinência .....	131
4.3.6. Definição do método de desfuzificação.....	132
4.3.7. Definição das variáveis de entrada e de saída de cada subsistema .....	133
<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>138</b>
<b>ESTUDO DE CASO: O AEROPORTO DE JACAREPAGUÁ.....</b>	<b>138</b>
5.1. A APO ACÚSTICA – ESTUDO DE CASO .....	138
5.1.1. Caracterização da área objeto de estudo.....	139
5.1.2. Caracterização do Aeroporto SBJR.....	143
5.1.3. Avaliação do Subsistema Comportamental .....	146
5.1.3.1. Resultados da Avaliação do Subsistema Comportamental.....	149
5.1.4. Avaliação do Subsistema Ambiente Urbano.....	155
5.1.5. Avaliação do Subsistema Funcional.....	157
5.1.5.1. Adequação da implantação da edificação em relação à trajetória de aeronaves de asa fixa.....	157
5.1.5.2. Adequação da implantação da edificação em relação à trajetória de aeronaves de asa móvel (helicópteros).....	158
5.1.5.3. Adequação da implantação da edificação em relação às vias de trânsito pesado.....	158
5.1.5.4. Adequação da implantação do uso do solo .....	159
5.1.6. Avaliação do Subsistema Físico .....	171
5.1.6.1. Medições de Nível Sonoro.....	173
5.1.6.2. Adequação do vento dominante em relação aos receptores críticos.....	177
5.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS ATRAVÉS DA LÓGICA “FUZZY”.....	178
5.2.1. Avaliação considerando as edificações residenciais multifamiliares situadas na direção da pista de pouso e decolagem (cabeceira 02).....	179
5.2.1.1. Subsistema Ambiente Urbano.....	179
5.2.1.2. Subsistema Comportamental.....	218
5.2.1.3. Subsistema Físico.....	225
5.2.1.4. Subsistema Funcional.....	237
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>261</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>281</b>

<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>293</b>
<b>APÊNDICE 1.....</b>	<b>303</b>
<b>APÊNDICE 2.....</b>	<b>311</b>
<b>APÊNDICE 3.....</b>	<b>319</b>
1. Algoritmo para obtenção do nível de interferência do ruído rodoviário no desempenho de atividades ( $U_6$ ).....	318
2. Algoritmo para obtenção do nível de incômodo decorrente do ruído de aeronaves ( $U_7$ ).....	356
3. Algoritmo do nível de interferência do ruído de aeronaves no desempenho de atividades ( $U_8$ ).....	371
<b>ANEXOS.....</b>	<b>411</b>
ANEXO 1 – Características do Aeroporto de Jacarepaguá.....	412
ANEXO 2- Planta temática da Cidade do Rio de Janeiro.....	418
ANEXO 3- Carta de rotas especiais para helicópteros.....	419
ANEXO 4 – Carta de rotas especiais para aviões. ....	420
ANEXO 5 – Carta de procedimentos de pousos e decolagens.....	421

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. Ambiente Sonoro.....	24
FIGURA 2.1. Efeitos do ruído.....	50
FIGURA 2.2. Efeitos do gradiente do vento e da temperatura sobre a propagação do som ao ar livre.....	62
FIGURA 2.3. Rua em “U”.....	77
FIGURA 2.4. Formas básicas de implantação.....	78
FIGURA 2.5. Reflexões em diferentes tipos de fachadas.....	79
FIGURA 2.6. Edifícios-barreira.....	81
FIGURA 2.7. Via expressa em fundo de vale com barreiras acústicas, talude com vegetação e via expressa em fundo de vale.....	82
FIGURA 2.8. Seção transversal de barreira vegetal.....	83
FIGURA 3.1. O cérebro humano e os conjuntos “fuzzy”.....	109
FIGURA 3.2. Estrutura interna de um sistema “fuzzy”.....	109
FIGURA 3.3. Subsistemas “fuzzy” e os indicadores parciais e globais de desempenho do ambiente construído.....	112
FIGURA 3.4. Grupos participantes de uma APO.....	115
FIGURA 5.1. Localização do SBJR.....	142
FIGURA 5.2. Adequação do bosque ao uso.....	149
FIGURA 5.3. Gráficos representativos da interferência do ruído de trânsito sobre o desempenho de atividades, em áreas residenciais.....	150
FIGURA 5.4. Incômodo decorrente do ruído de aeronaves na opinião de alunos.....	151
FIGURA 5.5. Qualidade Acústica da Janela da Escola Vicente Jannuzzy .....	152
FIGURA 5.6. Interferência do ruído de aeronaves no desenvolvimento de atividades nas habitações.....	153
FIGURA 5.7. Incômodo decorrente do ruído aeronáutico em residências.....	154
FIGURA 5.8. Qualidade Acústica da Janela.....	154
FIGURA 5.9. Solução contra o ruído.....	154
FIGURA 5.10. Importância da qualidade acústica.....	154
FIGURA 5.11. Incômodo devido ao ruído de aeronaves no Parque Arruda Câmara.....	155
FIGURA 5.12. Base cartográfica da região do Aeroporto de Jacarepaguá.....	162
FIGURA 5.13. Curvas de ruído segundo o Plano Básico de Zoneamento de Ruído - PORTARIA 1141-GM5/1987 .....	164

FIGURA 5.14. Curvas de ruído em $L_{DN}$ .....	168
FIGURA 5.15. Curvas de ruído em $LA_{EQ}$ .....	170
FIGURA 5.16. Anemograma de superfície do Aeroporto de Jacarepaguá.....	177
FIGURA I.1. Sistema de inferência desenvolvido para obter o indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema ambiente urbano .....	180
FIGURA I.2. Funções de pertinência desenvolvidas para $Y_1$ , $Y_2$ e $I_1$ .....	181
FIGURA I.3. Edição de regras de inferência.....	182
FIGURA I.4. Desfuzificação, resultando um valor “crisp” $I_1= 3,9$ .....	182
FIGURA I.1.1.1. Sistema de inferência “fuzzy” .....	183
FIGURA I.1.1.2. Funções de pertinência de $U_1$ , $U_2$ e $U_{1,2}$ .....	184
FIGURA I.1.1.3. Regras de inferência, considerando as variáveis de entrada $U_1$ e $U_2$ e as variáveis de saída $U_{1,2}$ .....	185
FIGURA I.1.1.4. Desfuzificação resultando $U_{1,2}=Y_1= 3,94$ .....	186
FIGURA a.1. Sistema de inferência “fuzzy”. Qualidade acústica das janelas segundo opinião dos usuários.....	186
FIGURA a.2. Funções de pertinência de cada variável de entrada: $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$ e $R_6$ ...188	188
FIGURA a.3. Funções de pertinência da variável de saída.....	189
FIGURA a.4. Regras de inferência.....	189
FIGURA a.5. Desfuzificação. A Qualidade acústica das janelas, segundo a opinião de usuários (QAJ) recebe a nota 4,31.....	190
FIGURA b.1. Sistema de inferência “fuzzy” elaborado para a Qualidade Acústica do Envelope da Edificação.....	191
FIGURA b.2. Funções de pertinência elaboradas para a Qualidade Acústica da Fachada (QAF), Qualidade Acústica da Cobertura (QAC) e Qualidade Acústica do Envelope da Edificação ( $QAE=U_2$ ).....	192
FIGURA b.3. Regras de inferência criadas para a Qualidade Acústica do Envelope da edificação, segundo o ponto de vista do avaliador ( $QAE=U_2$ ).....	193
FIGURA b.4. Desfuzificação considerando as variáveis de entrada Qualidade Acústica da Fachada e Qualidade Acústica da Cobertura da edificação e a variável de saída Qualidade Acústica do Envelope da edificação, segundo o ponto de vista do avaliador ( $QAE=U_2$ ).....	193
FIGURA b.1.1. Sistema “fuzzy” Qualidade Acústica da Fachada (QAF).....	194
FIGURA b.1.1.2. Funções de pertinência criadas para a Permeabilidade da Fachada (PF), Qualidade Acústica das Paredes (QAP) e Qualidade Acústica da Fachada (QAF).....	195
FIGURA b.1.1.3. Regras de inferência elaboradas para a Qualidade Acústica da Fachada (QAF).....	196
FIGURA b.1.1.4. Desfuzificação, resultando um valor “crisp” correspondente a 3,98 para a Qualidade Acústica da Fachada (QAF).....	196
FIGURA b.1.1.1. Sistema de inferência “fuzzy”.....	197
FIGURA b.1.1.2. Funções de pertinência criadas para a Qualidade Acústica das Paredes Isoladas (QAPi), Qualidade Acústica das Janelas (QAJ) e Qualidade Acústica das Paredes (QAP).....	198

FIGURA b.1.1.3. Regras de inferência traçadas para a Qualidade Acústica das Paredes (QAP).....	198
FIGURA b.1.1.4. Desfuzificação, tendo como variáveis de entrada a Qualidade Acústica das Janelas (QAJ) e Qualidade Acústica das Paredes Isoladas, sem considerar as janelas (QAPi) e como variável de saída a Qualidade Acústica das Paredes (QAP).....	199
FIGURA b.1.1.1.1. Sistema “fuzzy” que representa a Qualidade Acústica das Janelas (QAJ)..	199
FIGURA b.1.1.1.2. Funções de pertinência adotadas para a Qualidade Acústica do Vidro (QAV), Qualidade Acústica das Esquadrias (QAE) e Qualidade Acústica das Janelas (QAJ)..	201
FIGURA b.1.1.1.3. Regras de inferência adotadas, com base na Tabela de Decisão 6.....	201
FIGURA b.1.1.1.4. Desfuzificação considerando as variáveis de entrada: vidro de 3 mm, qualidade acústica da esquadria nota 6 e a variável de saída Qualidade Acústica da Janela (QAJ), recebendo um valor “crisp” 4,11.....	202
FIGURA b.1.1.2.1. Subsistema representando a Qualidade Acústica da Parede Isolada, sem considerar as janelas (QAPi).....	202
FIGURA b.1.1.2.2. Funções de pertinência elaboradas para a Qualidade Acústica dos Materiais (QAM), Espessura das Paredes (E) e Qualidade Acústica da Parede Isolada (QAPi).....	203
FIGURA b.1.1.2.3. Regras de inferência elaboradas considerando as variáveis de entrada Qualidade Acústica dos Materiais (QAM) e Espessura (E).....	204
FIGURA b.1.1.2.4. Desfuzificação, considerando as variáveis de entrada Qualidade Acústica dos Materiais (QAM) e Espessura (E) e a variável de saída Qualidade Acústica da Parede Isolada, sem considerar as janelas (QAPi).....	205
FIGURA b.1.2.1. Sistema de inferência “fuzzy” elaborado para a Permeabilidade da Fachada.....	205
FIGURA b.1.2.2. Funções de pertinência elaboradas para a Permeabilidade da Parede (PP), Qualidade Acústica da Varanda (QAVa) e Permeabilidade da Fachada (PF).....	206
FIGURA b.1.2.3. Regras de inferência.....	207
FIGURA b.1.2.4. Desfuzificação Permeabilidade da Fachada (PF) = 7,52.....	207
FIGURA b.1.2.1.1. Sistema de inferência “fuzzy” elaborado para a Permeabilidade da Parede.....	208
FIGURA b.1.2.1.2. Funções de pertinência elaboradas para a percentagem de área de vãos de ventilação.....	209
FIGURA b.1.2.1.3. Funções de pertinência elaboradas para a Permeabilidade das Paredes.....	209
FIGURA b.1.2.1.4. Regras de Inferência.....	209
FIGURA b.1.2.1.5. Desfuzificação, resultando a Permeabilidade da Parede.....	209
FIGURA b.1.2.2.1. Sistema de Inferência “fuzzy” elaborado para a Qualidade Acústica da Varanda (QAV).....	210
FIGURA b.1.2.2.2. Funções de pertinência relativas à Absorção Sonora das superfícies das varandas.....	211
FIGURA b.1.2.2.3. Funções de pertinência relativas à Qualidade Acústica das Varandas.....	211
FIGURA b.1.2.2.4. Funções de pertinência relativas à Permeabilidade das Muretas.....	211
FIGURA b.1.2.2.5. Editor de regras de inferência.....	212



FIGURA b.1.2.2.6. Desfuzificação, considerando as variáveis de entrada Absorção Sonora (AS) e Permeabilidade das Muretas (PM) e a variável de saída Qualidade Acústica das Varandas (QAV).....	212
FIGURA b.2.1. Sistema de inferência “fuzzy”.....	213
FIGURA b.2.2. Funções de pertinência elaboradas para a Qualidade Acústica da Laje (QAL), Qualidade Acústica das Telhas (QAT) e Qualidade Acústica da Cobertura (QAC).....	214
FIGURA b.2.3. Regras de inferência.....	214
FIGURA b.2.4. Desfuzificação, resultando para a Qualidade Acústica da Cobertura o valor “crisp” QAC = 5.....	215
FIGURA I.2.1. Sistema de inferência “fuzzy” desenvolvido para representar a adequação acústica do ambiente externo.....	216
FIGURA I.2.2. Funções de pertinência das variáveis de entrada e saída elaboradas a fim de obter a adequação acústica do ambiente externo ( $Y_2$ ).....	217
FIGURA I.2.3. Regras de inferência.....	217
FIGURA I.2.4. Desfuzificação. Obtém-se o valor “crisp” 4,05 para $Y_2$ .....	220
FIGURA II.1. Sistema de inferência criado para originar $I_2$ .....	220
FIGURA II.2. Funções de pertinência de $U_6$ , $U_{7,8}$ e $I_2$ .....	220
FIGURA II.3. Regras de inferência.....	221
FIGURA II.4. Desfuzificação: $U_6 = 4,07$ e $U_{7,8} = 7,04$ resultam $I_2 = 3,71$ .....	222
FIGURA II.2.1. Sistema de inferência elaborado para avaliar os efeitos do ruído aeronáutico.....	222
FIGURA II.2.2. Funções de pertinência elaboradas para as variáveis de entrada $U_7$ e $U_8$ e de saída $U_{7,8}$ .....	223
FIGURA II.2.3. Regras de inferência “fuzzy”.....	223
FIGURA II.2.4. Desfuzificação: $U_7 = 6,95$ e $U_8 = 7,06$ resultam $U_{7,8} = 7,04$ .....	224
FIGURA III.1. Sistema de inferência elaborado para o Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema físico ( $I_3$ ).....	226
FIGURA III.2. Funções de pertinência referentes às variáveis de entrada e saída.....	227
FIGURA III.3. Regras de inferência.....	227
FIGURA III.4. Desfuzificação, originando o Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema físico ( $I_3$ ).....	228
FIGURA III.1.1. Sistema de inferência desenvolvido para o Indicador de Adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do subsistema físico ( $Y_7$ ).....	228
FIGURA III.1.2. Funções de pertinência das variáveis de entrada e saída do sistema.....	230
FIGURA III.1.3. Regras de inferência.....	230
FIGURA III.1.4. Desfuzificação, resultando o Nível de Adequação Acústica do Ambiente Interno ( $Y_7$ ).....	231
FIGURA III.2.1. Sistema de inferência “fuzzy” elaborado a fim de obter o Indicador de Adequação Acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do subsistema físico $Y_8$ .....	231

FIGURA III.2.2. Funções de pertinência das variáveis de entrada $U_{13}$ (Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente) e $U_{14}$ (Nível de adequação acústica do vento dominante em relação aos receptores críticos) e da variável de saída $Y_8$ (Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do sistema físico).....	233
FIGURA III.2.3. Regras de inferência.....	233
FIGURA III.2.4. Desfuzificação, resultando um Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do sistema físico ( $Y_8$ ) igual a 2,02.....	234
FIGURA III.2.1.1. Sistema “fuzzy” que resulta $U_{13}$ .....	235
FIGURA III.2.1.2. Funções de pertinência referentes à variável de entrada e de saída.....	236
FIGURA III.2.1.3. Regras de inferência.....	236
FIGURA 5.2.1.4. Desfuzificação: a entrada “Diferença entre o Ruído Intrusivo e o $L_{RA}$ , resultou a saída “Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente ( $U_{13}$ )=0,984.....	237
FIGURA IV.1. Sistema de Inferência construído para obter o indicador de adequação acústica relativo ao subsistema funcional.....	238
FIGURA IV.2. Funções de pertinência das variáveis de entrada e saída.....	239
FIGURA IV.3. Regras de inferência.....	240
FIGURA IV.4. Desfuzificação, resultando $Y_{11}=I_4=2,42$ .....	240
FIGURA IV.1.1. Sistema de inferência elaborado para obter o Nível de adequação acústica da implantação da edificação ( $U_{16,17}$ ).....	241
FIGURA IV.1.2. Funções de pertinência associadas às variáveis $U_{16}$ , $U_{17}$ e $U_{16,17}$ .....	242
FIGURA IV.1.3. Regras de inferência.....	242
FIGURA IV.1.4. Desfuzificação, resultando um Nível de adequação acústica da implantação da edificação $U_{16,17}=1,91$ .....	243
FIGURA IV.1.1.1. Sistema de inferência relativo ao Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação à trajetória de aeronaves ( $U_{16}$ ).....	243
FIGURA IV.1.1.2. Funções de pertinência das variáveis de entrada e saída.....	244
FIGURA IV.1.1.3. Regras de inferência.....	245
FIGURA IV.1.1.4. Desfuzificação relativa ao Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação à trajetória de aeronaves ( $U_{16}$ ).....	245
FIGURA IV.1.2.1. Sistema de inferência relativo ao Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação ao $L_{DN} = 55\text{dB(A)}$ ( $U_{17}$ ).....	246
FIGURA IV.1.2.2. Reação de um grupo exposto a numerosos tipos de ruído em função do nível ponderado dia e Noite ( $L_{DN}$ ).....	246
FIGURA IV.1.2.3. Função de pertinência da variável de entrada “Nível de Reação Esperada em função do Nível Ponderado $L_{DN}$ (NRES). .....	247
FIGURA IV.1.2.4. Função de pertinência da variável de saída “Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação ao $L_{DN}=55 \text{ dB(A)}$ ( $U_{17}$ ). .....	247
FIGURA IV.1.2.5. Regras de inferência. ....	248
FIGURA IV.1.2.6. Desfuzificação de NRES, resultando $U_{17}$ . ....	248

FIGURA IV.2.1. Sistema de inferência “fuzzy”, criado para obter o Nível de adequação do uso do solo em relação à Legislação ( $U_{18,19}$ ). .....	249
FIGURA IV.2.2. Funções de pertinência das variáveis de entrada e saída. ....	250
FIGURA IV.2.3. Regras de inferência.....	251
FIGURA IV.2.4. Desfuzificação resultando um nível de adequação do uso do solo em relação à legislação 4,4. ....	251
FIGURA 5.2.2.1. Sistema de inferência “fuzzy” criado para obter $I_g$ . ....	253
FIGURA 5.2.2.2. Funções de pertinência relativas às variáveis de entrada e saída. ....	253
FIGURA 5.2.2.3. Regras de inferência.....	254
FIGURA 5.2.2.4. Desfuzificação: $I_g=2,5$ .....	255
FIGURA 5.2.2.I.1. Sistema de inferência “fuzzy”elaborado para combinar $I_1$ e $I_2$ . ....	255
FIGURA 5.2.2.I.2. Funções de pertinência das variáveis de entrada e saída. ....	256
FIGURA 5.2.2.I.3. Regras de inferência. ....	257
FIGURA 5.2.2.I.4. Desfuzificação, resultando $I_{1,2}=3,72$ . ....	257
FIGURA 5.2.2.II.1. Sistema de inferência “fuzzy” relativo à combinação de $I_3$ e $I_4$ .....	258
FIGURA 5.2.2.II.2. Funções de pertinência das variáveis de entrada e saída.....	259
FIGURA 5.2.2.II.3. Regras de inferência.....	259
FIGURA 5.2.2.II.4. Desfuzificação, resultando um valor “crisp”para $I_{3,4}=2,5$ .....	260

## ÍNDICE DE FOTOS

FOTO 5.1. Vistas da área operacional do aeroporto.....	143
FOTO 5.2. Vistas da área operacional do aeroporto.....	143
FOTO 5.3. Vistas da área operacional do aeroporto.....	143
FOTO 5.4. Sobrevôo de helicóptero sobre condomínio residencial.....	153
FOTO 5.5. Vista geral de um dos condomínios residenciais.....	156
FOTO 5.6. Bosque da Barra – vista interna (trilha).....	156
FOTO 5.7. Administração do Bosque da Barra, situada junto à Av. das Américas.....	157
FOTO 5.8. Vista do Colégio Estadual Vicente Jannuzzy e das edificações residenciais situadas na subzona A17 .....	161
FOTO 5.9. Vista geral da subzona A17- Colégio Estadual Vicente Jannuzzy, condomínios residenciais e Avenida das Américas.....	161
FOTO 5.10. Vista de residências situadas na rota de pouso e decolagem de aeronaves.....	167
FOTO 5.11. Vista de edificações residenciais situadas na rota de pouso de decolagem de aeronaves .....	167
FOTO 5.12. Ponto de medição 2.....	173
FOTO 5.13. Ponto de medição 3.....	173
FOTO 5.14. Ponto de medição 4.....	173

## ÍNDICE DE FLUXOGRAMAS

FLUXOGRAMA 4.1.....	136
FLUXOGRAMA 4.2.....	137
FLUXOGRAMA 5.1.....	180
FLUXOGRAMA 5.2.....	180
FLUXOGRAMA 5.3.....	190
FLUXOGRAMA 5.4.....	219
FLUXOGRAMA 5.5.....	219
FLUXOGRAMA 5.6.....	225
FLUXOGRAMA 5.7.....	225
FLUXOGRAMA 5.8.....	237
FLUXOGRAMA 5.9.....	237
FLUXOGRAMA 5.10.....	252
FLUXOGRAMA 6.1.....	266
FLUXOGRAMA 6.2.....	277
FLUXOGRAMA 6.3.....	277
FLUXOGRAMA 6.4.....	278

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1.1. Nível Critério de Avaliação (NCA) para ambientes externos em dB(A).....	45
TABELA 2.1. Várias diretrizes para exposição ao ruído em comunidade.....	69
TABELA 5.1. Uso do solo permitido nas subzonas da ZE-5 e os respectivos níveis critério de avaliação (NCA).....	160
TABELA 5.2. Tipos de aeronaves de asa fixa que operam no aeroporto e o movimento correspondente.....	165
TABELA 5.3. Tipos de aeronaves de asa móvel que operam no aeroporto e o movimento diário correspondente.....	166
TABELA 5.4. Medições de ruído realizadas no local.....	175
TABELA 5.5. Caracterização do ambiente sonoro nos pontos em cada período de medição...	176
TABELA DE DECISÃO 1. Indicador de adequação acústica do ambiente urbano ( $I_1$ ).....	181
TABELA DE DECISÃO 2. Qualidade Acústica do Envelope da Edificação, segundo o ponto de vista do usuário e do avaliador ( $U_{1,2}=Y_1$ ).....	184
TABELA DE DECISÃO 3. Qualidade Acústica do Envelope da Edificação, segundo o ponto de vista do avaliador (QAE).....	192
TABELA DE DECISÃO 4. Qualidade Acústica do da Fachada (QAF).....	194
TABELA DE DECISÃO 5. Qualidade Acústica das Paredes (QAP).....	197

TABELA DE DECISÃO 6. Qualidade Acústica da Janela (QAJ).....	200
TABELA DE DECISÃO 7. Qualidade Acústica da Parede Isolada (QAP).....	203
TABELA DE DECISÃO 8. Permeabilidade da Fachada.....	206
TABELA DE DECISÃO 9. Permeabilidade da Parede.....	208
TABELA DE DECISÃO 10. Qualidade Acústica da Varanda (QAV).....	210
TABELA DE DECISÃO 11. Qualidade Acústica da Cobertura (QAC).....	213
TABELA DE DECISÃO 12. Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à Avaliação do sistema ambiente urbano ( $Y_2$ ).....	215
TABELA DE DECISÃO 13. Indicador de Adequação acústica do Ambiente, relativo a Avaliação do Sistema Comportamental ( $I_2$ ).....	221
TABELA DE DECISÃO 14. Efeitos do ruído aeronáutico ( $U_{7,8}$ ) .....	223
TABELA DE DECISÃO 15. . Indicador de Adequação acústica do Ambiente, relativo a Avaliação do Sistema Físico ( $I_3$ ).....	226
TABELA DE DECISÃO 16. Indicador de Adequação acústica do Ambiente interno, relativo a Avaliação do Sistema Físico ( $Y_7$ ).....	229
TABELA DE DECISÃO 17. Indicador de Adequação acústica do Ambiente externo, relativo a Avaliação do Sistema Físico ( $Y_8$ ).....	232
TABELA 5.6. Reação esperada das comunidades em função da elevação do nível de ruído em relação ao ruído de fundo.....	234
TABELA DE DECISÃO 18. Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente ( $U_{13}$ ).....	235
TABELA DE DECISÃO 19. Indicador de Adequação Acústica do Ambiente, relativo a Avaliação do Sistema Funcional ( $I_4$ ).....	239
TABELA DE DECISÃO 20. Nível de adequação acústica da implantação da edificação ( $U_{16,17}$ ).....	241
TABELA DE DECISÃO 21. . Nível de adequação acústica da implantação da edificação, em relação à trajetória de aeronaves ( $U_{16}$ ).....	244
TABELA DE DECISÃO 22. Nível de adequação acústica da implantação da edificação, em relação ao $L_{DN55}$ dB(A) ( $U_{17}$ ).....	247
TABELA DE DECISÃO 23. Nível de adequação acústica do uso do solo, em relação à legislação ( $U_{118,19}$ ).....	250
TABELA DE DECISÃO 24 . Indicador de Adequação Global do Ambiente Sonoro ( $I_g$ ).....	254
TABELA DE DECISÃO 25. . Combinação de $I_1$ e $I_2$ ( $I_{1,2}$ ).....	256
TABELA DE DECISÃO 26. . Combinação de $I_3$ e $I_4$ ( $I_{3,4}$ ).....	258
TABELA 6.1. Nível de incômodo devido ao ruído emitido por aeronaves.....	278
TABELA 6.2. Nível de interferência nas atividades devido ao ruído de aeronaves.....	279

## GLOSSÁRIO

**ABSORÇÃO SONORA** – é a transformação da energia sonora em energia térmica.

**ABSORÇÃO SONORA DE UM RECINTO** – soma das absorções sonoras dos elementos do contorno deste recinto e das absorções sonoras das eventuais pessoas, móveis ou objetos ali presentes, numa certa faixa de frequência. (TB-355/ 1989).

**AERÓDROMO** – toda área destinada a pouso, decolagem e movimentação de aeronaves. (Portaria 1141-GM5/87).

**AEROPORTO** – todo aeródromo público dotado de instalações e facilidades para apoio de operações de aeronaves, embarque e desembarque de pessoas e cargas. (Portaria 1141-GM5/87)

**ÁREA DE PLANEJAMENTO** - divisão territorial usada para o planejamento e controle do desenvolvimento urbano. É formada pelo agrupamento de várias Regiões Administrativas. (§ 1º art 42 da lei 16/92)

**ÁREA DE ESPECIAL INTERESSE** - pode ser permanente ou transitória. São espaços da Cidade perfeitamente delimitados, sobrepostos em uma ou mais Zonas, que serão submetidos a regime urbanístico específico, relativo a formas de controle que prevalecerão sobre os controles definidos para a Zonas ou as Zonas que as contêm. (§ 3º art 105 da lei 16/92)

**ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL - APA** - de domínio público ou privado, é aquela dotada de características ecológicas e paisagísticas notáveis, cuja utilização deve ser compatível com sua conservação ou com suas condições ecológicas. (Inc. I art 124 da lei 16/92)

**BAIRRO** - divisão territorial usada para o planejamento e controle do desenvolvimento urbano. Corresponde à porção do território que reúne pessoas que utilizam os mesmos equipamentos comunitários, dentro de limites reconhecidos pela mesma denominação. (§4º art 42 da lei 16/92)

**CABECEIRA DA PISTA** – limite da pista utilizável para pouso e decolagem, no seu sentido longitudinal. (Portaria 1141-GM5/87)

**DIFRAÇÃO SONORA** - alteração parcial na frente de onda de um som ao transpor um obstáculo, por encurvamento dos raios sonoros que tangenciam esse obstáculo. (TB-355/ 1989)

**EQUIPAMENTOS URBANOS** – obras e serviços públicos ou privados que permitem o pleno desenvolvimento das atividades urbanas de uma comunidade. (Portaria 1141-GM5/87)

**HELIPONTO** – aeródromo destinado exclusivamente a helicópteros. (Portaria 1141-GM5/87)

**HELIPORTO** – heliponto público dotado de instalações e facilidades para apoio de operações de helicópteros, embarque e desembarque de pessoas e cargas. (Portaria 1141-GM5/87)

**ISOLAMENTO SONORO** – processo pelo qual se procura evitar a penetração ou saída de ruídos ou sons, em um determinado recinto. O isolamento sonoro compreende a proteção contra ruídos ou sons aéreos ou de impacto. (NBR 12179/ 1992)

**NÍVEL DE RUÍDO AMBIENTE  $L_{ra}$**  - É o nível de pressão sonora equivalente, em dB(A), no local e horário considerados, na ausência de ruído gerado por fonte sonora interferente. (NBR 1151/2000)

**OPERAÇÃO IFR – NÃO PRECISÃO** – operação de aeronaves em aproximação sujeita às regras de vôo por instrumento, que utilizam para orientação auxílios à navegação de não-precisão, tais como: NDB, VOR, RECALADA e RADAR TERMINAL. (Portaria 1141-GM5/87)

**OPERAÇÃO IFR - PRECISÃO** - operação de aeronaves em aproximação sujeita às regras de vôo por instrumento, que utilizam para orientação informações de azimute e rampa de planeio

fornecidas por auxílios à navegação de precisão, tais como ILS, RADAR DE APROXIMAÇÃO DE PRECISÃO e MLS. (Portaria 1141-GM5/87)

**OPERAÇÃO VFR** – Operação de aeronaves sujeita às regras de vôo visual. (Portaria 1141-GM5/87)

**PERÍODO NOTURNO** – período compreendido entre 22:00 h e 7:00 h. (Portaria 1141-GM5/87)

**PLANO BÁSICO DE ZONEAMENTO DE RUÍDO** - plano de zoneamento de ruído de aplicação genérica em aeródromos. (Portaria 1141-GM5/87)

**PLANO DE ZONEAMENTO DE RUÍDO** – documento normativo do Ministério da Aeronáutica que estabelece as restrições ao uso do solo nas áreas I, II e III, definidas pelas curvas de nível de ruído 1 e 2. (Portaria 1141-GM5/87)

**PLANO ESPECÍFICO DE ZONEAMENTO DE RUÍDO** - plano de zoneamento de ruído de aplicação específica a um determinado aeródromo. (Portaria 1141-GM5/87)

**POLUIÇÃO SONORA** – qualquer alteração das propriedades físicas do meio ambiente causada por som que, direta ou indiretamente, seja nocivo à saúde, à segurança ou ao bem estar da coletividade. (Decreto N° 5412/1985)

**REGIÃO ADMINISTRATIVA** - divisão territorial usada para o planejamento e controle do desenvolvimento urbano. É formada por um ou mais Bairros. (§. 2º art 42 da lei 16/92)

**ZONAS** - espaços da Cidade perfeitamente delimitados por suas características ambientais, para os quais serão previstos controles de densidade demográfica e de limites de construção e a intensidade dos diversos usos e atividades econômicas, sociais e culturais. (§ 1 art 105 da lei 16/92)

**ZONA ESPECIAL 5** – área correspondente à Barra da Tijuca. (inc. VII art 4º. Decreto 322/76)

**ZONA RESIDENCIAL - ZR** - é aquela onde prevalece o uso para moradias unifamiliares ou multifamiliares e as atividades de apoio ou complementariedade a esse uso, compatíveis entre si. (Inc. I art 106 da lei 16/92).

Pode ser classificada: ZR1, ZR1A, ZR1B, ZR1C, ZR1-SC, ZR2, ZR2-SC, ZR3, ZR4, ZR5, ZR6, ZRU (ZONA RESIDENCIAL UNIFAMILIAR), ZRM (ZONA RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR), ZRM1, E ZRM2

**ZONEAMENTO DE RUÍDO** – delimitação das áreas para indicação das atividades compatíveis com os níveis de incômodo sonoro (Portaria 1141-GM5/87).

## **APRESENTAÇÃO**

Este trabalho apresenta uma metodologia<sup>1</sup> destinada a diagnosticar o ambiente sonoro no entorno de pequenos aeroportos situados em áreas urbanas, baseada em uma abordagem sistêmica, na Avaliação Pós-Ocupação e na Teoria de Sistemas Nebulosos.

O ambiente sonoro é um sistema ambiental centrado no homem, o qual é, por natureza, um sistema vivo e complexo, portanto, dotado de variáveis subjetivas e objetivas, caracterizado por um alto grau de interdependência entre seus elementos, e por ser um sistema dinâmico, redefine de modo permanente seus próprios padrões internos de organização (MATURANA *et al*, 1995).

Desta forma, objetiva-se analisar esse sistema ambiental, decompondo-o em subsistemas, os quais são esquematizados sob a forma de um fluxograma, cuja visualização permite identificar os aspectos problemáticos que merecem ser alvo de intervenção pelo poder público, reduzindo o nível de adequação acústica global e parcial do ambiente a um número real (“crisp”).

Observa-se que o ambiente urbano faz parte do sistema ambiente sonoro e por mais que seja planejado, está em constante mutação. Portanto, o seu desenvolvimento futuro é incerto, imprevisível e a implementação de quaisquer medidas visando intervir em sua organização requer o conhecimento profundo das interações entre seus elementos.

## **JUSTIFICATIVA**

O ambiente urbano é composto de espaços construídos que são acusticamente ricos. Cada lugar, cada ponto de uma cidade, apresenta informações sonoras que o caracterizam. Assim sendo, possui uma espécie de “assinatura” ou “impressão sonora” característica, a qual poderá corresponder a uma determinada resposta humana que irá variar desde a sensação de conforto, até a de grande desconforto, quando a situação se torna insuportável ao indivíduo e altamente danosa à saúde pública.

---

<sup>1</sup> Metodologia [De método + -logia.] é definido como “a arte de dirigir o espírito na investigação da verdade”. Na literatura, é considerado “o conjunto de técnicas e processos utilizados para ultrapassar a subjetividade do autor e atingir a obra literária”. (FERREIRA, 1999)

Método [Do gr. *méthodos*, 'caminho para chegar a um fim'.] é definido como o “caminho pelo qual se atinge um objetivo; modo de proceder; maneira de agir; meio.” (FERREIRA, 1999)



Deste modo, a concepção e manutenção destes espaços precisa ser gerenciada cuidadosamente a fim de possibilitar a criação de ambientes sonoros carregados de informações características da vida cotidiana, mas adequados ao desenvolvimento de atividades, à proteção da saúde e do bem-estar.

Nas grandes cidades, a ocupação desordenada do espaço urbano, concentrador de grande densidade demográfica e de inúmeras atividades econômicas, conduz a uma importante preocupação com a questão da qualidade de vida. Esta preocupação é corroborada pelas previsões da *World Commission on Environment and Development* de que, no século XXI, quase metade da humanidade viverá em cidades (WCDE,1987). Deste modo, é preciso prepará-las para absorverem a crescente demanda por moradias, infra-estrutura e serviços.

Conforme mencionam FALCOSKI *et al* (2000), atualmente, vivem-se grandes incertezas sobre o significado das cidades, o que requer a redefinição de seu papel nessa lógica de um processo de crescimento perverso, pautado nos desequilíbrios sócio-ambientais e na demanda de recursos para suprir as carências humanas. Assim sendo, este é o momento de construção da noção de sustentabilidade enquanto representação técnico-material da cidade, como espaço de qualidade de vida<sup>2</sup>.

O planejamento das cidades necessita incorporar a variável ambiental, buscando uma melhor ocupação dos espaços, compatível com a infra-estrutura urbana, com diretrizes e critérios de preservação ambiental.

Com este intuito, internacionalmente, tem sido propostas políticas de planejamento e gestão ambiental, em defesa da valorização das cidades, com qualidade física e ambiental, sendo observada a necessidade de eliminar os fatores responsáveis pela degradação ambiental, dentre os quais, a poluição sonora, pois, segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO,1995), o ruído deverá ser um dos principais problemas no século XXI.

Em áreas circunvizinhas a aeroportos, o planejamento ambiental assume ainda maior importância, pois, além dos ruídos comunitários inerentes às atividades

---

<sup>2</sup> Segundo a COMISSÃO DO MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (1991), "entende-se a qualidade de vida como a disponibilidade máxima de infra-estrutura social e pública para o bem comum e para a satisfação das necessidades humanas, manutenção e preservação do meio ambiente".

geralmente desenvolvidas no espaço urbano, os ruídos produzidos pelas atividades aeroportuárias, tanto na superfície terrestre como na superfície aérea, poderão impor riscos à saúde da população local.

O controle da poluição sonora no entorno de aeroportos têm sido objeto de preocupação de organizações internacionais, dentre estas, a Organização Internacional de Aviação Civil (OACI) e a *Federal Aviation administration* (FAA), dos Estados Unidos da América. A OACI vem propondo ações direcionadas à redução do ruído na fonte, à compatibilização do uso e ocupação do solo em torno de aeroportos com a atividade aeronáutica, bem como à adoção de medidas econômicas e operacionais. Estas recomendações estão reunidas no relatório da OACI intitulado “Guidance on the balanced approach to noise management” (2004), aprovado pela “Assembly Resolution A33-7”, realizada em 2001.

Embora o nível sonoro emitido por aeronaves tenha diminuído nos últimos anos, devido à evolução tecnológica que contribuiu para a redução do ruído na fonte e aos esforços das autoridades aeroportuárias em cumprir as recomendações da OACI, definidas no Anexo 16 à Convenção relativa à Aviação Civil Internacional – *Environmental Protection*, Volume I – *Aircraft Noise*, existe uma tendência de aumentar o número de movimentos em determinados aeroportos, de modo que a carga de ruído emitida permanece elevada (VALLET, 2002).

Assim sendo, a OACI, no *Airport Planning Manual* (OACI DOC 9184), *Part 2, Land Use and Environmental Control*, que deverá ser publicado em 2005, considera que a busca por um adequado planejamento e zoneamento urbano é a mais importante medida de controle da poluição sonora no entorno de aeroportos. Portanto, o planejamento compreensivo, bem trabalhado, efetivamente usado para guiar decisões locais relativas ao uso do solo e ao controle do desenvolvimento, está entre as mais poderosas de todas as estratégias. Entretanto, o planejamento ambiental sonoro envolve um processo de tomada de decisão, o qual deve ser baseado em informações consistentes. Caso contrário será difícil manter um programa de gestão de ruído bem sucedido.

O ambiente sonoro é um sistema ambiental e sua avaliação não deve se pautar em aspectos isolados, mas sim em todas as relações identificadas entre os elementos que

o compõem. Este sistema ambiental (o sistema ambiente sonoro) é composto por elementos urbanos e por equipamentos cujo funcionamento pode produzir ruídos e produzir impactos ambientais negativos sobre as populações a eles expostas.

CHRISTOFOLETTI (1999) reconhece a importância de identificar os fatores responsáveis pela desestabilização dos sistemas ambientais, bem como a intensidade e extensão dos impactos induzidos pelo homem, pois se os planejadores desconhecem as implicações da qualidade, grandeza e dinâmica dos elementos que compõem os sistemas ambientais, os programas ambientais em prol do desenvolvimento sustentável poderão se tornar eivados de riscos e projeções infelizes.

Segundo a Conferência das Nações Unidas Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - Agenda 21, realizada no Rio de Janeiro, em 1992, no desenvolvimento sustentável, cada pessoa é usuária e provedora de informação, considerada em sentido amplo, o que inclui dados, informações e conhecimento adequadamente representados. (SENADO FEDERAL, 1996)

A Agenda 21 faz menção à necessidade de informações em todos os níveis, desde o de tomada de decisões superiores, nos planos nacional e internacional, ao comunitário e individual. Assim, defende a implementação de programas que assegurem as tomadas de decisões, baseadas em informações cada vez mais consistentes, visando reduzir as diferenças em matéria de dados e melhorar a disponibilidade de informações.

Nesse sentido, a OACI, na sua proposta de “Abordagem Equilibrada”, recomenda que seus países membros busquem uma adequada avaliação do ambiente sonoro local, contando com a participação de indivíduos cuja qualidade de vida possa ser impactada pelo ruído aeroportuário e por entidades diretamente afetadas economicamente por operações aeroportuárias.(em divulgação, 2005)

Portanto, controlar o ruído ambiental no entorno de aeroportos implica em desenvolver uma metodologia que permita identificar os elementos que compõem o sistema ambiente sonoro, definir suas inter-relações e obter, de forma clara, o diagnóstico da situação. Essa metodologia deve considerar os vários fatores interferentes na resposta humana, de modo a auxiliar efetivamente no planejamento e na elaboração de planos de gestão ambiental urbana, que contribuam efetivamente para a

manutenção de um ambiente sonoro adequado ao desenvolvimento sustentável das cidades e, desta forma servir de apoio à implementação da “Abordagem Equilibrada.”

Este trabalho foi buscar na metodologia de Avaliação Pós Ocupação Acústica, subsídios para realizar o diagnóstico ambiental sonoro de áreas urbanas circunvizinhas a aeroportos, considerando a resposta das populações expostas ao ruído aeronáutico, as legislações vigentes, a realização de observações em campo e avaliações técnicas, com base em uma abordagem sistêmica. Desta forma, propõe-se um modelo sistêmico que cria uma interface entre a APO e um sistema acústico.

## **O PROBLEMA**

O diagnóstico ambiental sonoro constitui um procedimento não trivial, pois o mesmo se constrói levando em conta diversos elementos que interagem entre si e cujas características estão em transformação dinâmica. Além disso, o diagnóstico ambiental sonoro não pode se limitar unicamente a parâmetros objetivos: existem variáveis subjetivas que influenciam na resposta da população circunvizinha a uma dada exposição sonora.

O fenômeno da percepção sonora, com efeito, não pode prescindir de uma apreciação da subjetividade, uma vez que em função de seu estado psicológico, os sujeitos podem estar ou não dispostos a ouvir um determinado tipo de som. Em um determinado momento, uma pessoa pode estar mais sensível e propensa a ser incomodada por uma fonte sonora qualquer e, em outro, simplesmente ignorá-la. Neste sentido um ruído considerado incômodo por um indivíduo, pode mesmo vir a ser agradável para um outro.

O primeiro elemento complicador do diagnóstico ambiental sonoro em áreas urbanas pode ser constatado nos relatos de queixas comunitárias, onde, não raro, são reportados fatos divergentes, os quais têm no mundo real, um exemplo candente: Em situações em que não poderia haver incômodo, segundo o Instituto de Aviação Civil, cujas apreciações se fundamentam em parâmetros objetivos, as reclamações são muitas e veementes. Que variáveis poderiam estar influenciando a produção destas queixas? Seria o temor da queda de aeronaves e da desvalorização de imóveis? Estariam pilotos se desviando da rota? O certo é que essas questões aparecem nos diagnósticos

ambientais sonoros atualmente em voga, mas não são adequadamente respondidas. Como avaliar estes fatos?

O segundo elemento complicador tem base na estrutura legislativa, pois qualquer ação voltada para a efetiva gestão do ruído necessita de uma estrutura política governamental sólida e de uma estrutura legal adequada.

Observa-se que, no Rio de Janeiro, a exemplo de outros municípios brasileiros, a incompatibilidade entre a legislação aeronáutica e a legislação municipal, vem abrindo espaço para a ocupação do solo em áreas submetidas a níveis sonoros considerados danosos à saúde pública pela já aludida OMS. A especulação imobiliária em áreas de grande valor econômico circunvizinhas ao aeroporto objeto de nosso estudo, aliada a uma estrutura política e legislativa degradada, permite a construção de residências em áreas proibidas pela legislação aeronáutica, mas permitidas pela legislação de uso e ocupação do solo.

Desta forma, o diagnóstico ambiental sonoro também deve analisar até que ponto a incompatibilidade entre a legislação aeronáutica e a legislação municipal de poluição sonora, interfere na adequação acústica do ambiente.

Além destes, outros fatores ainda merecem destaque. Há poucos estudos direcionados aos pequenos aeroportos. Desta forma, ainda não há critérios de avaliação definidos. A ausência de infra-estrutura de apoio ao voo nestes aeroportos contribui para a desorganização do espaço aéreo, dificulta o controle de trajetórias e atribui ao piloto total responsabilidade sobre os procedimentos operacionais, sem que haja como identificar e punir pilotos infratores.

A utilização de “softwares” de acústica previsional, auxiliando na definição de áreas expostas ao ruído aeronáutico, não produz uma resposta inteiramente satisfatória, pois estes programas não incorporam variáveis como a absorção do solo e propagação lateral e, ao focarem preferencialmente parâmetros do fenômeno físico do som, não conseguem retratar adequadamente as variáveis não estritamente acústicas (VALLET, 2001). Observa-se que um dos grandes problemas da avaliação da qualidade do ambiente sonoro está em distinguir até que ponto as variáveis não estritamente

acústicas<sup>3</sup>, e as de natureza subjetiva, interferem na resposta humana à exposição sonora.

Uma vez que os métodos atualmente empregados no diagnóstico ambiental sonoro não conseguem abordar estes aspectos adequadamente, resta-nos, portanto, responder a seguinte questão: Como tratar desta categoria de fatos? Certamente acrescentando outros conteúdos à avaliação, ampliando um escopo ainda fortemente assentado em dados puramente objetivos.

Para responder a esta pergunta, elaboramos uma pequena lista de questões que também devem ser respondidas neste trabalho:

- *Como avaliar a qualidade ambiental sonora em áreas habitadas incorporando as variáveis subjetivas e as não estritamente acústicas?*
- *Nesta perspectiva, como diagnosticar a resposta de uma população ao ruído aeroportuário?*
- *Como diagnosticar o ambiente sonoro em áreas circunvizinhas a pequenos aeroportos situados em áreas urbanas, onde existem habitações, hospitais, comércios, serviços, lazer etc.?*
- *Como deve ser realizado este tipo de diagnóstico quando os aeroportos estão situados em regiões com clima tropical úmido?*
- *Como retratar este diagnóstico de forma clara, permitindo ao planejador hierarquizar os diversos aeroportos brasileiros em função da sua adequação acústica ?*

## **HIPÓTESES**

A Avaliação Pós-Ocupação é uma metodologia de avaliação do desempenho do ambiente construído centrada no homem. Poucos trabalhos no campo da APO têm focado áreas tão extensas quanto o entorno de aeroportos. Ao aproveitarmos sua estruturação e a aplicarmos a uma área urbana circunvizinha a um aeroporto, acabamos por ampliar o seu escopo. Assim é que propusemos o termo Avaliação Pós-Ocupação (APO) Acústica, como uma variante metodológica da APO que permite retratar, de um

---

<sup>3</sup> As variáveis não estritamente acústicas são aquelas que interferem nos caminhos de propagação do som, modificando a sua percepção no local de recepção (VALLET, 2001). As variáveis subjetivas decorrem do incômodo, do medo da queda de aeronaves, da desvalorização de imóveis, de que as autoridades não estejam preocupadas com a situação e de que a situação acústica venha ser modificada, passando a um estágio insuportável.

modo global e pertinente, o ambiente sonoro e indicar os seus aspectos problemáticos, podendo, ainda auxiliar na proposição de soluções e servir como um instrumento para a implementação da Abordagem Equilibrada, proposta pela Organização Internacional de Aviação Civil (OACI).

Neste trabalho, a Avaliação Pós-Ocupação Acústica é tratada como um instrumento de apoio ao planejamento e gestão ambiental no entorno de aeroportos, permitindo diagnosticar o ambiente sonoro, indicando as áreas impactadas negativamente pelo ruído aeroportuário e identificando os diversos fatores que podem estar contribuindo para este quadro. Esses fatores não se combinam de forma estanque separada ou linear, requerendo um tratamento específico desta nebulosidade. Para efetivamente auxiliar no planejamento e gestão ambiental, é proposta a criação de um sistema de indicadores<sup>4</sup> de adequação do ambiente sonoro que resulta um indicador de adequação global do ambiente sonoro. O estabelecimento deste parâmetro global vai requerer um tratamento *fuzzy* das resultantes da APO, orientada para os aspectos de acústica comunitária, e uma posterior *desfuzzificação* de seu resultado para obtenção do referido indicador.

Ora, esta construção nos colocou diante da pequena lista de problemas mencionada anteriormente, em face da qual estabelecemos as seguintes hipóteses:

H1: O diagnóstico ambiental requer necessariamente a apreciação de variáveis não estritamente acústicas e subjetivas, além das objetivas;

H2: A sensação de incômodo não pode ser explicada em termos puramente objetivos;

H3: Os dados resultantes da avaliação pós-ocupação acústica do ambiente urbano sugerem um tratamento *fuzzy* para a obtenção de indicadores apropriados;

H4: Os parâmetros empregados na avaliação de incômodo sonoro devem atender às características geoclimáticas da realidade a que se reportam.

---

<sup>4</sup> A palavra *indicador* deriva do Latim *Indicare*, que significa indicar, dar direções, estimar. Segundo CAVALCANTI *et al* (2000), "indicadores indicam fenômenos complexos e abstratos, numa forma quantificável, pois o uso abusivo de informações complexas pode dificultar uma tomada de decisão. Portanto, os indicadores são utilizados para representar de maneira mais simplificada uma situação geral de escala mais complexa." Desde modo, eles têm a finalidade de demonstrar uma tendência e auxiliar na tomada de decisão.

Cada uma destas hipóteses cabe ser sumariamente justificada nesta apresentação, observando-se que no teor da tese estas justificativas serão retomadas e aprofundadas.

No que tange à primeira hipótese, cabe considerar que o ambiente sonoro é um sistema ambiental, o qual abrange o desenvolvimento de atividades no espaço terrestre e no espaço aéreo. Qualquer proposta de intervenção nesse sistema requer a realização de um diagnóstico ambiental, baseado na identificação das variáveis objetivas, subjetivas e de variáveis não estritamente acústicas que interferem na resposta humana. Neste sentido, a APO Acústica fornece um entendimento holístico da situação, auxiliando na identificação dos múltiplos choques de interesses envolvidos, com base em um suporte técnico e no conhecimento das aspirações e necessidades e dos usuários.

Respectivamente à segunda hipótese, não há como ignorar que a existência de um aeroporto em uma área habitada acarrete impacto ambiental sonoro sobre as áreas vizinhas, ainda que este seja um aeroporto de pequeno porte. Assim sendo, tentaremos demonstrar que a resposta de uma população à exposição sonora não se relaciona com o porte do equipamento aeroportuário e sim decorre da sua existência, ou seja, que as queixas também se relacionam com dimensões subjetivas do incômodo. BRÜEL (1999) ressalta que o ruído emitido por pequenos aeroportos irrita muitas pessoas que vivem em suas proximidades, embora os seus níveis sejam muito menores que os emitidos por grandes aeroportos. O autor apresenta inúmeros motivos para a implantação e proteção de tais aeroportos, porém concorda que muitas pessoas desejam o seu fechamento ou, ao menos, a redução das atividades neles desenvolvidas, devido não apenas ao ruído produzido, mas ao medo<sup>5</sup> da queda de aeronaves.

Em outro estudo relacionado aos efeitos do ruído ambiental associados com aeronaves de turismo (de pequeno porte) na Nova Zelândia, HUNT (1999) chama a atenção para as fortes expectativas de turistas relativas ao seu direito de lazer ao ar livre, principalmente no que se refere ao ruído emitido por aviões. O autor considera que o sobrevôo de aeronaves pode produzir incômodo sobre freqüentadores de parques, provocar interferência na comunicação e causar sentimento de incapacidade devido a intrusão no ambiente de um fator que foge ao controle do indivíduo.

---

<sup>5</sup> MILLER (1974) relaciona o medo da queda de aeronaves ao alto grau de incômodo sentido por pessoas expostas ao ruído emitido por aeronaves subsônicas.



Para desenvolver a terceira hipótese assumiremos que os dados coletados a partir da realização de uma APO Acústica, servem como entrada para um modelo “fuzzy” baseado em quatro subsistemas: ambiente urbano, físico, funcional e comportamental que interagem entre si. Neste sentido procuraremos demonstrar todo o processo de modelagem *fuzzy* realizado para o tratamento deste tipo de caracterização da APO.

A quarta hipótese sublinha que os parâmetros estejam em concordância com a realidade geoclimática local. Assim sendo, considera-se que um  $L_{DN} = 55\text{dB(A)}$  (Nível Sonoro Dia e Noite) é mais adequado para a avaliação do ambiente sonoro no entorno de aeroportos situados em clima tropical úmido do que o  $L_{DN} = 65\text{dB(A)}$ , utilizado como parâmetro pelo Instituto de Aviação Civil e pela INFRAERO<sup>6</sup> (Empresa de Infra-estrutura Aeroportuária). Tendo em vista o clima local, é mister traçar essas curvas com um  $L_{DN}$  (Nível Sonoro Dia e Noite) menor ou igual a  $55\text{dB(A)}$ , pois a atenuação sonora proporcionada pelas fachadas é inferior à comumente encontrada em regiões frias, dada a frequência com que as janelas permanecem abertas e a baixa inércia térmica das paredes. Outrossim, em dias de temperatura elevada a resistência do ar é maior e os aviões atingem menor velocidade. Assim, os pilotos necessitam imputar mais potência ao motor, aumentando o nível sonoro produzido. (<http://www.acnusa.fr>; 27/05/2003)

Observa-se, ainda, que a “*Environmental Protection Agency*” (EPA) e a Organização Mundial de Saúde (WHO) recomendam a adoção de um  $L_{DN} 55\text{dB(A)}$ , a fim de garantir a saúde e qualidade de vida da população. Já a ACNUSA (2002), Autoridade Francesa de Controle dos Incômodos Sonoros, recomenda que a ajuda relativa ao isolamento sonoro de edificações deve ser concedida às edificações situadas no entorno de aeroportos inseridas na curva  $L_{DEN}=55\text{dB(A)}$ (Nível Sonoro Dia, Tarde e Noite). Este nível sonoro também é estabelecido como parâmetro pelos planos de zoneamento de ruído na Nova Zelândia, Finlândia e Dinamarca (quando se tratar de aeroportos comerciais e de áreas residenciais). (FLINDELL, 2000)

Não é demais assinalar que estes países apresentam clima frio e o envelope das suas edificações apresenta uma maior inércia térmica e, conseqüentemente, um maior

---

<sup>6</sup> A Infraero - Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária é uma empresa pública, vinculada ao Ministério da Defesa, responsável pela administração de 65 aeroportos e de 83 Estações de Apoio à Navegação Aérea no país, que executam serviços de telecomunicações, controle de tráfego aéreo, meteorologia e proteção ao voo no espaço aéreo brasileiro. (<http://www.infraero.com.br>. Acesso em 16/10/2004)

isolamento sonoro que as edificações situadas em clima tropical úmido. Portanto, em clima tropical, as populações estão mais expostas ao ruído proveniente de áreas externas, sendo provável que os níveis de incômodo sejam maiores. Todavia, poucos ainda são os estudos sobre o assunto nessas regiões climáticas.

### **METODOLOGIA: A APO ACÚSTICA**

A metodologia proposta é uma associação da APO Acústica à modelagem “fuzzy”, baseada na criação dos quatro subsistemas já mencionados: ambiente urbano, físico, funcional e comportamental. A lógica *fuzzy* é empregada como uma ferramenta de auxílio à análise e interpretação de dados obtidos a partir da APO Acústica efetuada em uma área circunvizinha ao Aeroporto de Jacarepaguá, situado na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro.

Assim sendo, os subsistemas propostos têm como entrada os dados resultantes da APO Acústica. A cada um desses subsistemas é atribuído um indicador parcial de adequação acústica do ambiente. Estes indicadores resultam um indicador global. Os indicadores parciais dos quatro subsistemas propostos e o indicador global são representados por números reais, os quais correspondem a “notas” resultantes no nível de adequação acústica do ambiente, em relação a cada subsistema e em relação ao sistema ambiente sonoro como um todo. A relação entre estes subsistemas é representada em um único fluxograma, possibilitando identificar facilmente os pontos problemáticos que merecem atenção do poder público.

No aeroporto objeto de estudo operam aeronaves de pequeno porte. Todavia, o mesmo tem sido alvo de reclamações das populações vizinhas.

Considera-se que a APO Acústica irá auxiliar na verificação da procedência ou não de tais reclamações, definindo a qualidade do ambiente sonoro atual. Ela é utilizada para verificar qual é a fonte de ruído mais incômoda dentre aquelas presentes na área circunvizinha ao Aeroporto de Jacarepaguá, que fatores influenciam para que haja ou não incômodo, como é realizado o planejamento ambiental e como são estabelecidas as posturas municipais de uso e ocupação do solo visando o conforto acústico da comunidade.

Convém ressaltar que através da realização de diversas APOs Acústicas também será possível obter o diagnóstico ambiental sonoro no entorno dos aeroportos brasileiros, gerando subsídios para a elaboração de leis e normas compatíveis com as necessidades da população. Tal fato é importante, pois as leis e normas atualmente vigentes se baseiam em estudos realizados em países com clima frio, cujas necessidades são outras. Além disso, no Rio de Janeiro, existe uma incompatibilidade entre a legislação de poluição sonora municipal, a lei de uso e ocupação do solo e a legislação aeronáutica. Complementarmente, a criação de indicadores de adequação acústica para os diversos aeroportos brasileiros, permitirá produzir uma escala hierárquica em função da necessidade de intervenção, auxiliando o poder público no processo de tomada de decisão.

### ***ESTRUTURA DO TEXTO DE TESE.***

O CAPÍTULO 1 retrata sucintamente os tipos de planejamento adotados ao longo da história, considerando a importância do planejamento e gestão ambiental no entorno de aeroportos. Também são mencionados os procedimentos atualmente adotados no Brasil e no mundo visando compatibilizar o desenvolvimento da infra-estrutura aeroportuária e a expansão urbana, dentre os quais a Abordagem Equilibrada, proposta pela Organização Internacional de Aviação Civil (OACI).

O CAPÍTULO 2 introduz os conceitos de qualidade ambiental, ruído e forma urbana. Aborda os efeitos do ruído no homem e comenta sobre as fontes sonoras presentes em meio ambiente urbano, os aspectos ambientais que interferem na propagação do som ao ar livre, os índices e indicadores que descrevem a carga de ruído sobre a coletividade. A forma urbana é apresentada como um dos fatores que contribuem para configurar a paisagem sonora, tendo em vista os tipos de tecidos urbanos, as noções de permeabilidade, espessura, sonoridade e absorção sonora proporcionada pelos diversos tipos de solo e o efeito barreira.

O CAPÍTULO 3 relata um breve histórico da Avaliação Pós-Ocupação (APO) e apresenta os principais métodos de coleta de dados, procurando relacioná-la à Teoria dos Sistemas Nebulosos.

O CAPÍTULO 4 introduz a APO ACÚSTICA e apresenta as estratégias para a sua implementação em áreas urbanas, relacionando-a à "abordagem equilibrada" (recomendada pela OACI), ao Planejamento Participativo e à Teoria dos Sistemas Nebulosos. Um modelo "fuzzy" é proposto visando criar indicadores de adequação parcial e global do ambiente sonoro, já esboçando as variáveis que irão servir como entrada e saída de cada subsistema.

O CAPÍTULO 5 retrata o estudo de caso realizado no Aeroporto de Jacarepaguá, no qual foi aplicada a metodologia proposta. O modelo "fuzzy" apresentado no capítulo 4 é desenvolvido e aplicado ao estudo de caso. Este modelo considerou as diversas etapas da APO Acústica, podendo-se obter os indicadores de adequação do ambiente sonoro (parciais e global) mencionados.

Na CONCLUSÃO, são comentados alguns dos conceitos relativos à gestão do ruído que inspiraram a criação do modelo *fuzzy* proposto, em seguida é apresentado o fluxograma que sintetiza os resultados da APO Acústica aplicada ao estudo de caso e, a partir deste fluxograma, são apontados os problemas observados, sugeridas algumas recomendações para a compatibilização do aeroporto com seu entorno e para novas pesquisas que poderão dar seqüência a este trabalho.

## Capítulo 1

# PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL NO ENTORNO DE AEROPORTOS

### 1. 1. O PLANEJAMENTO

Em geral, é difícil encontrar uma definição de planejamento aceita unanimemente.

A carta dos Andes, (*apud* FERRARI, 1986, p.4), elaborada em outubro de 1958, promovida pelo “Seminário de Técnicos e funcionários em planejamento urbano, realizado pelo Centro Interamericano de Vivenda e Planejamento (CINVA), o define como “o processo de ordenação e previsão para conseguir, mediante a fixação de objetivos e por meio de uma ação racional, a utilização ótima de recursos de uma sociedade em uma época determinada”.

Atualmente, o termo planejamento apresenta uma série de significados. HEALEY (1997) o define como sendo uma empreitada democrática, que objetiva promover justiça social e sustentabilidade ambiental. Segundo ALMEIDA *et al* (1993, p.14), enquanto uma prática administrativa, o planejamento é um processo rigoroso de dar racionalidade à ação. Portanto, é um processo de raciocínio, onde se deve enfrentar, de maneira criativa, as situações que se apresentam.

FAINSTEIN *et al* (1998) definem planejamento como uma tomada de decisão pública orientada para o futuro e dirigida para objetivos específicos. Segundo os autores, é possível estabelecer um tipo de abordagem do planejamento com base em quem determina os objetivos de um plano<sup>7</sup>. Deste modo, embora existam diferentes tipos de planejamento, a visão do planejamento como um processo político é a mais importante. Dentro dessa concepção, são definidas quatro categorias de planejamento: Tradicional, democrático, igualitário e incremental. Existem ainda outras abordagens de planejamento, tais como o estratégico (KAUFMAN *et al*, 1998) e "Advocacy Planning" (DAVIDOFF, 1998), dentre outras.

---

<sup>7</sup> Segundo FAINSTEIN *et al* (1998) plano constitui uma política pública e difere de outros tipos de decisões políticas. FALCOSKI *et al* (2000) definem plano como informações que servem de parâmetros para as decisões de projeto, delineando as diretrizes e necessidades de informação para decisões subsequentes.

O planejamento tradicional representa um contínuo esforço para interrelacionar concepções de qualidade e dinâmica social dos lugares através da articulação e implementação de políticas. Assim sendo, a manutenção da função das cidades pelos governos é realizada mediante a atribuição de um papel importante ao planejamento (HEALEY, 1997). Ele oscila entre uma postura radicalmente transformadora e outra conservadora da função das cidades e governos.

A cultura do planejamento tem suas bases nas transformações filosóficas e sociais desenvolvidas no fim do século XIX, quando se enfatizava o conhecimento científico e houve a Revolução Industrial. Nesta época, o contexto econômico e político resultou geração de riquezas, mas trouxe também desigualdades sociais e poluição ambiental. Tal fato gerou o crescente interesse na gestão das relações sociais e espaciais. O planejamento seria a chave para evitar problemas futuros e o conhecimento científico forneceria as bases conceituais para identificar problemas e prever possibilidades. (HEALEY, 1997)

Segundo FAINSTEIN *et al* (1998), o planejador tradicional acredita que o progresso pode ser obtido através da ciência e da racionalidade voltada para o uso construtivo. Os planejadores tradicionais constroem parques, avenidas, demolem cortiços, implementam códigos e o zoneamento do uso do solo.

Diante dos problemas acarretados pelas condições econômicas e políticas, acreditou-se que os planejamentos urbano e econômico ofereciam um mecanismo eficiente e efetivo para administrar regiões urbanas e suas economias. O atual planejamento espacial tem suas raízes em tal contexto, surgindo diversas propostas para estilos de vida alternativos. (HEALEY, 1997)

Durante a modernidade e o período de urbanização industrial houve forte preocupação com a qualidade funcional e material do desenvolvimento das cidades, influenciando a implementação de regulamentações do uso do solo, visando prevenir poluição em áreas residenciais e orientar o desenvolvimento de serviços em áreas adequadas.

Deste modo, planos diretores<sup>8</sup>, projetos para áreas verdes e projetos de reestruturação urbana passaram a fazer parte do processo de desenvolvimento do espaço físico em muitos lugares no fim do século XIX. O desafio era encontrar um modo de organizar as atividades. Assim sendo, realizaram-se debates sobre as adequadas formas de relacionar o homem e a natureza tendo em vista a nova situação imposta pela tecnologia e pelos transportes motorizados.

Já no Século XX, nos anos 40 e 50, na Europa, os planejadores buscaram construir "um estado de bem-estar" e melhorar a qualidade de vida após a guerra. Assim, o planejamento das cidades privilegiou a forma física, a morfologia, a organização espacial e a provisão de serviços urbanos.

Enquanto o planejamento econômico foi dominado por economistas e filósofos políticos, o planejamento físico foi desenvolvido por arquitetos e engenheiros, os quais criaram imagens utópicas de como as cidades deveriam ser e da possibilidade de construir a forma urbana. Em meados do século XX a teoria do planejamento se orientou para a discussão em torno da forma urbana, gerando as mais diversas idéias sobre organização espacial. (HEALEY, 1997)

Nos anos 60 o planejamento físico foi fortemente criticado pela arrogância dos planejadores e pela forma que o entendimento científico se distanciava das dinâmicas da região urbana.

Os anos 70 foram palco de fortes críticas ao planejamento, o qual assumiu a posição de lutas de classes visando o controle administrativo do ambiente urbano.

Na década de 80, esta crítica cedeu lugar à busca por uma visão mais ampla dos conflitos e à valorização da vida e do meio ambiente. Na Inglaterra, a responsabilidade dos cidadãos e a sustentabilidade ambiental passaram de uma vaga visão política a uma ampla pretensão na idéia de planejamento ambiental. Os debates sobre os conceitos e práticas de planejamento foram crescentes. Alguns enfocavam a realização de análises sobre economias locais, outros demonstravam preocupações com a cultura, conhecimento, comunidade e com as esferas locais. Também foram marcantes as discussões de assuntos de preocupação coletiva por representantes dos diversos grupos

---

8 O Plano Diretor Municipal é objeto a Lei Complementar nº 16, de 4 de junho de 1992, que dispõe sobre a política urbana do município.

sociais. Assim, o planejamento físico tradicional foi deixando de lado seus fundamentos utópicos e estéticos, passando a focar a análise política e a dinâmica social, econômica e ambiental das regiões urbanas.

Na segunda metade da década de 80, o meio ambiente se tornou uma preocupação econômica internacional e o planejamento econômico passou a incorporar as potencialidades e restrições ambientais, em busca do desenvolvimento sustentável, cujas bases foram estabelecidas no relatório *Brundland*, publicado em 1987. (SCANDURRA, 1995)

Segundo SUNKEL (1981), a introdução da perspectiva ambiental significa reconhecer que o crescimento é condicionado pelo entorno biofísico local, nacional e global, pois, este último, afeta de diversas maneiras o crescimento econômico e é afetado por ele. Assim sendo, um crescimento econômico saudável, capaz de estabelecer os meios para a implementação de uma política preocupada com as questões ambientais tornou-se o grande desafio.

Embora do ponto de vista econômico, no fim do século XX, o planejamento tenha sido visto como um obstáculo ao processo de crescimento, a crescente preocupação com a qualidade ambiental gerou uma situação em que a demanda pela regulação da atividade econômica tornou-se predominante.

Ao longo dos anos, os debates e práticas da gestão econômica tiveram como característica comum o enfoque no bem-estar de consumidores e na geração de lucros para produtores. HEALEY (1997) ressalta que estes debates fornecem um contexto para a discussão do desenvolvimento físico das cidades e da gestão do espaço em regiões urbanas, tendo em vista o negligenciamento das ligações entre a economia e o desenvolvimento do espaço físico, dando-se pouca ênfase a co-existência de diferentes atividades na distribuição de espaços.

O desenvolvimento do planejamento físico caminhou para o reconhecimento dos processos sociais, da complexidade das demandas por gestão ambiental local e das relações entre os processos sociais, econômicos e ecológicos. O planejamento e a política pública passaram a ser considerados processos sociais, acreditando-se que o modo de pensar, de avaliar e agir das pessoas é ativamente construído pelas trocas de informações entre os participantes desses processos. Atualmente, esta abordagem é



denominada teoria do planejamento comunicativo, argumentativo ou interpretativo (HEALEY, 1997). Ela baseia-se na prática do planejamento através de debates, na troca de conhecimento entre os atores sociais envolvidos e na crítica construtiva (HEALEY, 1998).

Vale ressaltar que, dentre as condições assinaladas por SUNKEL (1981) para a introdução da dimensão ambiental no planejamento, estão a adoção de uma perspectiva integradora multidisciplinar, particularmente a incorporação do conhecimento gerado pelas ciências naturais, as dimensões físicas e espaciais, e a busca por formas de melhorar a participação e organização social dos setores populares no processo de planejamento.

Mas nos últimos 10 anos, outra abordagem do planejamento também tem sido alvo de discussões. Trata-se do planejamento estratégico. Este surgiu há cerca de 24 anos no setor privado, tendo como objetivo planejar o crescimento de corporações diante de incertezas. Desde então, tem sido aplicado ao setor de transportes, saúde, ambiente e ao planejamento regional, estadual e municipal. (KAUFMANN *et al*, 1998) Sua aplicação no setor público tem a visão da cidade como uma corporação pública.

KAUFMANN *et al* (1998) ao analisarem as similaridades e diferenças entre o planejamento estratégico e o planejamento público tradicional concluem que sob vários aspectos o planejamento estratégico não traz novidades. O que o diferencia basicamente do planejamento tradicional é a coerência em sua estrutura. Ele é mais orientado para os resultados das ações propostas, sendo mais relevante para a tomada de decisão. Segundo os autores, o planejamento estratégico pode estar substituindo o debate sobre "o que fazer" por "como fazer".

### **1.1.1. O Planejamento Ambiental**

No passado, os planos espaciais tiveram como função fornecer estrutura e regras básicas para reduzir e limitar conflitos ambientais. Todavia, as mudanças sociais e econômicas ocorridas destruíram as bases sobre as quais essa estrutura foi construída.

Hoje, várias formas de mediar conflitos ambientais vêm sendo exploradas. Embora, atualmente, ainda existam pressões no sentido de retomar a ênfase sobre as relações espaciais e qualidades do espaço, a discussão em torno do planejamento colaborativo tem sido a mais enfatizada. Conforme assinalam ALMEIDA *et al*:

“a adoção do modelo de desenvolvimento que contemple a questão ambiental passa, obrigatoriamente, pela democratização das decisões, de forma a permitir a participação da sociedade, garantindo este acesso à discussão dos problemas e direito de vigilância no cumprimento das ações”. (1993, p. 42)

Considera-se que a democratização de decisões permite realizar uma troca de informações sobre os modos de avaliar e administrar os possíveis impactos ambientais, contribuindo para a formação de um capital intelectual e para a resolução de problemas do espaço urbano. Segundo HEALEY (1997), através deste processo de aprendizado, os conflitos podem ser melhor compreendidos.

A compatibilização das preocupações coletivas com a qualidade ambiental urbana estimula a mudança dos espaços em áreas urbanas e oferece idéias sobre as formas e processos de governar, indicando o que fazer e como agir. Além disso, a consideração da presença de um sistema de significados e de estruturas de referências através dos quais as pessoas idealizam o ambiente em que vivem também é relevante para o planejamento ambiental.

É necessário encontrar mecanismos que viabilizem identificar o que deve ser melhorado no ambiente em que vivemos (organização espacial, qualidade ambiental etc), respeitando as reivindicações coletivas. Mas os meios de discutir coletivamente sobre os problemas ambientais ainda necessitam ser explorados.

As relações sociais são complexas e envolvem jogos de poder. Os indivíduos têm interesses pessoais e as discussões coletivas refletem lutas de classes sociais buscando defender seus próprios pontos de vista, suas diferentes visões do mundo.

O planejamento busca o debate coletivo com respeito ao ambiente local e às diversas reivindicações. Todavia, estas reivindicações são provenientes de diferentes visões de mundo e as ênfases dadas são particulares e incomensuráveis. Embora os indivíduos não vivam isolados, relacionando-se socialmente, apresentam diferentes estruturas de referência, modos de pensar, de se organizar e de viver. Segundo HEALEY (1997), os indivíduos vivem em uma rede de múltiplas relações, cada um com sua cultura, isto é, modos de pensar e sistemas de pensar e avaliar.

O papel dos planejadores, segundo DAVIDOFF (1998), é representar e defender os interesses dos diversos grupos sociais, dada a necessidade de estabelecer uma efetiva democracia urbana. Os planejadores deveriam ser advogados dos interesses públicos e

de outros grupos que se preocupam com políticas para o futuro desenvolvimento da comunidade. Assim, o planejamento deve ser estruturado e deve levar em conta a inevitável bifurcação dos interesses públicos. Planejar o futuro implica na realização de um debate abertos sobre valores políticos e sociais.

Assim sendo, um outro desafio é conciliar as demandas individuais com aquelas da coletividade. Em suas relações pessoais (no trabalho, em casa, na rua, na comunidade) os indivíduos constroem sua identidade e podem modificar o seu modo de pensar, agir e de avaliar, modelando a sua referência cultural.

A estruturação de relações entre comunidades locais e os espaços em que elas vivem, através de um discurso entre múltiplas culturas, pode contribuir para a construção de uma cultura local, a qual consiga articular suas reivindicações, decidir colaborativamente que reivindicações devem ser validadas, identificar prioridades e desenvolver estratégias de ação coletiva. Nesse sentido, o respeito aos diferentes tipos de reivindicações e à diversidade cultural, bem como o diálogo reflexivo, são essenciais. Assim sendo, é necessário encontrar um meio de realizar esse diálogo.

HEALEY (1997) destaca a importância de reconceitualizar o planejamento ambiental como um processo de comunicação intersubjetiva, na esfera pública, através de uma mútua dinâmica de aprendizado. Para ele, uma das causas dos conflitos ambientais é que, freqüentemente, as pessoas se posicionam de distintos modos nas redes de relações sociais, ainda que partilhem um mesmo espaço. Estes conflitos envolvem pessoas que têm interesses, visões e culturas diferentes, apresentando diferentes modos de conduzir as questões.

Assim, o planejamento ambiental torna-se parte de um processo que tem o potencial de construir relações e discursos, o capital social e intelectual, sobre preocupações no nível de bairros, cidades e regiões urbanas.

Neste contexto, a abordagem colaborativa tem a tarefa de capacitar o diálogo diante da diversidade de relações estabelecidas no mundo multicultural contemporâneo.

Atualmente, o planejamento é entendido como um processo interativo, entendido num contexto social, e não num processo de projetar, analisar e administrar puramente técnico. O planejamento ambiental deve buscar formas de agir em benefício da resolução de problemas coletivos e administrar as mudanças ambientais, dentro de um

enfoque multidimensional. (SUNKEL, 1981) O planejamento não deve ter um enfoque unilateral, por exemplo, voltado restritamente para a morfologia urbana e o racionalismo científico (HEALEY, 1998).

DAVIDOFF (1998) ressalta que as condições físicas do ambiente têm como único significado servir aos seus usuários. Segundo o autor, alta densidade, baixa densidade, cinturões verdes, uso do solo misto, centros de negócios centralizados ou descentralizados não são bons, nem maus. Eles descrevem relações e condições físicas, mas só apresentam valor concreto quando são vistos em termos de seus efeitos sociais, econômicos, psicológicos e estéticos sobre os usuários.

Nas décadas passadas as reformas urbanas experimentadas demonstraram que preocupações exclusivamente com remoção de danos físicos podem não melhorar as condições do ambiente físico e, ainda, engendrar severas repercussões sociais e econômicas (DAVIDOFF, 1998).

Todavia, é relevante destacar que caso não haja preocupação com o planejamento espacial, a resolução de conflitos ambientais locais de modo sustentável será limitada (HEALEY, 1997). Deste modo, é necessário que o planejamento espacial seja visto como uma importante parte do planejamento das cidades. Mas, é conveniente não perder de vista a noção de que o planejamento ambiental deve ser integrante do conjunto de planejamentos (econômico e social) que compõem o planejamento do desenvolvimento, conforme ressaltam ALMEIDA *et al* (1993).

Além disso, no planejamento ambiental não se pode deixar cegamente que os problemas sociais e econômicos sejam solucionados meramente com base em parâmetros técnicos, conforme ocorreu no passado. É imperativo tomar uma nova postura diante da questão ambiental. Nesse sentido, o planejamento participativo surge como uma alternativa que permite considerar a multiplicidade de valores defendidos na escala urbana durante o processo de planejamento.

### **1.1.2. A gestão do meio ambiente**

A implementação de políticas de preservação do meio ambiente depende da elaboração de processos de avaliação e gestão de riscos ambientais. BURSZTYN (1994) afirma que enquanto a “avaliação” se limita a uma estimativa científica da amplitude do risco diante da exposição a um determinado poluente (baseada nos melhores dados

científicos disponíveis), a “gestão” considera os efeitos econômicos e sociais dos programas regulamentares, além dos prováveis efeitos dos poluentes.

Um aspecto importante no que tange a melhoria da eficiência de políticas ambientalistas é a necessidade da criação de estratégias preventivas, incorporando a variável ambiental desde as primeiras fases da implantação de políticas públicas setoriais. Entretanto, conforme BURSZTYN (1994) ressalta, a aplicação de tais estratégias depende da disponibilidade de uma base sólida de conhecimentos e dados necessária à elaboração da análise, sendo imperativo reforçar a pesquisa científica e melhorar o sistema de estatísticas e informações.

Segundo HORKENSTEIN *et al* (1997), com a perspectiva de minimizar os vários tipos de poluição, uma importante ferramenta aplicada na gestão ambiental, com baixo custo e impactos sociais positivos, é o uso de instrumentos de mercado, ou seja, o uso de estratégias inovadoras adequadas à transposição de desafios atuais e futuros, tais como a negociação de permissões relativas à compra do direito de poluir, a instituição de taxas e no caso de resíduos perigosos o sistema depósito-devolução de modo que a substância em questão retorne para reciclagem ou estocagem apropriada.

Entretanto, os autores informam que o sucesso da utilização desses instrumentos depende do estabelecimento de melhorias no programa proposto até o momento, para que possa ser vencida a resistência de alguns grupos de interesse.

Os instrumentos ambientais, entretanto, não são a única solução e algumas vezes é necessário atuar através da abordagem “comando e controle”, na qual os custos ambientais estão embutidos no custo das mercadorias e são estabelecidos padrões uniformes de medidas mitigadoras sem relacionar o custo e benefícios. Essa abordagem auxilia na limitação da poluição ambiental, mas pode acarretar custos sociais desnecessários. (HORKENSTEIN *et al* , 1997)

No trabalho desenvolvido por PORTNEY (1998) sobre o papel do desenvolvimento econômico da tomada de decisão ambiental, o autor salienta que a tradicional abordagem “comando e controle” não é adequada e que a utilização de instrumentos de mercado seria mais adequada, pois apresenta menor custo.

Na minimização dos riscos ambientais decorrentes do ruído aeroportuário algumas destas ferramentas são utilizadas, conforme apresentado a seguir.

## **1.2. O AEROPORTO<sup>9</sup> E SEU ENTORNO<sup>10</sup>**

O aeroporto é um equipamento urbano com acentuadas implicações no desenvolvimento das cidades. A sua implantação acarreta impactos positivos e negativos em uma região. Assim, caso não sejam adotadas medidas que visem orientar o seu desenvolvimento e o uso do solo em seu entorno, a sua futura expansão poderá ser comprometida e sérios problemas ambientais poderão ocorrer.

O principal problema ambiental em torno de aeroportos é o ruído emitido por aeronaves, o qual limita o seu crescimento e a ampliação do tráfego aéreo (OACI, 1988; VALLET, 2001). A poluição sonora no entorno de aeroportos poderá decorrer não apenas da atividade aeroportuária em si, mas da implantação de determinados serviços necessários ao seu funcionamento (IACa, 2000; OACI, em divulgação 2005).

De modo geral, o aeroporto é implantado em uma área afastada de edificações nas quais são desenvolvidas atividades sensíveis ao ruído (residências, hospitais e escolas). Todavia, o seu funcionamento está subordinado a existência de grandes eixos viários e de infra-estrutura urbana adequada ao exercício de inúmeras atividades econômicas que, juntamente com ele, são implantadas.

Assim sendo, à medida que entra em operação, num primeiro momento, ocorre valorização imobiliária das áreas vizinhas, que vão sendo ocupadas paulatinamente, pois o aeroporto torna-se um pólo atrativo para ocupação residencial, bem como de empreendimentos comerciais e industriais. Porém, conforme vai se expandindo, aumenta o número de vôos por dia, passam a operar aeronaves mais potentes e pesadas, as quais são, conseqüentemente, mais ruidosas.

Uma vez que existe uma interligação entre transporte aéreo e terrestre, o aumento do número de vôos e do volume de passageiros acarreta o aumento do fluxo de veículos que fazem o transporte terrestre, sobrecarregando o sistema rodoviário, também gerando ruído rodoviário.

---

<sup>9</sup> Aeroportos são definidos no Art. 31 do Código Brasileiro de Aeronáutica (CBA) como aeródromos públicos civis, destinados ao tráfego de aeronaves em geral, dotados de instalações e facilidades para apoio a aeronaves e ao embarque de pessoas e cargas. Aeródromo é definido no Art.27 do Código Brasileiro de Aeronáutica (CBA) como toda área destinada a pouso, decolagem e movimentação de aeronaves.

<sup>10</sup> A área de entorno do aeroporto é composta pela área de planejamento aeroportuário e pela área de planejamento urbano. A área de planejamento urbano é aquela que sofrerá os impactos diretos da operação do aeroporto.

Dessa forma, a ocupação do solo desordenada em áreas próximas a aeroportos vem sendo realizada com frequência, gerando conflitos atribuídos principalmente ao impacto ambiental sonoro resultante da incompatibilidade entre as atividades aeroportuárias e aquelas sensíveis ao ruído.

O passivo ambiental cresce. Surgem, então, queixas das populações vizinhas e pressões no sentido de restringir as operações do aeroporto e, em alguns casos, de torná-lo inoperante.

Contudo, em meio urbano, operam simultaneamente diversas fontes sonoras. Em determinadas situações, além do incômodo gerado pelo ruído aeroportuário, podem existir outras fontes sonoras muito incômodas, tais como vias de trânsito de veículos, bares, autódromos, ferrovias e os ruídos de vizinhança.

A operação do aeroporto está vinculada a emissão de ruído não apenas no espaço aéreo, mas, também, no espaço terrestre. Enquanto a propagação sonora no

espaço aéreo ocorre através das rotas de aviões e de helicópteros, no espaço terrestre o ruído pode ser função de uma série de variáveis, tais como operações de testes de aeronaves, operações de pouso, decolagem e taxiamento de



Figura 1.1. Sistema Ambiente Sonoro

aeronaves, operações de carga e descarga, serviços de apoio ao aeroporto, transporte terrestre de passageiros, de acompanhantes e de funcionários do aeroporto.

Portanto, as fontes sonoras existentes no espaço aéreo e no espaço terrestre podem ser consideradas na avaliação do ambiente sonoro, como elementos de um sistema (sistema ambiente sonoro) que interagem com outros elementos existentes no ambiente construído e cuja percepção irá depender desta interação (Figura 1.1).

Os ruídos emitidos no subsistema terrestre poderão ser atenuados em função das características dos envelopes das edificações, da forma urbana, dos materiais que compõem os espaços abertos, da presença de barreiras acústicas, bem como da distância e localização fonte-receptor. Todavia, quando se trata de ruídos emitidos no subsistema espaço aéreo, uma vez que a fonte sonora se desloca acima das edificações, não há como utilizar barreiras acústicas ou jogar com a forma das edificações para modificar a percepção sonora. Basicamente, a atenuação sonora é função da distância fonte-receptor, da absorção do solo, do isolamento sonoro das edificações e dos procedimentos de pouso e decolagem.

### **1.3. O PLANEJAMENTO E A GESTÃO DO RUÍDO AERONÁUTICO**

O planejamento aeroportuário visa compatibilizar o desenvolvimento físico e econômico do aeroporto com o seu entorno, buscando controlar as fontes de poluição e planejar o uso do solo nas áreas adjacentes. Tem como objetivo, proporcionar condições para o adequado funcionamento do aeroporto, sem acarretar transtornos para a comunidade local e sem agredir o meio ambiente.

A localização, tamanho e configuração do aeroporto necessitam ser coordenadas com o uso do solo residencial, industrial, comercial, agrícola, dentre outros, considerando os seus efeitos sobre as pessoas, a flora, a fauna, a atmosfera, cursos d'água etc.

Decisões como aumentar ou não as dimensões das pistas, ou modificar a infraestrutura aeroportuária, devem ser tomadas considerando a necessidade de haver uma relação otimizada entre o aeroporto e seu entorno. Todavia, essa relação depende de uma adequada tomada de decisão, baseada em um completo diagnóstico da situação local, em relações de confiança, transparência e respeito entre as autoridades locais, a administração do aeroporto e a população circunvizinha.

Segundo a OACI (2004), o planejamento aeroportuário deve ser reconhecido como parte de um programa de planejamento compreensivo, o qual leva em consideração o desenvolvimento local existente, os interesses da comunidade e os fatores econômicos na adoção de medidas de controle do ruído aeroportuário.



### **1.3.1. O controle de ruído aeroportuário no mundo**

O ruído aeronáutico em áreas urbanas vizinhas a aeroportos, provoca uma série de efeitos no homem conforme descrito nos trabalhos de MILLER (1974), GIERKE *et al* (1993), WHO (1995), SHAW (1996), VALLET (1996, 2002), STANSFELD (2002); HAINES *et al* (2002) e MUZET (2002), dentre outros autores, os quais serão abordados no Capítulo 2. Além desses efeitos, os temores das populações locais relativos à queda de aeronaves e à desvalorização de imóveis contribui para o agravamento do incômodo e das queixas comunitárias. (VALLET, 1996)

Após a introdução dos aviões a jato, houve um acréscimo da carga de ruído sobre populações circunvizinhas aos grandes aeroportos e o ruído passou a ser considerado o principal problema ambiental associado com a aviação civil (OACI, 1988). Esta situação gerou conflitos ambientais de dimensão internacional na vizinhança de um grande número de aeroportos, suscitando um forte interesse das autoridades em instituir planos de ação visando o controle de ruído aeronáutico e evitar danos à saúde pública.

Em geral, algumas estratégias vêm sendo propostas para controlar o ruído urbano e evitar a poluição sonora, tais como: redução do ruído na fonte sonora, atenuação no caminho de transmissão sonora ou controle do uso do solo em função da criação de “zonas de ruído”. Normalmente, a redução do ruído na fonte sonora é o melhor caminho, mas há situações em que limitações econômicas ou tecnológicas podem inviabilizar este procedimento. Neste caso, estas intervenções devem ser efetuadas nas edificações ou no espaço urbano, ou em ambos.

Ao definir a medida de controle de ruído adequada a cada situação, é necessário ter amplo conhecimento da situação local: climática, econômica e tecnológica. Nos países de clima frio, a realização de estudos epistemológicos lhes permitiu definir relações entre a dose de ruído e a resposta humana, bem como as métricas de avaliação de incômodo apropriadas a cada situação.

Nestes países, o controle de ruído pode ser realizado através de um bom isolamento sonoro do envelope da edificação, o que também proporciona um bom isolamento térmico. De modo contrário, em clima quente e úmido, tendo em vista a necessidade de construir edificações com baixo consumo de energia, o emprego de

baixa inércia térmica e de sistemas passivos de ventilação é de grande importância para o conforto higrotérmico (MACEDO *et al*, 1999). Entretanto, a baixa inércia térmica das fachadas é obtida através do uso de materiais leves que não proporcionam o isolamento acústico adequado. Além disso, a ventilação natural é obtida pela abertura de vãos nas fachadas, localizados estrategicamente, de modo a propiciar circulação de ar. Neste contexto, uma vez que o ar é um dos meios de propagação do som, ocorre a degradação do desempenho acústico das edificações, tornando os seus usuários ainda mais vulneráveis à exposição sonora.

Assim sendo, nessas regiões, o planejamento ambiental e o controle do uso e ocupação do solo são importantes ferramentas no controle da poluição sonora ao nível da macroescala urbana, evitando-se que atividades de natureza ruidosa atuem junto às áreas mais sensíveis.

#### **1.3.1.1. As curvas isofônicas**

A nível internacional, o controle de ruído baseia-se no estabelecimento de um sistema que estima o nível sonoro e determina a exposição humana, com base no traçado de curvas isofônicas, em sistemas de monitoramento de ruído e na identificação da compatibilidade do uso do solo. Estes procedimentos auxiliam na adoção de medidas mitigadoras que visam controlar o ruído ambiental.

As curvas isofônicas estão entre as principais ferramentas auxiliares no controle do uso do solo no entorno de aeroportos. Segundo VALLET (1996), na maior parte dos países, os programas de acústica previsional que traçam estas curvas, no cálculo do ruído emitido por um avião, levam em consideração a massa do aparelho (um mesmo tipo de avião pode ter motores diferentes), a potência do motor, a reversão do fluxo dos reatores durante a aterrissagem e o ruído emitido durante os testes de certificação.

Em geral, cada trajetória é considerada como uma seqüência de seguimentos retilíneos e arcos de circunferência. Todos os aviões que seguem a mesma trajetória vão representar uma pequena parcela da trajetória e o conjunto de trajetórias vai formar um “corredor”. A dispersão das trajetórias no interior desse “corredor” é calculada através de fórmulas teóricas ou de observações por radar.

Alguns métodos de cálculo consideram as condições meteorológicas (a velocidade do vento, a umidade do ar, a variação da temperatura com a altitude, assim

como a natureza do solo). Os modelos suíço e britânico consideram a diretividade do ruído e o modelo francês considera as irregularidades topográficas.(VALLET, 2002)

No Brasil, as curvas de ruído são traçadas pelo *Integrated Noise Model (INM)* e o *Helicopter Noise Model (HNM)* produzidos pela U.S. FAA (*Federal Aviation Administration*). O *INM* é usado em 35 países para avaliar o impacto sonoro resultante da ampliação ou construção de novas pistas de pouso e decolagem, novas demandas de tráfego e composição das frotas de aeronaves, revisão de rotas e estruturas aeroespaciais, alternativas de perfis de voo e modificação de outros procedimentos operacionais (FAA, 1997).

No *INM*, os perfis de aeronaves e os algoritmos de cálculo são baseados na metodologia proposta pelos documentos SAE-AIR-1845 – *Procedure for the calculation of Airplane Noise in the Vicinity of Airports* (SAE, 1986) e SAE - AIR - 1751 (SAE, 1991). Este programa não modela os perfis de temperatura, gradiente de vento, efeitos da umidade, absorção do solo, diretividade individual de cada aeronave e difração em torno do solo, barreiras e edifícios. Ele baseia-se nos valores médios e é projetado para estimar os efeitos de longo prazo (valores médios anuais). Por este motivo, algumas diferenças entre os valores previstos e medidos podem ocorrer, pois é possível que variáveis acústicas locais importantes sejam desconsideradas.

### **1. 3.1.2. Redução de incômodo: medidas mitigadoras**

Visando reduzir os impactos ambientais sonoros nas áreas vizinhas a aeroportos são utilizados alguns tipos de medidas mitigadoras. Estas medidas são baseadas em inúmeros estudos realizados nos EUA e na Europa, os quais objetivaram buscar elementos que permitissem minimizar os efeitos do ruído aeronáutico sobre as populações expostas e permitir a expansão do sistema de transporte aéreo.

Tais estudos basearam-se em pesquisas sociais, voltadas para a avaliação dos efeitos fisiológicos e psicológicos do ruído, contando com a aplicação de questionários, medições de nível sonoro em campo e pesquisas controladas em laboratórios. No Brasil, são raros os estudos desse tipo realizados. A INFRAERO somente agora está dando início as suas primeiras pesquisas sociais no campo do ruído aeronáutico.

A seguir, serão apresentadas as duas principais abordagens internacionais relativas ao controle do ruído em torno de aeroportos: Aquela preconizada pela Organização Internacional de Aviação Civil (OACI), a qual orienta os seus países membros, dentre os quais se inclui o Brasil, e aquela estabelecida pela *U.S. Federal Aviation Administration* (FAA), que fundamentou as demais abordagens.

Também serão apresentadas sucintamente as Diretrizes Européias, instituídas em 2002, a fim de controlar o ruído ambiente nos países pertencentes à Comunidade Européia.<sup>11</sup> Descrevem-se as medidas adotadas na França, um país membro da OACI, o qual vem se empenhando fortemente no controle de ruído ambiental em torno de seus nove principais aeroportos, embora ainda tenha grande parte da sua população submetida a níveis sonoros elevados. (VALLET, 2002)

#### ***1.3.1.2. a. Recomendações da OACI (Organização Internacional de Aviação Civil) para a redução do ruído aeronáutico: A Abordagem equilibrada.***

Em 2001, uma assembléia da OACI aprovou o conceito de ‘balanced approach’ para a gestão do ruído aeronáutico ( Apêndice C da *Assembly Resolution A33-7*). Esta abordagem identifica o problema do ruído aeroportuário e analisa as várias medidas úteis que visam reduzir ruído através de quatro variáveis:

- Redução na fonte (produção de aeronaves mais silenciosas);
- Planejamento e gestão do uso do solo;
- Redução de ruído através de procedimentos operacionais;
- Redução de ruído mediante restrição de operação.

#### **A redução do ruído na fonte:**

Em geral, uma das mais efetivas medidas a serem adotadas no controle de ruído é a sua atenuação na fonte sonora (BERANEK, 1971). Assim, a produção de aeronaves menos ruidosas é de grande importância no combate ao incômodo nas adjacências de aeroportos. Neste sentido, as recomendações internacionais restringem o uso de aviões ruidosos e adotam o sistema de certificação de aeronaves em função do nível de ruído produzido.

---

<sup>11</sup> Observa-se que as Diretrizes Européias não tratam especificamente de ruído aeroportuário.

Em 1971, sob o título de Anexo 16 à Convenção relativa à Aviação Civil Internacional – *Environmental Protection*, Volume I – *Aircraft Noise*, foi instituído o primeiro conjunto de normas e práticas recomendadas sobre o ruído de aeronaves. Neste documento figuram todas as disposições relativas aos aspectos da aviação ligados ao ambiente, à certificação acústica de aeronaves (grandes aeronaves subsônicas a jato, aeronaves a hélice e helicópteros) e aos métodos para medir e monitorar o ruído. (OACI,1988)

Atualmente, antes que uma aeronave seja autorizada a entrar em operação, ela deve passar por um processo de certificação, seguindo as determinações do Anexo 16.

Além disso, tem sido desenvolvida uma ampla política mundial visando a restrição de operação de aeronaves não certificadas e das aeronaves constantes no Capítulo 2 do Anexo 16, adotado em 1990 (Resolução A28-3).

Segundo os procedimentos da OACI, as performances acústicas de cada tipo de aeronave são caracterizadas por três níveis de ruído. Estes níveis correspondem ao pouso, à decolagem com plena potência e ao sobrevôo. Os limites fixados pelo Anexo 16 da Convenção de Aviação Civil Internacional (1988) correspondem às sucessivas gerações de aviões produzidos ao longo do tempo, podendo-se identificar basicamente três tipos de aeronaves:

*Não certificados, ou seja, aqueles que não atendem aos limites de ruído fixados no Capítulo 2 do supracitado Anexo 16. Correspondem à primeira geração de aviões a jato, a qual não constava no Anexo 16 (Boeing 707 e Douglas DC-8, por exemplo)*

*Os aviões que atendem ao disposto no Capítulo 2, mas que não atendem aos limites impostos no Capítulo 3 do mesmo anexo.*

*Os aviões que atendem ao disposto no Capítulo 3 do Anexo 16. Alguns desses aviões foram certificados inicialmente como Capítulo 2 e sofreram alterações de modo a possibilitar sua posterior certificação como Capítulo 3.*

Em junho de 2001, com base nas recomendações realizadas durante o 5º encontro do *Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP/5)*, a OACI adotou um novo capítulo padrão de ruído, o Capítulo 4, mais restritivo que o Capítulo 3. A partir de 2006, este novo padrão deverá ser aplicado às novas aeronaves que ainda

vierem a ser certificadas e as já certificadas como Capítulo 3 deverão ser submetidas a um novo processo de certificação.

Segundo a OACI (2004), os níveis de ruído nas vizinhanças de aeroportos, estão sujeitos a duas tendências opostas: a substituição de aeronaves ruidosas por outras mais silenciosas e o crescimento do número de movimentos de aeronaves. Como resultado, o problema do ruído declinou em alguns aeroportos, mas aumentou em outros.

#### Planejamento e gestão do uso do solo:

Segundo a OACI, planejar o uso e gestão do solo é um meio efetivo de assegurar que atividades realizadas nas áreas vizinhas a aeroportos sejam compatíveis com a aviação. Essa organização o considera um instrumento vital para garantir que os ganhos obtidos pela redução do ruído emitido pelas novas aeronaves não sejam comprometidos pelo desenvolvimento adicional de áreas residenciais em torno de aeroportos.

O volume I do anexo 16, parte IV e o *Airport Planning Manual, part 2 – Land Use and environmental Control* (DOC 9184) abordam esta questão. Este manual fornece ferramentas para a redução, controle e prevenção do impacto do ruído de aeronaves nas vizinhanças de aeroportos e descreve como os países signatários de suas recomendações devem planejar o uso do solo em torno de seus aeroportos.

Outrossim, objetivando promover um método uniforme de avaliar ruído em torno de aeroportos, a OACI recomenda o uso da metodologia contida no “*Recommended Method for Computing Noise Contours Around Airports*” (Circular 205).

Dentre os instrumentos adotados por diversos países no planejamento do uso do solo se encontram a instituição de zonas de ruído (como por exemplo, França, USA e Brasil) e a aquisição de áreas próximas ao aeroporto, com a sua incorporação à área patrimonial do empreendimento.

#### A redução do ruído através de procedimentos operacionais:

Segundo a OACI, a utilização de procedimentos operacionais é um meio de reduzir a emissão de ruído com um custo relativamente baixo para o aeroporto.

Consiste na utilização de procedimentos de pousos, aproximações e decolagens, bem como na instituição de rotas e pistas preferenciais, visando evitar incômodo sonoro.

Todavia, a utilização de algumas dessas medidas depende do espaço físico do aeroporto e da área a ele circunvizinha. Além disso, questões de segurança podem impedir a utilização destes procedimentos.

#### *A redução do ruído através de restrições operacionais:*

As preocupações com o ruído têm levado alguns países a considerar as restrições à operação de aeroportos situados em áreas sensíveis ao ruído e de aeronaves, tendo em vista o controle dos impactos ambientais sonoros. Estes procedimentos promovem uma redução substancial nos níveis sonoros, mas podem ter significativas implicações econômicas para as companhias aéreas, para a indústria aeronáutica e para os aeroportos.

*A restrição à operação de aeroportos* consiste na redução do seu horário de funcionamento. É utilizada no Aeroporto de Congonhas, situado em São Paulo.

*As restrições à operação de aeronaves* consistem na retirada de operação parcial ou total das aeronaves ruidosas. É utilizada no Brasil, Estados Unidos e Europa.

Na década de 1980, houve grande preocupação com as aeronaves não certificadas. Na década seguinte, esta preocupação dirigiu-se às aeronaves certificadas como Capítulo 2. Hoje as aeronaves mais ruidosas certificadas como capítulo 3 são alvo de atenção.

No Brasil, existe restrição à operação de aeronaves não certificadas e de aeronaves constantes no Capítulo 2 do Anexo 16 à Convenção da Aviação Civil Internacional, a partir de datas pré-estabelecidas (IACb, 2000).

A Portaria MAer nº13, de janeiro de 1994 e a Portaria MDef nº 717, de 04 de novembro de 1999, regulam estes aspectos. Observa-se que desde 1996 já estão proibidas novas matrículas de aeronaves "Não Certificadas - NC" (consideradas pelo Anexo 16 como as mais ruidosas) e desde 1998 há restrições à operação dessas aeronaves. Entretanto, somente a partir de dezembro de 2002 foram proibidas as matrículas das aeronaves constantes no Capítulo 2 do Anexo 16 (também consideradas

bastante ruidosas pela OACI) e somente em 2010 estas aeronaves deixarão de operar em todos os aeroportos brasileiros.

A *instituição de instrumentos econômicos* é um o outro meio de restringir a operação de aeronaves. Estes instrumentos vêm sendo utilizados em diversos países no controle de ruído aeronáutico, seguindo a mesma abordagem de internalização dos custos decorrentes da degradação ambiental, utilizada em planejamento ambiental para outras fontes de poluição, mencionadas anteriormente.

Em geral, os instrumentos econômicos são utilizados objetivando atuar financeiramente sobre os poluidores, oferecendo-lhes a alternativa de adotar a melhor tecnologia disponível (em termos ambientais), a opção de poluir e pagar por isto (princípio do poluidor pagador) ou de alocar recursos para despoluir. (BURSZTYN,1994)

"A aplicação de instrumentos econômicos se deu inicialmente na gestão de recursos hídricos e, progressivamente, foi adotada em diferentes áreas de proteção ambiental"(BURSZTYN,1994). Hoje existem vários instrumentos econômicos com esse objetivo.

A *tarifação diferenciada* é um desses instrumentos. Consiste na restrição de operação de aeronaves ruidosas, a partir da imposição de uma sobretaxa para a sua operação. É utilizada em Zurich (Suíça) e no Aeroporto Charles de Gaulle (França).

O *orçamento de ruído* é um outro instrumento econômico, no qual é fornecida uma cota de ruído mensal ou anual para as empresas aéreas que operam em um determinado aeroporto, a qual, uma vez acabada, impedirá as operações da empresa.

#### **1.3.1.2.b. As “Diretrizes Européias”.**

A *Directive 2002/49/CE* do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho de 2002, relativa à avaliação e a gestão do ruído no ambiente, tem entre seus objetivos assegurar um nível elevado de proteção do ambiente e da saúde da população europeia e fornecer uma base para desenvolver e completar (a curto, médio e longo prazo) o conjunto de medidas comunitárias já existentes relativas às principais fontes de ruídos, dentre as quais o ruído aeronáutico.



Para atingir tal objetivo, a diretriz considera de fundamental importância a existência de uma ação comunitária visando uma futura abordagem comum do problema do ruído, bem como a reunião de dados relativos aos níveis de ruído ambiental, segundo critérios que permitam estabelecer comparações. Isso implica na utilização métodos de avaliação comuns e no estabelecimento de valores limites em função de indicadores harmonizados, permitindo determinar os níveis de ruído e levando em consideração o princípio da prevenção e proteção das zonas calmas nas áreas urbanas.

Os indicadores comuns de nível sonoro recomendados pela diretriz são, na avaliação de incômodo, o  $L_{DEN}$ <sup>12</sup> (Nível sonoro dia, tarde e noite) e, na avaliação das perturbações do sono, o  $L_{NIGHT}$  (Nível sonoro noturno). Todavia, a diretriz permite aos Estados Membros utilizar indicadores complementares, a fim de administrar determinadas situações particulares.

Além disso, considera conveniente a imposição de uma cartografia estratégica do ruído em zonas de interesse particular, segundo métodos de avaliação comuns aos Estados Membros, visando representar níveis de ruído percebidos nessas zonas. Igualmente, busca garantir a informação da população sobre os efeitos do ruído ambiental, a adoção de planos de ação fundamentados na cartografia elaborada para prevenir e reduzir, se necessário, os ruídos ambientais, principalmente aqueles prejudiciais à saúde. Esses planos de ação devem ser realizados mediante consulta pública e, juntamente com os mapas de ruído, devem ser acessíveis ao público, em geral, e apresentados de forma clara e de fácil compreensão.

A diretriz se aplica aos ambientes em que os seres humanos são expostos ao ruído, em particular, aos espaços construídos, parques públicos ou outros lugares afastados de aglomerações, escolas, hospitais e zonas sensíveis ao ruído.

#### ***1.3.1.2.c. O Planejamento Aeroportuário na França***

Ciente de que um aeroporto gera incômodo devido ao ruído instantâneo (provocado pela passagem de uma aeronave), bem como à carga de ruído decorrente da exposição sonora durante um determinado período de tempo e visando evitar que

---

<sup>12</sup> No cálculo do  $L_{DEN}$ , o dia é dividido em período diurno (12 horas), período intermediário ou anoitecer (4 horas) e período noturno (8 horas).

populações circunvizinhas a aeroportos sejam submetidas ao ruído aeroportuário, a longo ou em curto prazo, o planejamento urbano é considerado pela ACNUSA (*Autorité de Contrôle des Nuisances Sonores Aeroportuaires*) uma medida preventiva indispensável. (<http://www.acnusa.fr>. Acesso em 27/05/2003.)

A delimitação de zonas de ruído, onde existem restrições ou proibições à construção de edificações, faz parte do planejamento urbano. Para as populações já fixadas, são concedidos auxílios destinados ao isolamento sonoro, estabelecidos em função da delimitação dessas zonas de ruído.

A Lei Francesa nº 85-696/1985, relativa ao urbanismo na vizinhança de aeroportos determina que a autoridade administrativa pode criar, segundo o artigo L.147-2 do código do urbanismo, uma comissão consultiva do ambiente para as áreas cobertas pelo plano de exposição ao ruído de aeroportos. Essa comissão é consultada sobre incidentes relacionados ao incômodo sonoro nas zonas vizinhas a aeroportos.

É realizado um Plano de Exposição ao Ruído (*Plan D'exposition au Bruit - PEB*) para cada aeroporto. Esse plano é estabelecido pela autoridade administrativa competente, após consulta à autoridade de incômodo sonoro aeroportuário, às comunidades interessadas e à comissão consultiva do ambiente relacionado. Além disso, ele é submetido a uma pesquisa pública seguindo as modalidades da Lei 83-630/83, relativa à democratização das pesquisas públicas e à proteção do ambiente, a qual determina que a realização de obras e de trabalhos suscetíveis de afetar o ambiente devem ser precedidos de pesquisa pública.<sup>13</sup>

O PEB (*Plan D'exposition au Bruit*) compreende um relatório de apresentação e documentos gráficos, considerando as zonas diretamente expostas ao ruído engendrado por aeronaves.

É realizado um mapa na escala 1/25000 onde estão inseridas as zonas de ruído futuras. As curvas são calculadas a partir da demanda de tráfego a longo prazo, sendo considerada a evolução da infra-estrutura (nova pista, por exemplo). Essas curvas

---

<sup>13</sup> Essas pesquisas têm por objetivo informar o público e recolher suas apreciações, sugestões e contra-propostas, para que, posteriormente, quando necessário, seja possível realizar um estudo de impacto ambiental, a fim de permitir à autoridade competente dispor de todos os elementos necessários a sua informação.

representam as zonas suscetíveis de serem alvo de incômodo sonoro num horizonte de 10 a 15 anos.

O PEB é um documento de urbanismo. Na França, os planos urbanísticos de uso e ocupação do solo devem ser compatíveis com o plano de exposição ao ruído, os quais são disponibilizados para a aplicação da diretriz da administração francesa relativa à construção nas zonas de ruído dos aeródromos.

As áreas vizinhas a aeroportos são classificadas em zonas de ruído forte e em zonas de ruído moderado. Essas zonas são definidas em função do índice de avaliação de incômodo (Índice Psophique (IP)). Não é autorizada a construção de equipamentos urbanos quando há risco de expor a população, a curto ou longo prazo.

Na França, também existe o “Plan de Gêne Sonore” (PGS) que define zonas vizinhas aos aeroportos, onde as populações são submetidas ao ruído. Ele objetiva determinar se um local vizinho a um dos dez principais aeroportos franceses deverá ou não receber ajuda financeira para realizar isolamento sonoro.

#### *A avaliação de incômodo*

O incômodo sonoro é calculado por meio de um modelo matemático, considerando:

- O número de passagens de aviões em 24 horas;
- A percepção diferente do ruído entre o dia e a noite, pois um vôo noturno gera um incômodo 10 vezes superior àquele de um vôo diurno;

Na França, o resultado é expresso pelo Índice *Psophique* (IP). Quanto maior é este índice, maior é o incômodo. São criadas curvas isofônicas<sup>14</sup>, ligando-se os pontos que apresentam o mesmo valor de IP.

Todavia, a ACNUSA considera importante o estabelecimento de um índice de planificação que evite a exposição imediata, ou a longo prazo, das populações circunvizinhas a aeroportos. Ressalta, ainda, que se devem fixar diferentes níveis que

---

<sup>14</sup> Curvas isofônicas são linhas de valores constantes da exposição sonora média ao ruído de aeronaves sobre um determinado período de tempo (tipicamente um ano) e para uma determinada composição da frota, sob condições de operação típicas. Em geral são inseridas em intervalos de nível sonoro de modo a permitir definir as áreas mais afetadas e as menos afetadas. (OACI, 2004)

delimitem as zonas de ruído forte ou moderado, bem como as proibições e restrições à construção.

Embora considere possível conservar o Índice *Psophique* (IP) para a elaboração do PEB e do PGS, a ACNUSA recomenda empregar o  $L_{DEN}$  (Nível Sonoro dia-tarde-noite), também recomendado pelo projeto do Parlamento Europeu e do Conselho da União Européia, relativo à avaliação e gestão do ruído ambiente. (OACI, em divulgação 2005)

#### Outras medidas mitigadoras:

A Lei Francesa n<sup>o</sup> 92-1444, de 31 de dezembro de 1992, relativa à luta contra o ruído, instituiu uma taxa devida por todos os exploradores ou proprietários de aeronaves, integrada na taxa geral sobre as atividades poluentes que alimenta o orçamento geral do Estado. A “*L’Agence de l’Environnement et de la Maîtrise de l’Energie*” (ADEME) recebe uma subvenção que contribui para cobrir as despesas relativas a melhoria do isolamento sonoro das edificações situadas no entorno de aeroportos.

Embora esta taxa seja utilizada basicamente para cobrir despesas com o isolamento sonoro de habitações, estabelecimentos de ensino e de serviços sociais, a mesma poderá ser utilizada para adquirir, demolir ou relocar habitantes para outros locais.(ACNUSA, [www.acnusa.fr](http://www.acnusa.fr). Acesso em 27/05/03)

#### ***1.3.1.2.d. O Planejamento Aeroportuário nos EUA : Recomendações da FAA (Federal Aviation Administration) – FAR Part 150 Airport Noise Exposure/ Land Use compatibility Planning Process***

O controle de ruído aeroportuário nos Estados Unidos, desde 1968, vem sendo realizado pela *U.S. Federal Aviation Administration* (FAA). Com essa função, a FAA vem adotando medidas estratégicas visando controlar o ruído na fonte, encorajar procedimentos de pouso e decolagem menos ruidosos, bem como o apropriado uso do solo nas áreas vizinhas aos aeroportos onde os níveis sonoros são mais elevados.

Em 1969, foi instituída a *Federal Aviation Regulation* (FAR) Parte 36, que padronizou os métodos de quantificar o ruído de aeronaves e os limites de emissão para novas aeronaves (GIERKE *et al*, 1974).

Atualmente o planejamento do uso do solo no entorno de aeroportos nos USA é regulamentado pela *FAR Part 150 Airport Noise Exposure/ Land Use Compatibility Planning Process*. Esta regulamentação prescreve procedimentos, padrões e metodologias visando o desenvolvimento, a aprovação e a revisão de mapas de exposição sonora e programas de compatibilização do ruído aeroportuário com o uso do solo. Ela descreve sistemas para:

- a) Medir ruído em aeroportos e áreas vizinhas, cujos níveis normalmente fornecem uma relação fidedigna entre exposição sonora projetada e reação esperada da comunidade;
- b) Determinar a exposição de indivíduos ao ruído que resulta de operações aeroportuárias e identificar os usos do solo que são compatíveis com vários níveis de exposição sonora pelos indivíduos;
- c) Fornecer orientações técnicas aos operadores do aeroporto em conjunto com outras autoridades locais, estaduais e federais para preparar e executar apropriados programas e planos de compatibilização ao ruído.

Esses programas visam à prevenção e à redução da incompatibilidade do uso do solo com o ruído aeronáutico. Eles também objetivam promover o planejamento e verificar o impacto ambiental criado pela operação de um aeroporto, assim como os custos e benefícios associados às diversas alternativas técnicas que podem ser utilizadas para reduzir o ruído gerado. Além disso, buscam a participação do público e a cooperação de todas as partes interessadas.

O estudo de compatibilidade deve ser baseado em procedimentos compreensivos, no uso do solo, no zoneamento, na construção e na elaboração de projetos apropriados. Caso mais de um uso do solo, atual ou futuro, seja permitido, a determinação da compatibilidade deve ser baseada no uso que poderá ser mais adversamente afetado pelo ruído.

Antes da aprovação do programa de compatibilização, os operadores dos aeroportos devem desenvolver o mapa de ruído para a região de acordo com as normas da FAA e submetê-lo à aprovação de agências públicas, de agências de planejamento e de pessoas da comunidade interessadas. Para o traçado das curvas, não é necessário que o operador do aeroporto realize o monitoramento do ruído no entorno do aeroporto. Este constitui um refinamento dos dados obtidos. Os níveis sonoros podem ser previstos com

o INM (Integrated Noise Model) ou com o HNM (Heliport Noise Model), conforme o caso, ambos desenvolvidos pela FAA.

Nos USA o mapa de ruído é desenvolvido considerando as curvas que representam os níveis de ruído dados em YDNL (média anual do nível sonoro dia e noite) 65, 70 e 75 dB(A). Essas curvas definem o uso do solo, tendo em vista os resultados de pesquisas sociais que avaliaram as respostas de um grande número de pessoas ao ruído aeronáutico. O mapa, além das curvas, deve conter e identificar os receptores situados em áreas cujo uso do solo é incompatível, a pista de pouso e decolagem, as rotas de vôo, a delimitação da área patrimonial do aeroporto, a localização de edificações de uso público sensíveis ao ruído (escolas, hospitais e centros de saúde), de edificações históricas e de pontos de monitoramento de ruído utilizados para aquisição e refinamento dos dados, bem como a estimativa do número de residentes no interior de cada curva.

A compatibilidade ou não é dada pela comparação entre o YDNL previsto (pelo HNM ou INM) ou medido (através de um sistema de monitoramento de ruído) com os valores determinados pela FAA. Todos os usos do solo são considerados compatíveis quando o YLDN for inferior a 65 dB(A).

### **1.3.2. O planejamento aeroportuário no Brasil**

No Brasil, assim como vem ocorrendo em outros países, o adensamento da malha urbana circunvizinha a aeroportos é um problema para as autoridades de difícil resolução, devido à incompatibilidade da atividade aeroportuária com o uso do solo residencial, educacional e com as atividades hospitalares. Além disso, a probabilidade de acidentes, principalmente durante os procedimentos de pouso e decolagem, tem despertado temores e reclamações da população circunvizinha a aeroportos. Os aeroportos de Brasília e Congonhas ilustram perfeitamente este quadro.

O Instituto de Aviação Civil (IAC), por determinação da Norma para elaboração, revisão, tramitação e aprovação de Planos Diretores Aeroportuários (NSMA 58-146), é o órgão supervisor do planejamento aeroportuário no Brasil. Assim, este órgão possui competência para elaborar planos diretores do interesse do Comando da Aeronáutica.

Segundo o IACa (2000), o planejamento aeroportuário visa, através da utilização racional de recursos, administrar os impactos ambientais provocados pelas atividades aeronáuticas, minimizando-os. Assim, o processo de planejamento aeroportuário deve levar em consideração os aspectos urbanos, ambientais e de acessibilidade, os quais devem estar configurados no Plano Diretor de cada aeroporto pertencente ao Sistema de Aviação Civil<sup>15</sup>.

No Brasil, o planejamento aeroportuário conta com os seguintes planos e programas (IACa, 2000):

- IV Plano de Desenvolvimento do Sistema de Aviação Civil;
- Plano Aeroviário Nacional (PAN);
- Planos Aeroviários Estaduais (PDIR);
- Plano de Aeroportos Metropolitanos;
- Plano Diretor Aeroportuário;
- Planos específicos de zoneamento de ruído (PEZR);
- Plano básico de zoneamento de ruído (PBZR);
- Plano específico de zona de proteção de aeródromos;
- Plano básico de zona de proteção de aeródromos.

Com o intuito de evitar a incompatibilização do uso do solo com a atividade aeroportuária, no Brasil, foi instruída a Portaria nº 1141/GM5, em 8 de dezembro de 1987, a qual determina que a implantação de edificações nas adjacências de aeroportos deve respeitar aos Planos de Zona de Proteção de Aeródromos, ao Plano de Zona de Proteção de Helipontos, ao Plano de Zoneamento de Ruído, aos Planos de Zona de Proteção e Auxílios à Navegação Aérea (criados pela a Divisão de Planejamento Aeroportuário e Pesquisa do Transporte Aéreo) e à Resolução CONAMA nº 4, de 9 de outubro de 1995, que trata da “Área de Segurança Aeroportuária”.

O Plano Diretor do Aeroporto é “um conjunto de documentos pelo qual o Comando da Aeronáutica aprova e oficializa o planejamento da implantação dos diversos componentes do aeroporto, visando o seu crescimento ordenado” (IAC,2000).

Ele apresenta o conjunto de diretrizes para a implantação, desenvolvimento e expansão de uma unidade aeroportuária, de maneira ajustada à evolução do transporte aéreo.

---

<sup>15</sup> O Sistema de Aviação Civil é composto pela autoridade aeronáutica, pela infra-estrutura aeroportuária, pelas empresas aéreas, pela indústria aeronáutica e pelos usuários. (IAC, 2000)

Entretanto, as restrições impostas por estes planos ultrapassam os limites patrimoniais do aeródromo. Assim, o Plano Diretor do Aeroporto deve estar compatível com o Plano Diretor Municipal, pois, caso contrário, poderão haver conflitos na aplicação das determinações previstas em cada plano. A Portaria 1141/GM5/87 (Capítulo XIII, Art.74) determina que cabe ao DAC (Departamento de aviação civil) “elaborar Planos específicos de zoneamento de ruído, sempre que possível com a colaboração das Prefeituras Municipais e assessorá-las na incorporação deles a sua legislação”. A Portaria estabelece, ainda, que a análise de processos nos assuntos pertinentes ao Plano de Zoneamento de Ruído ou tratamento acústico é da competência do DAC. Também a autorização para o aproveitamento de propriedades situadas na área do Plano de Zoneamento de Ruído é de competência exclusiva do DAC e que a fiscalização quanto ao cumprimento do que estabelece a portaria é atribuição das autoridades federais, estaduais e municipais, cabendo ao Comando da Aeronáutica embargar a obra ou construção de qualquer natureza, que contrarie o disposto nos planos.

Os Planos de Zoneamento de Ruído (básico e específico) procuram estabelecer um melhor aproveitamento do uso do solo em áreas submetidas ao ruído aeroportuário, impondo restrições às atividades inadequadas. Observa-se que o Plano Básico de Zoneamento de Ruído deve ter suas curvas traçadas pelos administradores do aeródromo e encaminhadas ao DAC, ao IAC e à Diretoria de Engenharia da Aeronáutica.

Por outro lado, o Plano Diretor Municipal é objeto a Lei Complementar nº 16, de 4 de junho de 1992, que dispõe sobre a política urbana do município.

Segundo o seu Art. 1º, essa lei "estabelece as normas e procedimentos para a realização da política urbana no Município, fixa suas diretrizes, prevê instrumentos para a sua execução, define políticas setoriais e seus programas, buscando o pleno entendimento das funções sociais da Cidade". Assim, o Plano Diretor é o "instrumento básico da política urbana do Município e integra o processo contínuo de planejamento da cidade" (Art. 2º da mesma Lei). Dessa maneira, deveria integrar o planejamento das áreas vizinhas aos aeroportos. Todavia, nem sempre isso ocorre.



### **1.3.2.1. A Legislação Brasileira**

Cumprir observar que alguns aspectos da Legislação Federal Brasileira vêm suscitando questionamentos e discussões quando se avalia o ambiente sonoro no entorno de aeroportos. Deste modo, a seguir, tentaremos esclarecê-los.

Uma vez que a área objeto de estudo se situa no Rio de Janeiro, também serão abordados sucintamente aspectos da legislação municipal. Consta-se que a Lei Estadual Nº 3827, de 13 de maio de 2002, que dispõe sobre a poluição sonora, não se aplica à avaliação de incômodo provocado por ruído emitido por aeronaves, na circunvizinhança de aeroportos. Por este motivo, a mesma será desconsiderada.

#### ***1.3.2.1.a. A Legislação Federal***

A Resolução nº 237 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) determina que é da competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades com significativo impacto ambiental de âmbito nacional ou regional.

Paralelamente, observa-se que os aeroportos fazem parte do Sistema Aeronáutico, o qual constitui a infra-estrutura aeronáutica que está submetida às normas, orientação, coordenação, controle e fiscalização do Ministério da Aeronáutica (CBA, 1986).

Por sua vez, o Código Brasileiro de Aeronáutica (CBA) determina que as propriedades vizinhas a aeródromos estão sujeitas a restrições especiais, as quais são especificadas pela autoridade aeronáutica, mediante aprovação dos planos de auxílio à navegação, dentre os quais o Plano de Zoneamento de Ruído. O CBA acrescenta que as administrações públicas deverão compatibilizar o zoneamento do uso do solo nas áreas vizinhas aos aeródromos às restrições especiais, constantes dos planos de zoneamento de ruído básicos e específicos, os quais são objeto da Portaria nº 1141/GM5, de 8 de dezembro de 1987, do Ministério da Aeronáutica.

O Plano Básico apresenta aplicação genérica, sendo estabelecido de acordo com a categoria do aeroporto, a dimensão da pista e o aproveitamento do uso do solo. O

mesmo define duas curvas isofônicas (curvas 1 e 2) que delimitam três áreas (Área I, II e III) em função do uso e ocupação do solo.

Verifica-se que desde 1982 a métrica utilizada para calcular o incômodo é o Índice Ponderado de Ruído (IPR), cuja fórmula matemática sofreu alterações e atualmente é equivalente ao  $L_{DN}$  (Nível Sonoro Dia/Noite). Assim sendo, atualmente, as curvas isofônicas são elaboradas em  $L_{DN}$ .

Embora a Portaria 1141/GM5 não determine os níveis de ruído para o traçado das curvas isofônicas, na prática, o Instituto de Aviação Civil (IAC) considera um  $L_{DN}$  mínimo igual 65 dB(A) quando as projeta. Deste modo, as áreas I ( $L_{DN} > 75\text{dB(A)}$ ) e II ( $65\text{dB(A)} < L_{DN} < 75\text{dB(A)}$ ) são consideradas críticas e para elas são estabelecidas restrições e permissões de uso do solo.

Para área III ( $L_{DN} < 65\text{dB(A)}$ ), a legislação aeronáutica relativa ao ruído não impõe restrições ao uso e ocupação do solo, a menos que exista um plano específico de zoneamento de ruído.

Ao delimitar-se a área III pela curva II presume-se que níveis sonoros inferiores ao  $L_{DN}$  65 dB(A) não chegam a provocar incômodo sobre as populações locais.

Todavia, considera-se que a delimitação das Áreas II (afetada por incômodo) e III (definida como livre de incômodo) pela curva isofônica associada ao  $L_{DN} = 65\text{dB(A)}$ , não expressa a realidade de evolução do incômodo no entorno dos aeroportos brasileiros. Esta hipótese se baseia nos seguintes fatos, mencionados na apresentação deste trabalho:

Em clima tropical, a curva  $L_{DN} = 65$  dB (A) deveria ser substituída por uma curva  $L_{DN} \leq 55$  dB(A), pois a atenuação sonora proporcionada pelas fachadas é inferior à comumente encontrada em regiões frias, dada a frequência com que as janelas permanecem abertas e a baixa inércia térmica das paredes.

Ora, mesmos nos países com clima frio já há um consenso sobre a adequação do  $L_{DN} = 55$  dB(A) visando a manutenção da qualidade ambiental. A Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos, propõe que um  $L_{DN}$  de 55 dB(A) é adequado à proteção do bem-estar e saúde pública com uma margem de segurança. A ACNUSA (2002), autoridade francesa de controle dos incômodos sonoros, recomenda que, a fim

melhorar o dispositivo de ajuda ao isolamento sonoro de edificações, devem ser consideradas demandas de edificações situadas a partir da curva  $L_{DEN} = 55 \text{ dB(A)}$ . Este nível sonoro também é estabelecido como parâmetro pelos planos de zoneamento de ruído na Nova Zelândia, Finlândia e Dinamarca (quando se tratar de aeroportos comerciais e de áreas residenciais). Observa-se que outros países adotam níveis sonoros mais restritivos, exigindo que seja efetuado isolamento acústico de modo a se obter internamente um ambiente sonoro compatível como o desempenho de atividades. (FLINDELL, 2000)

Deste modo, neste trabalho este fato é considerado, buscando verificar em que curva de ruído as edificações existentes no entorno do aeroporto objeto de estudo estão inseridas e se as atividades nelas desenvolvidas são compatíveis com o uso do solo.

Convém ressaltar um aspecto importante referente à Legislação Brasileira: a resolução do CONAMA (a Resolução nº 01/1990) determina que todas as normas reguladoras de poluição sonora emitidas a partir da data de sua publicação deveriam estar compatíveis com as suas disposições. Isto indica que deveriam respeitar às normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 10151/2000 e NBR 10152, atualmente em vigor, o que não ocorre.

Conforme menciona SILVA (1997), no sistema jurídico brasileiro existe uma hierarquia de normas (Teoria Piramidal do Direito), a qual é definida na Constituição da República Federativa do Brasil, Art. 59. Com base neste artigo, pode-se concluir que os códigos encontram-se em um nível acima das resoluções na hierarquia das leis.

Entretanto, uma vez que o Código Brasileiro de Aeronáutica é omissivo no que diz respeito ao estabelecimento de níveis críticos de ruído de avaliação para o traçado das curvas isofônicas, pode-se numa primeira análise concluir que vale a Resolução CONAMA nº1/1990, amparada pelo Artigo 225 da Constituição da República Federativa do Brasil, pela Resolução CONAMA Nº 001, de 5 de junho de 1984 e pela lei nº 6938/81 que “Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente” e determina:

“Art. 5º As diretrizes da Política Nacional do Meio Ambiente serão formuladas em normas e planos, destinados a orientar a ação dos Governos da União, dos Estados, do Distrito Federal, dos Territórios e dos Municípios no que se relaciona com a preservação da qualidade ambiental e manutenção do equilíbrio ecológico, observados os princípios estabelecidos no art. 2º desta Lei.

Parágrafo único. As atividades empresariais públicas ou privadas serão exercidas em consonância com as diretrizes da Política Nacional do Meio Ambiente.”

Observa-se, entretanto, que o CBN atribui responsabilidade à autoridade aeronáutica no sentido de aprovar os Planos de Zoneamento de Ruído. Todavia, a mesma, no traçado das curvas de ruído, adota como critério níveis sonoros em desacordo com aqueles estabelecidos pela norma NBR 10151/2000, da ABNT (norma esta que a Resolução CONAMA 01/1990 estabelece como parâmetro a seguir como parte da Política Nacional do Meio Ambiente).

Dessa forma, é adequado esclarecer os aspectos da norma NBR 10151/2000, de modo a permitir compreender a situação, pois a adequada avaliação do ambiente sonoro em torno de aeroportos, requer a compatibilização da Legislação Municipal, Federal e Aeronáutica. A partir da Tabela 1, constata-se que a NBR 10151/2000 estabelece um nível critério de avaliação (dado na tabela 1) que depende da zona onde se encontram o empreendimento objeto de avaliação e os receptores, bem como do período do dia.

**Tabela 1.1** – Nível Critério de Avaliação (NCA) para ambientes externos, em dB(A).

<b>Tipos de áreas</b>	<b>Diurno</b>	<b>Noturno</b>
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Cabe ressaltar que a norma recomenda medir o nível de pressão sonora equivalente ( $L_{Aeq}$ ), em decibéis ponderados em dB(A)<sup>16</sup> e os níveis de ruído representados pelas curvas isofônicas, seguindo os critérios do IAC, são calculados em  $L_{DN}$ . Assim, a comparação dos valores dados na Tabela 1 com aqueles determinados pelas curvas fornece apenas uma aproximação da situação, pois o  $L_{DN}$  representa o nível sonoro durante o dia e a noite, recebendo uma ponderação no período noturno, e o  $L_{Aeq}$  não apresenta esta ponderação.

---

<sup>16</sup> Nível obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com a ponderação A) referente a todo intervalo de medição.

#### ***1.3.2.1.b. Legislação do Município do Rio de Janeiro:***

A Lei Municipal nº 3.268, de 29 de agosto de 2001, que trata da poluição sonora no Município do Rio de Janeiro e a Resolução da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC) nº 198, de 22 de fevereiro de 2002, determinam que os níveis máximos de sons e ruídos resultantes do desenvolvimento de atividades deverão obedecer àqueles preconizados pela NBR 10151/2000, conforme estabelecido na Tabela 1, de acordo com os períodos e as zonas em que se divide o Município. Do mesmo modo, determinam que o procedimento de medição dos níveis de pressão sonora deve seguir esta norma. Portanto, também a Legislação Municipal está em desacordo com a Legislação Aeronáutica. Além disso, também no processo de aprovação de projetos existem lacunas que contribuem para o aumento da ocupação do solo no entorno dos aeroportos por usos incompatíveis com a atividade aeronáutica.

No Rio de Janeiro, por ocasião da implantação de uma determinada edificação no entorno de um aeroporto, em geral, o arquiteto responsável pelo projeto dirige-se ao Departamento de Licenciamento e Fiscalização da Prefeitura (DLF). A este órgão cabe avaliar se a edificação está enquadrada nas áreas I, II e III, definidas pelo Plano de Zoneamento de Ruído. Em caso positivo, o projeto é encaminhado ao Comando da Aeronáutica. Este, por sua vez, o submete à aprovação do Instituto de Aviação Civil (IAC), o qual aprova completamente, impõe restrições ou proíbe a execução da obra.

Contudo, nem sempre os arquitetos responsáveis pela aprovação de projetos na prefeitura estão habilitados a realizar esta avaliação e solicitar a aprovação do Comando da Aeronáutica. Esta situação é agravada por um fato informado por funcionários do DLF (da Barra da Tijuca): em muitos casos, os projetos antes de serem submetidos à avaliação dos técnicos desse órgão, seguem para esferas administrativas superiores sem que os funcionários tenham notícias do que ocorreu. Nesse contexto, as áreas vizinhas a aeroportos não raro são ocupadas indevidamente, gerando graves conflitos ambientais.

## Capítulo 2

### QUALIDADE AMBIENTAL, RUÍDO E FORMA URBANA

#### 2.1. A QUALIDADE AMBIENTAL

A noção de qualidade ambiental não é trivial, pois envolve simultaneamente aspectos de ordem material, psicológica e social. ALVA (1998) a define como "o conjunto de condições externas que maximiza a sensação de bem-estar do indivíduo e da comunidade". Segundo ele, as estruturas materiais que moldam o meio ambiente urbano são elementos físicos nos quais os outros fatores que irão determinar a qualidade ambiental se apóiam.

A percepção ambiental é individual, mas está condicionada a fatores de ordem cultural, em contínua mutação. A qualidade ambiental se relaciona a um conjunto de necessidades e a uma estrutura correlativa à mutação de valores culturais. Assim sendo, irá depender da adequação do meio ambiente às demandas de uma comunidade<sup>17</sup> determinada.

A satisfação de tais demandas pessoais, no transcorrer da história da humanidade, estimulou o desenvolvimento de bens de consumo e do capitalismo. Ocorre que a manutenção do capitalismo é alimentada pela produção de bens e pela criação permanente de necessidades, visando assegurar a demanda, na corrida pela produtividade. Todavia, a produção industrial está associada à transformação dos recursos naturais, nem sempre renováveis, em bens de consumo que acabam por contribuir de alguma maneira para a degradação do ambiente natural, a qual pode ser devido a produção de lixos e resíduos que poluem os solos e as águas, de gases que poluem a atmosfera ou de ruídos.

O meio ambiente não é somente a natureza, mas tudo aquilo que se relaciona com a vida, manutenção e reprodução de um ser ou conjunto de seres. Portanto, o seu conceito, além de aspectos físicos e naturais, envolve aqueles de ordem histórica,

---

<sup>17</sup> A noção de comunidade em antropologia é mais do que o somatório das expressões individuais. Alguns autores (Mclirwowski, Levi-Strauss, Smiko) constroem a noção de estrutura cultural como sismos que meta-regenciam a apreensão da realidade pelos indivíduos que a compõem (VIDAL, comunicação pessoal, 2002).

sociocultural, comportamental, material, tecnológica e política (SMAC,199-). Assim sendo, os danos causados ao meio ambiente resultam em conflitos que envolvem interesses individuais e coletivos.

A introdução da máquina e, sobretudo, dos motores, após o advento da revolução industrial, contribuiu para a transformação radical da paisagem sonora das cidades, lançando a cada dia novas fontes sonoras e criando um ambiente sonoro mutante, confuso e carente de políticas que objetivam o seu controle.

A paisagem sonora do espaço urbano pode ser caracterizada pela sua capacidade de propiciar uma boa inteligibilidade da fala, evitando ruídos mascarantes<sup>18</sup> ou de proporcionar intimidade, criando um ambiente onde os sons inúteis sejam pouco percebidos. Os ambientes podem, ainda, apresentar características que enfatizam os sons agradáveis e os de interesse, tais como as águas de uma fonte, o cantar dos pássaros, os passos de alguém ou de atividades nele desenvolvidas.

Cada lugar tem uma sonoridade própria, resultante do conjunto de atividades nele desenvolvidas, da forma com que são implantadas as edificações nele situadas e de como são tratadas as superfícies em seu entorno (materiais refletores ou absorventes).

O Poder Público, através da instituição de políticas de planejamento ambiental urbano que visem o controle da poluição sonora, pode contribuir para a formação de uma paisagem sonora agradável nas grandes cidades.

Segundo SHAW (1975) o ruído que satura os nossos locais de trabalho, invade nossas casas e já penetra no campo, está associado a um vasto crescimento no uso da energia durante as últimas décadas, particularmente para o setor de transporte e maquinarias.

Portanto, a escala em que ocorre a propagação sonora é de grande magnitude, não se limitando ao ruído gerado por uma única fonte, mas a um conjunto de fontes. O autor acrescenta que então, o controle do ruído na fonte, no projeto de edifícios, em locais de trabalho, bem como no planejamento das cidades deve ser uma preocupação em todos os níveis do governo.(SHAW, 1975)

---

<sup>18</sup> Mascaramento sonoro é a redução da sensibilidade auditiva a um determinado som mediante a utilização simultânea de um outro som. Trata-se interferência causada por sons e ruídos indesejáveis na percepção de sons e sinais desejáveis. Pelo mascaramento, um sinal auditivo pode se tornar inaudível ou ter sua qualidade modificada. (MILLER, 1974)

### **2.1.1. A resposta humana à poluição sonora**

A resposta das pessoas à poluição sonora é função de uma série de variáveis objetivas e subjetivas. Entre as variáveis objetivas podemos citar a acuidade auditiva do indivíduo exposto, a sua idade, sexo, o tempo de exposição sonora (dose de ruído), o tipo de ruído (aéreo ou de impacto), a proporção de flutuações do som, o número de eventos ruidosos, o espectro do ruído (distribuição da energia sonora em função da frequência) e nível sonoro ( $L_A$ ).

Convém observar que, em função de suas propriedades físicas, um ruído poderá ser muito incômodo e produzir efeitos adversos sobre o organismo humano, ainda que seu nível seja inferior àqueles determinados pela legislação. Existem ainda as variáveis que interferem nos caminhos de propagação do som, modificando a sua percepção no local de recepção, tais como a forma das edificações existentes no espaço urbano, a permeabilidade das fachadas e as características construtivas das edificações (BERENDT *et al*, 1976, CETUR, 1981).

Os fatores subjetivos consistem no tipo de atividade desempenhada no momento em que o indivíduo está exposto ao ruído, a sua condição sócio-cultural, o seu estado psicológico, a sua sensibilidade, o temor da queda de aeronaves, da desvalorização de imóveis, de que as autoridades não estejam preocupadas com a situação e de que a situação passe a um estágio insuportável.

## **2.2. O RUÍDO**

### **2.2.1. Os efeitos do ruído no homem**

De modo geral, o desenvolvimento das atividades humanas está ligado à produção de sons, alguns dos quais são considerados agradáveis, outros não. Certos deles são de interesse, outros não têm essa função. O que é incômodo para um indivíduo pode ser considerado agradável por outro.

O som tem ao mesmo tempo caráter físico e psíquico. Fisicamente, os sons são produzidos por uma perturbação mecânica e propagados como uma onda em movimento no ar ou em outro meio (WHO, 1995). Todavia, a psico-acústica os considera como um fenômeno perceptivo, uma sensação auditiva que pode originar os mais diversos sentimentos (alegria, tranqüilidade, sobressalto, angústia, terror, pânico, etc.).



A audição permite ao som deixar de ser apenas um fenômeno físico e passar a incorporar a dimensão psíquica. Deste modo, o ouvido também tem a função de transformar o som físico em som psíquico, indo além da sua noção primária de captador fisiológico. Os sons podem ser percebidos como altos, fortes, agradáveis, incômodos, prejudiciais à audição de um outro som (quando o mascara) etc. Observe que a forma pela qual o som é percebido recai sobre a definição de ruído.

O ruído, portanto, é definido como "aquele som indesejável, ou seja, uma energia acústica audível que afeta ou pode afetar fisiológica ou psicologicamente o bem estar das pessoas" (GIERKE *et al*, 1993, WHO, 1995, RABINOWITZ, 1991).

Os efeitos do ruído sobre os seres humanos vão desde perda auditiva total até a sensação de incômodo, podendo ser classificados em diretos e indiretos. Os efeitos diretos são aqueles que atuam diretamente sobre as funções do aparelho auditivo. Os indiretos (ou não auditivos) podem atuar sobre o estado fisiológico, comportamental ou psicológico, mas não chegam a modificar as funções auditivas. (WHO, 1995)

Segundo RABINOWITZ (1991) a perda total ou parcial da audição não é o único sintoma provocado pelo ruído. Ela pode ser acompanhada de efeitos não auditivos (fisiológicos, como os problemas cardiovasculares, hormonais e digestivos) e psicofisiológicos (como a falta de atenção e de memória). Estes efeitos podem se manifestar em níveis de ruído que não danificam a audição.

A deterioração da audição está diretamente relacionada à intensidade do ruído, a sua natureza e a sua duração, podendo, até certo ponto, ser avaliada a partir de seus componentes físicos (distribuição das intensidades por bandas de oitavas). O principal problema da

#### ***EFEITOS DO RUÍDO***

- ***Efeitos Indiretos ou não auditivos***
  - ***De curta duração:***
    - *Sobressalto*
    - *Dilatação das pupilas*
    - *Vaso-constricção periférica*
    - *Aceleração dos batimentos cardíacos*
    - *Palpitação*
    - *Alteração do ritmo respiratório*
    - *Tensão muscular*
  - ***De longa duração***
    - *Redução na capacidade de concentração*
    - *Perturbação do sono*
    - *Interferência na comunicação*
    - *Influência sobre o sistema endócrino*
    - *Distúrbios gástricos*
    - *Cefaléias*
    - *Zumbidos*
    - *Dores generalizadas*
    - *Tonturas e náuseas*
    - *Perturbação da atividade sexual*
- ***Diretos***
  - ***Trauma acústico***
  - ***Troca de limiar temporária permanente***

**Figura 2.1.** Efeitos do Ruído (WHO, 1995)

exposição ao ruído é que os seus efeitos sobre o organismo - exceto no caso de ruídos muito elevados (acima de 140 dB(A) que podem ocasionar perda auditiva imediata - se manifestam lentamente, podendo-se levar meses, anos ou décadas para percebê-los. (RABINOWITZ,1991)

A população circunvizinha a aeroportos, em geral, não corre risco de perda auditiva. Porém, outros problemas são acarretados, tais como incômodo, interferência na comunicação, interferência no sono, no aprendizado, dificuldade de concentração, dentre outros, os quais serão abordados a seguir:

### **2.2.1.1. Efeitos do ruído no entorno de aeroportos**

#### **2.2.1.1.a. O incômodo**

Segundo a *Federal Aviation Administration* (FAA, 1985), o incômodo é o efeito do ruído mais importante, quando se trata de ruído aeronáutico.

VALLET (2002) define o incômodo como “uma sensação perceptiva e afetiva negativa, expressa pelas pessoas que escutam um ruído”. Segundo a ótica de MILLER (1974) incômodo “é uma resposta a uma experiência auditiva, que tem suas bases em sons de natureza desagradável, em atividades que são interrompidas por um ruído, em reações psicológicas e em respostas a um significado ou mensagem transmitida pelo ruído” (p.135)

SHAW menciona que “o incômodo sonoro está parcialmente associado a interrupção das atividades humanas por ruídos intrusivos, principalmente atividades domésticas”.(1996, p. 113)

Ao longo dos anos vêm sendo realizadas diversas pesquisas sociais, na Europa e nos EUA a fim de retratar, tanto quanto possível, as respostas da população ao ruído ambiental e os efeitos do ruído em seres humanos. Dessas pesquisas foi possível concluir que o incômodo representa a síntese de uma variedade de efeitos do ruído aeronáutico sobre a população exposta.

De modo geral, o incômodo sonoro apresenta grande subjetividade. O grau de incômodo e as reações ao ruído dependem de vários fatores, tais como os julgamentos de valores, crenças e atitudes individuais dos cidadãos expostos a ele. Em torno de

aerportos, esta subjetividade é ainda maior. Vários estudos têm sugerido que os efeitos não auditivos do ruído podem ter maior relação com os parâmetros subjetivos do ruído do que com o nível sonoro. (VALLET, 1999)

Segundo a FAA, as variáveis emocionais individuais contribuem para a reação humana ao ruído de tal modo que:

“o conhecimento da existência de variáveis individuais ajuda a entender porque não é possível estabelecer simplesmente que um determinado nível sonoro, emitido por uma fonte sonora, irá provocar uma particular reação comunitária ou ter um certo impacto ambiental” (1985; p. 20).

MILLER (1974) menciona que as respostas ao ruído de aeronaves variam em função dos seguintes fatores psicológicos: Medo da queda de aeronaves, sensibilidade individual a outros tipos de ruído, distância do aeroporto, disposição individual de aceitar um aumento na exposição ao ruído de aeronaves, cidade de residência, credibilidade dos residentes nas medidas de controle de ruído adotadas pelas autoridades competentes e atitudes dos residentes com relação a importância do aeroporto e do transporte aéreo.

Outra questão importante é que a sensibilidade auditiva de pessoas com boa acuidade auditiva pode variar de 20 dB de uma pessoa para a outra. Conforme menciona a FAA (1985), essa variação na resposta é que torna a ciência de avaliar a resposta comunitária um assunto difícil, sendo praticamente impossível prever a resposta individual a uma determinada exposição sonora. Nesse caso, em geral, é mais adequado avaliar a tendência de uma população a uma determinada resposta.

Estes fatores, aliados aos fatores psicológicos individuais e à significativa diferença na exposição sonora que cada indivíduo recebe (devido às variações no ambiente acústico) e, também, às diferenças individuais, levam autores como MILLER (1974) a supor que o grau individual de incômodo não é tão bom preditor de incômodo quanto o nível médio da população.

De outro modo, autores como SCHULTZ (1978), consideram as reclamações generalizadas de uma população e a percentagem de pessoas altamente incomodadas bons indicadores de incômodo. Segundo a FAA (1985), a percentagem da população que se enquadra em uma determinada categoria de resposta pode ser o melhor indicador de impacto ambiental sonoro.

O incômodo poderá estar ligado a situações que ainda não existem, mas que poderão existir, tais como a possibilidade de desvalorização do imóvel localizado em uma área ruidosa (VALLET, 2001).

As populações, acreditando na possibilidade de aumento do tráfego no futuro, experimentam um incômodo superior àquele que provocaria o mesmo ruído se o tráfego fosse estável. Assim, o nível de ruído real tem somente uma influência parcial sobre o incômodo percebido e a sensação de incômodo é consequência da necessidade de preservar uma situação mais ou menos estável (VALLET, 2001).

Os níveis sonoros máximos emitidos por aeronaves são muito menos elevados do que há 15 anos. Entretanto, o ruído é mais contínuo, pois os sobrevôos são mais freqüentes. Deste modo, o sistema nervoso é estimulado repetidamente e o ruído assume um perfil de estimulante permanente do sistema nervoso que passa a se irritar mais facilmente. VALLET (2002) esclarece que uma vez construídas e memorizadas as reações ao ruído, estas podem ser despertadas quando o indivíduo é submetido a níveis de ruído muito modestos, segundo o significado que foi atribuído ao sinal emitido.

Contudo, conforme salienta HAINES *et al* (2002), o nível de ruído aeroportuário está associado com o incômodo, numa relação dose-resposta. GIERKE *et al* (1993) comentam que, para que não haja reação da comunidade a um ruído intrusivo<sup>19</sup>, o mesmo deve estar 5 dB abaixo do ruído de fundo<sup>20</sup>. Os autores concluem que as pessoas tendem a julgar a magnitude de um ruído intrusivo tomando como referência o ruído ambiente na falta do ruído intrusivo. Assim, podem ocorrer reclamações generalizadas quando o nível sonoro emitido pelo ruído intrusivo ultrapassar o valor de  $L_{DN}$  medido no exterior em aproximadamente 5 dB. Se este valor ultrapassar 20 dB, as reações serão ainda mais vigorosas.

#### *O incômodo e as mudanças de situação no ambiente sonoro no entorno de aeroportos*

De acordo com VALLET (1996) é necessário haver uma variação mínima de 6 dB(A) no  $L_{eq}$  (nível sonoro equivalente) para que haja modificação no nível de

---

<sup>19</sup> Segundo MILLER (1974) Ruído intrusivo é aquele que está sendo objeto de avaliação. O ruído de fundo é composto por todas as demais fontes sonoras juntas, sem considerar o ruído intrusivo.

<sup>20</sup> O ruído de fundo é composto por todas as demais fontes sonoras juntas, sem considerar o ruído intrusivo.(MILLER, 1974)

incômodo. Com mudanças de 2 a 3 dB(A), por exemplo, a população local percebe a modificação no ruído, mas não há redução do incômodo.

FIDELL *et al* (1996), a partir de uma pesquisa social realizada na área circunvizinha a *Seattle-Tacoma International Airport*, na qual foram entrevistados 1236 residentes e medidos os níveis de exposição sonora no ambiente externo, concluíram que um decréscimo gradual de 1,5 a 3 dB(A) nos níveis de ruído aeroportuário, ocorridos durante um extenso período de tempo, não é percebido de imediato pelos residentes na vizinhança do aeroporto.

#### **2.2.1.1.b. Interferência no sono**

O distúrbio do sono é um dos principais efeitos do ruído (GIERKE *et al*, 1993). Diversos estudos sobre este assunto vem sendo desenvolvidos há cerca de 30 anos, sob condições controladas em laboratórios e sob condições de campo. Os principais efeitos do ruído sobre o sono são a dificuldade de adormecer e alterações da qualidade do sono (RABINOWITZ, 1991) e a alteração dos estágios do sono, podendo provocar despertar.

O sono é definido por MUZET como “um estado psicológico fundamental que ocupa em torno de um terço de nossas vidas e que nos é periodicamente necessário a fim de restaurar nossas capacidades físicas e mentais” (2002; p. 13). O autor acrescenta que “o sono é um estado de repouso relativamente frágil, pois pode ser interrompido, de modo voluntário ou não, pela atuação de estímulos diversos, dentre os quais o ruído é a principal causa”. (MUZET, 2002)

MILLER (1974), VALLET (1996), MUZZET (2002) e HAINES *et al* (2002) mencionam que a exposição ao ruído durante o sono altera os seus estágios, a sua estrutura e o número de despertares. Quanto maior for o número de eventos ruidosos, maior é a probabilidade de despertar. A interferência no sono, segundo GIERKE *et al* (1993) ocorre principalmente quando o ruído emitido é intermitente. Além disso, quanto maior for o nível do ruído, maior é a probabilidade do organismo manifestar alguma reação.

O efeito mais significativo do ruído sobre o sono, segundo VALLET (1996) é deformar a organização de sua estrutura, o que começa a acontecer em níveis superiores a  $Leq = 35$  dB(A), durante a noite, no interior da edificação.

MILLER (1974) afirma que é evidente a influência do nível de ruído e do estágio do sono nos despertares noturnos. Os estímulos fracos interferem significativamente somente no sono leve. Os moderados tornam o sono profundo mais leve e os estímulos fortes, quando ocorridos durante o sono profundo, aumentam a possibilidade de despertar. Os estímulos muito fortes (de 100 a 120 dB) provocam o despertar da maioria das pessoas.

Estudos realizados em laboratório em condições controladas, conforme esclarece SHAW (1996), apontaram que existe uma probabilidade de 10% de despertar por evento quando os níveis sonoros são da ordem de 50 dB, medido próximo ao indivíduo. Esta porcentagem aumenta para 45% quando o nível sonoro é 90 dB. Em condições de campo, a probabilidade de despertar é inferior, girando em torno de 1 a 2% para níveis sonoros de 50 dB e 6% para níveis de 90 dB.

Quando o ruído conduz o indivíduo a despertar mais cedo, pode acarretar fadiga e deterioração da performance psicomotora, do humor e do bem estar.

Observa-se que o ruído de aeronaves é uma das principais fontes de incômodo, provocando alterações dos estágios do sono e aumentando o número de despertares. MILLER (1974) relaciona a interferência de ruídos de curta duração, tais como o sobrevôo de aeronaves, com o número de despertares.

Experiências de natureza fisiológica, realizadas em populações vizinhas a aeroportos, têm permitido analisar o papel do número de vôos no incômodo. Estas pesquisas indicam que, durante o dia, o número de aviões não influencia o incômodo, para as frequências de vôo observadas. Todavia, é possível haver incômodo caso as frequências horárias sejam superiores. Além disso, revelam que o número crescente de vôos aumenta a possibilidade de despertar. Assim, para evitar 90% dos despertares, é necessário que não haja mais que 15 a 20 eventos ruidosos por noite com níveis superiores a 48 dB(A) ( $L_{MAX}$ ) em dormitórios (VALLET, 2001)

Exames encefalográficos apontam que crianças despertam com níveis sonoros 10 dB mais elevados do que a média dos adultos, ou seja, crianças reagem pouco às perturbações sonoras após adormecerem. Entretanto, esta aparente redução de sensibilidade contrasta com uma hiper-reatividade vascular similar àquela observada em adultos (MUZET, 2002).

Segundo MUZET (2002) existe um certo grau de habitualidade às condições sonoras noturnas. Todavia, esta habitualidade do organismo é incompleta e as respostas vegetativas, observadas durante o sono, (notadamente os efeitos cardiovasculares) mostram que certas funções fisiológicas ficam perturbadas pela repetição dos estímulos sonoros quando as exposições são longas. Deste modo, o sono deixa de executar a sua função reparadora devido aos estímulos sonoros.

#### ***2.2.1.1.c. Interferência na comunicação verbal***

A interferência na comunicação ocorre quando os sons emitidos durante a fala são mascarados por um outro ruído, reduzindo a inteligibilidade da fala e a qualidade da comunicação. Este é um importante problema, tendo em vista que envolve a perturbação de diversas atividades educacionais e domésticas cotidianas, tais como assistir TV, escutar rádio, falar ao telefone, dentre outras.

As frequências mais importantes para a inteligibilidade da fala estão no intervalo de 200 a 6000 Hz. Entretanto, é nas frequências mais altas que se encontram as principais informações para diferenciar os sons. Caso um ruído intrusivo tenha frequência sonora coincidente essas frequências da fala, quanto mais alto for o seu nível sonoro, mais difícil se torna a inteligibilidade da fala, podendo ocorrer mascaramento sonoro. (GIERKE *et al*, 1993)

Em geral, as pessoas conseguem alterar o nível de voz a fim de superar o ruído intrusivo. Todavia, esta habilidade ocorre quando o ruído é estacionário (estável). No caso de ruídos intermitentes, isso não é possível.

Segundo SHAW (1996) a relação entre a inteligibilidade da fala e nível de ruído de fundo é fundamental para o desenvolvimento de um critério de ruído ambiental. Em áreas residenciais, o ruído de fundo deve ser inferior a 55 dB para permitir uma comunicação satisfatória (95% de inteligibilidade) em ambiente externo, com nível de voz normal a 3 m de distância fonte-receptor. No caso da conversa se passar em uma sala de estar, é necessário que o nível de ruído de fundo seja inferior a 45 dB para que não haja necessidade de elevar a voz e haja 100% de inteligibilidade.

#### **2.2.1.1.d. Interferência na aprendizagem**

A exposição crônica ao ruído ambiental danifica as funções cognitivas e a saúde de crianças. Segundo HAINES *et al* (2002), a interferência no desempenho cognitivo é um dos principais efeitos do ruído em crianças. O desenvolvimento de atividades que envolvem compreensão da linguagem e atenção, tais como a leitura, a resolução de problemas e a memória são mais afetados pela exposição sonora que as tarefas simples.

A interferência na comunicação verbal, mencionada anteriormente, atinge principalmente o aprendizado de crianças pequenas, cujo conhecimento está se formando.

Autores como MILLER (1974) e VALLET (1996) consideram que o ruído interfere na comunicação verbal, visto que a criança tem mais dificuldades que o adulto para compreender porque ela está na fase de aprendizagem. Deste modo, quando expostas a níveis sonoros capazes de mascarar as palavras pronunciadas por pessoas que se encontram a sua volta (maiores ou iguais a 70 dB(A)), podem ter o desenvolvimento da linguagem comprometido.

Segundo SHAW (1996) estudantes de escolas expostas a altos níveis de ruído aeroportuário têm apresentado menor rendimento no aprendizado da leitura e da matemática do que estudantes de escolas situadas em áreas tranquilas.

STANSFELD (2002), acrescenta que em crianças, a exposição crônica ao ruído de aeronaves além de impedir a compreensão da leitura, perturba a memória de longo prazo e pode estar associada ao aumento da pressão sanguínea.

A contribuição da passagem de aviões para a interferência na inteligibilidade da fala, na visão de GIERKE *et al* (1993), tem se mostrado um importante problema em escolas. Segundo os autores, em edificações não dotadas de sistemas de climatização artificial e de isolamento sonoro, quando o  $L_{DN}$  atinge 70 dB ou mais, as interrupções provocadas pela passagem de aviões se tornam incômodas. Quando o nível sonoro de pico excede 90 a 95 dB, pode ocorrer susto e causar a dispersão da atenção em sala de aula. Os autores relatam que os distúrbios da atenção são os principais efeitos negativos do ruído sobre o aprendizado.



#### **2.1.2.1.e. Interferência no desenvolvimento de outras atividades**

O ruído pode acarretar efeitos sobre o comportamento social e psicológico, uma vez que interfere no sono, na inteligibilidade da fala, no desenvolvimento de tarefas e no desenvolvimento intelectual.

A exposição a ruídos desconhecidos, imprevisíveis ou muito intensos pode interferir no desenvolvimento de tarefas que requerem atenção e capacidade de memória. (SHAW, 1996)

Segundo relatam GIERKE *et al* (1993), “acima de 95 dB o ruído pode ter efeitos adversos sobre uma variedade de atividades, mas essa relação é muito complexa. Depende crucialmente do tipo de ruído, do seu nível e do tipo de atividade”. (1993; p.78) Em geral, o desempenho de atividades simples não sofre alterações devido a exposição sonora. Todavia, conforme aumenta a complexidade da atividade, mais ela pode sofrer interferência, passando a ser um problema ocupacional. Verifica-se que ruídos intermitentes, irregulares e não periódicos, de níveis sonoros relativamente baixos, podem afetar o desempenho de tarefas delicadas, que requerem atenção.

Nas exposições a níveis superiores a 95 dB, poderão ocorrer momentaneamente lapsos de memória e complicações funcionais do intelecto.

#### **2.1.2.1.f. Outros efeitos do ruído aeronáutico**

Existem divergências e contradições sobre as possíveis relações entre admissões em hospitais psiquiátricos e o nível de ruído emitido por aeronaves, conforme salientam autores, tais como GIERKE *et al* (1993); SHAW (1996) e STANSFELD (2002). Observa-se que, embora os primeiros estudos realizados sobre este assunto tenham sugerido tais associações, os estudos mais recentes não comprovaram relações consistentes entre ruído de aeronaves e admissões em hospitais psiquiátricos.

GIERKE *et al* (1993) apontam que a exposição ao ruído pode conduzir e/ou contribuir para a incidência de alta pressão arterial, cardiopatias, úlceras gástricas e outras síndromes relacionadas à tensão. Segundo os autores, estas síndromes decorrem do incômodo, da emoção e da reação do indivíduo ao ruído.

Um estudo realizado na área circunvizinha ao Aeroporto de *Scriphol* observou uma relação entre problemas do coração, hipertensão, o uso de medicamentos e a exposição sonora ao ruído de aeronaves.(STANSFELD, 2002)

Todavia, SHAW (1996) afirma não haver evidências científicas de que existe uma relação quantitativa entre exposição sonora ao ruído e doenças não auditivas, embora seja postulado que a interferência do ruído no desempenho de atividades (sono, aprendizado, comunicação e recreação) age como um fator de “stress” sobre o organismo humano, acarretando uma variedade de problemas psicológicos e fisiológicos.

HAINES *et al* (2002) afirmam ser evidente a suscetibilidade de reações fisiológicas de crianças ao ruído ambiente, caracterizando-se por “stresss” fisiológico e psicológico e efeitos na pressão arterial. Os autores mencionam que não existem evidências de que as crianças se habituem a exposição sonora.

## **2.2.2. Propagação do som em ambientes externos**

### **2.2.2.1. Atenuação do som durante a propagação ao ar livre**

O campo acústico é a região do espaço onde existem vibrações acústicas, podendo ser direto (livre) ou refletido (reverberante). As características do campo de radiação sonora emitida por uma fonte de ruído variam com a distância da fonte (BERANEK, 1971). Em campo acústico livre (aquele no qual a propagação sonora ocorre sem reflexão) as ondas sonoras apresentam um comportamento diferente do encontrado em um ambiente fechado.

O nível de pressão sonora gerado por uma fonte sonora em um receptor localizado em um campo distante da fonte diminui como uma função da distância devido a dispersão da energia sonora (BERANEK,1971; SHAW, 1975). Mas, poderá ocorrer atenuação devido às condições ambientais e a outras condições.

Em campo livre, utilizam-se, basicamente, três modelos de fontes sonoras para estudar a propagação dos sons, nos quais são emitidas ondas esféricas, cilíndricas ou planas. As ondas planas distinguem-se das esféricas por apresentarem sua área frontal constante. Nas ondas esféricas esta área aumenta proporcionalmente ao quadrado da distância à fonte (GINN, 1978). Assim sendo, em decorrência da "lei do inverso do

quadrado da distância", para radiação sonora esférica, cada vez que a distância é duplicada ocorre uma redução do nível de pressão sonora de 6 dB(A).

As *fontes pontuais* omnidirecionais irradiam energia sonora igualmente em todas as direções. Quando uma fonte sonora está localizada a uma distância muito grande, em relação ao seu tamanho, ela pode ser considerada como sendo uma fonte pontual, irradiando energia sonora uniformemente em todas as direções e sua frente de onda apresenta forma esférica (BERENDT *et al*, 1976). Este é o caso de um avião em sobrevôo. Segundo SHAW (1975), "o avião em sobrevôo, em grandes altitudes, irradia ruído esféricamente, sendo considerado uma fonte pontual omnidirecional em movimento. Os aviões durante o sobrevôo, o pouso, a decolagem e o taxiamento são fontes pontuais móveis. Durante o teste de motores são fontes pontuais fixas.

As *fontes lineares* são constituídas por várias fontes pontuais dispostas em linha, de tal modo que as ondas sonoras se propagam criando uma série de superfícies cilíndricas concêntricas. Tal fato é característico de fontes situadas sobre ou próximas a superfícies refletoras, tais como ruas e auto-estradas. As ruas são, portanto, fontes fixas associadas a fontes pontuais que se movimentam, formando uma linha de fontes (fontes lineares).(CETUR,1978)

Neste caso, se a distância de um receptor situado em um ponto qualquer em relação a uma rodovia for duplicada, o decréscimo do nível de sonoro será 3 dB. (BERANEK, 1971; GINN, 1978, CETUR, 1981) Esta menor atenuação com a distância deve-se ao fato da irradiação apresentar forma cilíndrica. (BERENDT *et al*, 1976)

Teoricamente, a propagação sonora em ambientes abertos depende basicamente da distância entre a fonte e o receptor. Na prática, as condições atmosféricas, a turbulência, a temperatura, a umidade, o vento, a viscosidade do ar, a absorção molecular e a reflexão da superfície terrestre modificam o comportamento do som e devem ser consideradas (BERANEK, 1971), conforme será abordado posteriormente.

A cerca de algumas centenas de metros, a absorção atmosférica se torna um fator significativo, pois ela contribui para a perda de energia sonora e produz mudanças do espectro com a distância para fontes de ruído complexas, tais como ruídos de aeronaves e de motores de veículos (SHAW,1975).

Turbulências e gradientes de temperatura, vento e umidade resultam em modificações da atenuação, principalmente para distâncias acima de 1,6 Km. A cerca de 300 m a atenuação produzida pela absorção atmosférica assume um papel secundário na propagação de ruídos externos. A influência da atenuação atmosférica sobre o nível de ruído se relaciona principalmente com a intensidade dos componentes de alta frequência no espectro sonoro. (BERANEK,1971)

#### **2.2.2.1.a. Influência do vento na propagação do som**

Acima do solo, em espaço aberto, quase sempre existem gradientes da velocidade do vento e da temperatura. O vento, devido a fricção entre o ar em movimento e o solo. A temperatura, devido a troca de calor entre o solo e a atmosfera. Estes gradientes provocam uma mudança da velocidade do som com a altitude acima do solo e as ondas sonoras são refratadas, ou seja, inclinadas de modo ascendente ou descendente. (BERANEK, 1971)

Sob tais condições, é possível ter uma zona de sombra, na qual nenhum som direto pode penetrar ou, de modo oposto, uma zona de propagação. Embora a velocidade do vento na superfície terrestre seja pequena em relação a velocidade do som de 340 m/s, a influência do vento sobre a transmissão sonora se justifica pela presença desse gradiente de velocidade do vento com a altitude. Observa-se que a velocidade do vento ao nível do solo é sempre inferior à velocidade do vento em grandes altitudes (SCHULLER *et al*, 1981). Como resultado, a zona de sombra é mais comumente encontrada quando o vento segue do receptor em direção à fonte. Caso o vento siga da fonte ao receptor, não haverá atenuação. (Figura 2.1.a)

#### **2.2.2.1.b. Influência da temperatura na propagação do som**

Uma vez que a velocidade do som depende da temperatura, uma frente de ondas planas se modifica quando há uma variação de temperatura. Em geral, a temperatura do ar diminui com a altitude (Figura 2.1.b). Assim, os raios sonoros se curvam a partir da superfície terrestre em função deste gradiente de temperatura.

Em determinadas condições, a distribuição da temperatura pode variar em relação ao caso geral e uma camada de ar quente poderá se apresentar acima da camada de ar frio (inversão de temperatura). Nesse caso, os raios sonoros se inclinam em direção à superfície terrestre (Figura 2.1.c.). Segundo SCHULLER *et al*. (1981), quando

o gradiente é muito importante, esse efeito corresponde à reflexão contra a superfície de duas camadas de ar (frio e quente), aumentando o nível sonoro.

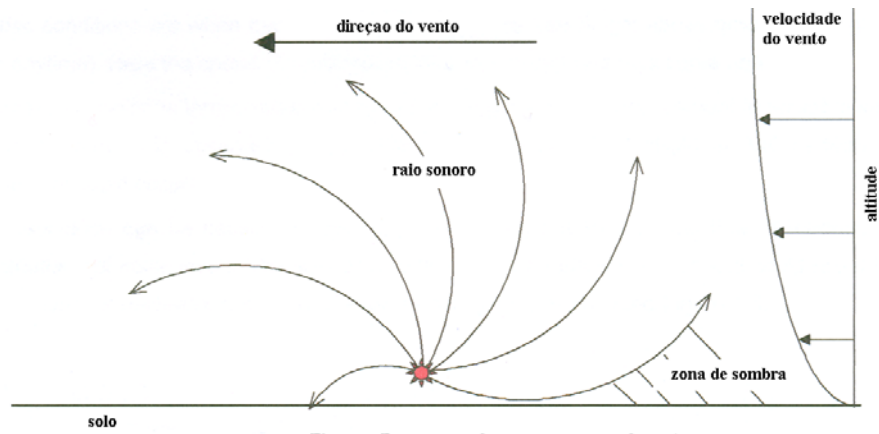


Figura a. Propagação do som na presença de vento

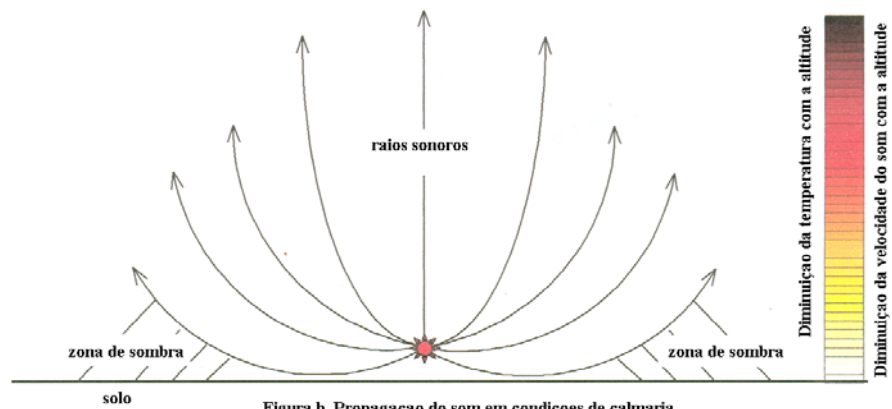


Figura b. Propagação do som em condições de calma

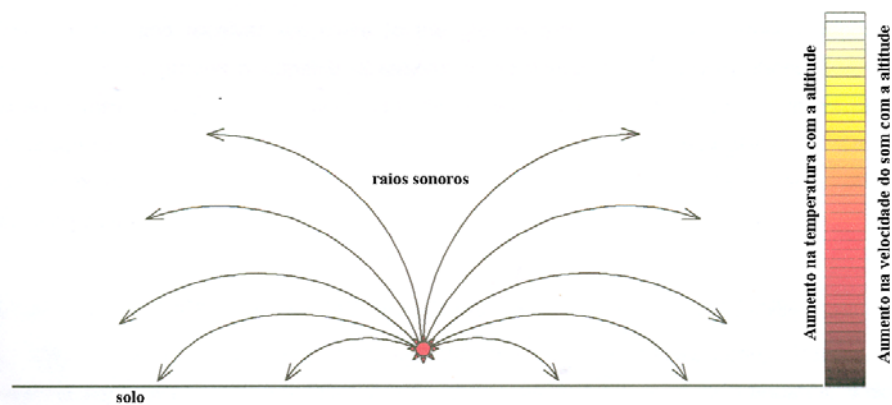


Figura c. Propagação do som em condições inversas

Figura 2.2. Efeitos do gradiente do vento e da temperatura sobre a propagação do som ao ar livre.

### 2.2.2.1.c. Efeitos do solo e a influência da vegetação na propagação do som

A atenuação do ruído pelo solo é uma função da estrutura e da cobertura do solo, da altura da fonte e do receptor acima do solo. (BERANEK, 1971)

Quando o som se propaga paralelamente a uma superfície que não é totalmente dura, tal como um terreno gramado, sofre uma atenuação suplementar que depende da impedância<sup>21</sup> acústica da superfície. As energias sonoras situadas entre as frequências de 250 e 500 Hz sofrem maior atenuação em decorrência do tipo de solo. A grandes distâncias da fonte sonora, as ondas irradiadas são planas, havendo transmissão lateral de ruído pelo solo. Quando a transmissão sonora ocorre em grandes altitudes, o efeito do solo se torna menos importante.

Além disso, o efeito do solo também depende da presença de vento e de barreiras que modificam a propagação sonora, tornando sua trajetória curva. Deste modo, a atenuação proporcionada pelo solo e sua cobertura raramente ultrapassa 25 dB. (SCHULLER *et al*, 1981)

Segundo BERANEK (1971), para uma fonte e receptor a 2,5 m de altura, a atenuação pelo solo varia de 5 a 10 dB, em uma distância de 250 m, para frequências de 100 a 6300 Hz. A atenuação em solo recoberto por grama grossa e por arbustos, na frequência de 1000 Hz, é da ordem de 23 dB por 100 m. Esse valor aumenta cerca de 5 dB por 100 m para cada duplicação da frequência, podendo ser calculado pela fórmula:

$$A_e = (0,18 \log f - 0,31)r$$

*Sendo:*

$A_e$  = Atenuação devido a presença de grama ou arbustos, em dB;

$f$  = frequência do som, em Hz

$r$  = extensão do caminho de propagação através da vegetação ou grama, em metros.

A presença de matas e florestas influencia na realização de um conjunto de reflexões, dispersões e absorções fundamentais para a atenuação sonora. Entretanto, uma vegetação densa, de folhas perenes, plantada em uma grande extensão, produzirá

---

<sup>21</sup> Impedância acústica, para uma onda senoidal e sobre uma superfície dada, é o quociente complexo da pressão acústica suposta uniforme sobre toda a superfície, pelo fluxo acústico que atravessa essa superfície. (TB-143 - ABNT, 1973)

uma atenuação global de uma fonte sonora pontual de 3, 5, 7, 9, 12 e 15 dB para cada 100 metros de vegetação por banda de frequência central para 125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz. (SCHULLER *et al.*,1981)

De acordo com BERANEK (1971), os valores da atenuação na frequência de 1000 Hz, variam de 23 dB por 100 m (no caso de propagação em florestas com vegetações perenes), a 3 dB por 100 m (no caso de tronco sem folhas sobre solo absorvente). Um valor médio para a atenuação proporcionada por várias árvores é:

$$A_{e \text{ floresta}} = 0,01(f)^{1/3}r$$

A norma ISO 9613/1996 informa que folhagens e arbustos fornecem uma pequena atenuação, mas somente se forem suficientemente densos para bloquear visualmente o caminho de propagação, ou seja, quando é impossível ver através da folhagem. A atenuação pode ser proporcionada por vegetação próxima a fonte ou próxima ao receptor, ou por ambas situações.

#### **2.2.2.1.d. Efeitos da absorção molecular na propagação do som**

A absorção atmosférica é sensível à composição do ar, particularmente à concentração de vapor d'água. (ISO 9613-1, 1996)

A absorção molecular se manifesta a grandes distâncias, principalmente nas altas frequências. É expressa em dB por 100 m e depende da temperatura, umidade relativa e da frequência.

De acordo com BERANEK (1971), a absorção do ar em condições de calma e isotropia é causada por dois motivos:

- A energia é extraída de uma onda sonora pelas perdas devido a condução de calor e a viscosidade do ar. Esta absorção é significativa somente em temperaturas muito baixas;
- A energia é extraída de uma onda sonora por rotação e vibração das moléculas de oxigênio no ar. O teor de vapor no ar determina a constante de tempo de vibração, a qual é mais importante do que a rotação. Além disso, a absorção depende da temperatura.

Maiores detalhes sobre propagação de ruído em ambientes externos para fontes de ruído situadas próximas ao solo tais como indústrias, rodovias e ferrovias podem ser encontrados em BERANEK (1971) e na série de normas ISO 9613, a qual especifica métodos para a descrição de ruídos externos em comunidades. A parte 1 desta norma especifica um método de cálculo analítico da atenuação sonora como resultado da absorção atmosférica para uma variedade de condições meteorológicas, quando o som de uma fonte sonora se propaga através da atmosfera. A parte 2 apresenta um método geral de cálculo para todos os mecanismos físicos.

A *Norma American National Standard (ANSI) S1.26-1978* também apresenta um método para o cálculo da absorção do som pela atmosfera. Este método se baseia na aplicação de teoria estabelecida de mecanismos físicos de absorção através de uma vasta investigação em campo e em laboratório.

No entanto, essas normas não se aplicam ao ruído produzido por aeronaves em voo. Para o caso específico de ruído de aeronaves, valores de coeficientes de absorção atmosférica fornecidos pelo *Aerospace Recommended Practice ARP 866A da Society of Automotive Engineers, INC (SAE Committee A-21 "Standard Values of Atmospheric Absorption as a Function of Temperature and Humidity", SAE ARP866A, Março 1975)*, têm sido utilizados por muitos anos em estudos relativos ao ruído de aeronaves, para propósitos de pesquisa e certificação.

Os Métodos do SAE ARP 866A são especificamente incorporados pela *Federal Aviation Regulations, Part 36 - Noise Standards: Aircraft Type and Airworthiness Certification*, de 3 de abril de 1978, pelo Anexo 16 às *International Standards and Recommended Practices of International Civil Aviation Organization (ICAO - Anexo 16, " Aircraft Noise", publicada em 1975)* e pela *International Standard 3891 da International Organization for Standardization, "Procedures for Calculating Aircraft Noise on the Ground", ISO 3891*.

### **2.2.2.3. Fontes sonoras em meio ambiente urbano**

O ambiente acústico de uma cidade é composto por fontes de ruído geradas em função do exercício de atividades humanas como, por exemplo, os sistemas de transporte (rodoviário, aéreo e ferroviário), as indústrias, os ruídos de vizinhança e de



construção, bem como os ruídos internos às edificações e aqueles decorrentes da prática de atividades de lazer (motocross, automobilismo etc.).

SHAW (1975) menciona que não é a potência acústica da fonte, mas a quantidade de ruído que um receptor recebe que o afeta. Cada fonte sonora exerce uma contribuição, ou seja um incremento, sobre o ruído ambiente<sup>22</sup> característico do local em que está inserida e do seu entorno. Segundo DUNAYEVSKY(1997), esta contribuição irá depender dos seguintes parâmetros:

- Capacidade tecnológica das edificações isolarem o receptor do ruído externo;
- Características físicas do ruído emitido;
- Morfologia urbana;
- Tipos de materiais que revestem os planos das fachadas de edificações, bem como o piso de espaços abertos;
- Presença de barreiras naturais ou construídas;
- Possibilidade de controlar ou não a fonte sonora.

Algumas fontes sonoras podem ser controladas, outras não. Em determinadas situações o ruído produzido pelas fontes sonoras incontroláveis, tais como o trânsito de veículos, pode apresentar níveis que excedem os valores de exposição sonora aceitáveis, mesmo quando as fontes controláveis estão inativas.

Convém, portanto, que o controle de ruído urbano seja realizado em escala coletiva, ou seja, que tenha uma abordagem ao nível da redução de ruído na própria fonte e, quando isso não for possível, ao nível da macroescala urbana e do adequado planejamento arquitetônico das edificações.

### **2.2.3. Carga de ruído sobre a coletividade**

Os efeitos do ruído podem ser expressos por palavras como uma grandeza subjetiva. Mas, também, podem ser medidos quantitativamente como uma grandeza física, utilizando-se equipamentos como o sonômetro. De fato, se ocorrer uma explosão em um lugar desabitado o ruído emitido existirá e poderá ser medido como uma grandeza física, mas se ninguém o escutou, o mesmo não provocará incômodo e,

---

<sup>22</sup> O ruído ambiente é um conjunto de ruídos habituais, com características mais ou menos regulares, ocorridas em um tempo determinado (MEISSER, M, 1974). Segundo SHAW , “o nível que excede 90% do tempo de medição fornece uma boa indicação do ruído de fundo”. (1996, p. 109)

portanto, não poderá ser avaliado subjetivamente através da psico-acústica (não existirá o som psíquico).

A magnitude física de um som é dada por sua intensidade, enquanto a sua magnitude subjetiva ou percebida é dada por sua sonoridade. (WHO, 1995) A sonoridade é uma grandeza proporcional à sensação sonora. Dentre as características físicas do ruído que podem influenciar na sua percepção estão o nível de sonoridade<sup>23</sup>, a amplitude, os padrões de flutuações, o número e duração de eventos ruidosos, bem como o tempo de exposição sonora total.

A construção de métricas destinadas a avaliar a exposição sonora constitui um problema complexo. VALLET (2002), esclarece que a métrica de ruído, por mais objetiva que seja, jamais será capaz de explicar o incômodo completamente. Todavia, visando avaliar com a máxima precisão possível a resposta das comunidades circunvizinhas a aeroportos foram criadas várias métricas.

De acordo com VALLET (1996), em todos os países, as métricas de exposição ao ruído aeroportuário procuram expressar o impacto ambiental sonoro do tráfego aéreo sobre um período dado. Os principais parâmetros, em geral, considerados são o número de movimentos, o nível de crista, a energia global sobre um período único de 24 horas ou vários períodos ponderados diferentemente segundo o período do dia, bem como o espectro de frequências.

No apêndice deste trabalho são apresentadas as principais métricas utilizadas na avaliação do ruído ambiental.

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (*U.S. Environmental Protection Agency –EPA*) definiu o  $L_{DN}$  (Nível Sonoro Dia-Noite), o qual representa o nível sonoro médio nas 24 horas do dia, com a aplicação de uma ponderação para os ruídos emitidos durante o período noturno (de 22h às 7h).(GIERKE & ELDRED (1993) Esta métrica também é recomendada pela “*Federal Aviation Regulation – parte 150*” da *Federal Aviation Administration* (FAA) quando se trata de medir a exposição ao ruído resultante da operação de aeroportos. O *Effective Perceived Noise Level* (EPNL) é

---

<sup>23</sup> A sonoridade tem como unidade o sone. O nível de sonoridade é definido como o reconhecimento médio de um som, em função de seus valores de pico e de suas características impulsivas. O nível de sonoridade tem como unidade o fone.(WHO,1995) Existe uma relação entre sone e fone, pois ambos são baseados em medidas físicas. Maiores detalhes ver WHO, 1995, BERANEK , 1971, BERENDT, 1976)

utilizado para a certificação de aeronaves turbojato e de helicópteros. O Nível Sonoro Máximo ( $L_{MAX}$ ), em decibéis, ponderados na escala (A), é utilizado para a certificação de aeronaves de pequeno porte.

Tendo em vista a grande variedade de índices criados para avaliar incômodo no entorno de aeroportos, a Comunidade Européia decidiu adotar um índice único de avaliação de carga de ruído sobre a comunidade: o  $L_{DEN}$  (*Day Evening Night Level*), o qual foi recomendado pela “Diretriz Européia sobre avaliação e gestão de ruído ambiental”, editada em junho de 2002, após longa discussão de seu grupo de trabalho em torno do índice mais recomendado. Essa métrica representa o nível sonoro médio nas 24 horas do dia, com a aplicação de uma ponderação diferenciada para os ruídos emitidos durante o período do anoitecer (ponderação + 5 dB) e da noite (ponderação +10 dB). O  $L_n$  (Level Night) permanece sendo recomendado especificamente para avaliação de carga de ruído no período noturno e o  $L_{MAX}$  é considerado um índice complementar a ambos. Observa-se que VALLET (2002) considera o  $L_{MAX}$  um bom índice, principalmente no campo do ruído de transporte, particularmente quando se diz respeito ao ruído de aeronaves e de trem, onde há picos de ruído.

Em 1974 a US EPA (*Environmental Protection Agency*) identificou os valores de  $L_{DN}$  inferiores a 55 dB (externos) e 45 dB (internos) como os requisitos para proteger a saúde pública e bem estar com uma adequada margem de segurança (GIERKE & ELDRED, 1993). A *World Health Organization* (WHO, 1995; SHAW, 1996), recomenda que, em áreas residenciais, o  $L_{eq}$  (Nível sonoro equivalente), medido externamente em período diurno deve ser inferior a 55dB e em período noturno deve ser inferior a 45 dB.

Em resumo, a U.S. EPA recomenda que valores de  $L_{DN}$  inferiores a 55 dB são compatíveis com o uso residencial. Os valores de  $L_{DN}$  entre 55 e 65 dB são considerados compatíveis pela *US Federal Interagency Committee* (FICON), observados os custos, os fatores característicos e os programas previstos para a área. O uso residencial é desencorajado entre 65 e 70 dB e fortemente desencorajado entre 70 e 75 dB. (GIERKE & ELDRED, 1993; SHAW, 1996)

**Tabela 2.1.** Várias diretrizes para exposição ao ruído em comunidade

Órgão	Níveis de ruído especificados	Crítérios
EPA	$L_{dn} \leq 55$ dB (externos) $L_{dn} \leq 45$ dB (internos)	Proteção da saúde pública e bem estar com adequada margem de segurança
WHO	$L_{eq} \leq 50/55$ dB (externos: dia) $L_{eq} \leq 45$ dB (externos: noite) $L_{eq} \leq 30$ dB (dormitórios) $L_{max} \leq 45$ dB (dormitórios)	Valores consensuais recomendados pelo grupo de trabalho
US Federal Interagency Committee (FICON)	$L_{dn} \leq 65$ dB	Compatível com uso residencial, observados o custo e fatores característicos
	$65$ dB $\leq L_{dn} \leq 75$ dB	Uso residencial desencorajado
Várias regulamentações europeias para o ruído de tráfego	$L_{eq} \geq 65$ ou $70$ (diários)	São requeridas medidas mitigadoras

Fonte: SHAW, 1996 p.115.

### 2.2.3.1. Incômodo devido ao ruído originado pelas atividades da aviação de pequeno porte

A avaliação do ambiente sonoro no entorno de pequenos aeroportos tem como principal dificuldade a adequada caracterização do ambiente real, a partir da obtenção de dados representativos da situação, pois a realização de medições sistemáticas apresenta dificuldades técnicas e custo elevado.

Ainda não existe consenso sobre a métrica de avaliação de incômodo mais adequada para a aviação de pequeno porte. O  $L_{DEN}$  é utilizado pela Suíça. Contudo, a sua adequação deve ser melhor avaliada, tendo em vista as características do ruído decorrente das atividades desenvolvidas nesses aeroportos, tais como o pára-queda, treinamento de pilotos, turismo e táxi aéreo.

De acordo com o “*Conseil National du Bruit*” francês (2002), a partir de medições realizadas em torno do aeroporto de *Lyon-Corbas*, pode-se avaliar o impacto ambiental produzido pelo pára-queda em dez zonas situadas em pontos estratégicos no setor de largada de pára-quadistas. Concluiu-se que o ruído intrusivo associado à largada de pára-quadistas pode durar até 15 minutos, enquanto aquele ligado ao movimento usual de aviões, em geral, apresenta uma duração a ordem de 1 minuto. O impacto ambiental decorrente dessas atividades nos pontos observados pode, quando há fortes atividades, contribuir para um aumento no ruído ambiente de 1,5 a 3 dB.

A adoção de uma métrica específica é um trabalho difícil, para o qual ainda faltam dados. A adoção do  $LA_{eq}$  sem a ponderação do período noturno e do anoitecer,

mas com uma ponderação para o fim de semana, período em que se considera haver maior número de operações da aviação de pequeno porte, é cogitada pelo “Conseil National du Bruit” (CNB, 2002). Este órgão também considera que o  $L_{AMAX}$ , medido com o tempo de integração de 1 segundo, pode ser um bom caminho em matéria de pesquisa, pois permite apreender o número de sobrevôos.

A aviação de pequeno porte, em geral, é constituída de monomotores à hélice equipados de motores dotados de pistão. No pára-queda, são utilizados aviões mais potentes de motor a pistão ou turbo propulsores e bimotores.

As atividades de treinamento de pilotos e de aeroclubes ocorrem em períodos de voo mais prolongados, com diversos pousos e decolagens, toques e remetidas, contribuindo para a degradação do ambiente sonoro local.

Embora, em geral, não haja atividade noturna ou a mesma seja em pequena escala, os poucos estudos realizados até o momento, indicam um grande incômodo provocado pela aviação de pequeno porte.

#### **2.2.4. Fontes de ruído aeronáutico**

As principais fontes de ruído aeronáutico são as operações de pouso, decolagem, taxiamento de aeronaves e vôos à baixa altitude. Todavia, as operações de equipamentos de apoio a aeronaves no solo e os testes de motores também podem gerar elevados níveis sonoros, produzindo incômodo sobre as populações circunvizinhas e, principalmente, sobre as pessoas que se encontram nas áreas operacionais dos aeroportos.

O ruído produzido pelas aeronaves em vôo é originário dos motores e da interação do ar com as suas estruturas. As características desta emissão sonora irão depender, basicamente, da tipologia de aeronave e das operações realizadas.(DGAC, 2000)

Em resumo, existem quatro tipos de aeronaves: Aeronaves a reação subsônica, aeronaves a reação supersônica, aeronaves propulsadas a hélice e helicópteros. Os três primeiros tipos constituem o grupo de aeronaves de asa fixa. Os helicópteros são denominados aeronaves de asa móvel.

#### **2.2.4.1. Ruído produzido por aeronaves à reação subsônica**

O ruído produzido por aeronaves a reação subônica deriva *do funcionamento dos motores* e da interação da sua estrutura com o ar (*ruído aerodinâmico*).

O *ruído decorrente do funcionamento dos motores* poderá decorrer de fontes externas (ruído de jato) ou internas. O ruído de jato deve-se à geração de fortes turbulências produzidas pela interação dos gases quentes ejetados do escapamento a alta pressão com o ar à temperatura ambiente, produzindo um espectro de ruído de banda larga.(DGAC, 2000)

O ruído interno é gerado de duas formas:

- Pelas partes giratórias do motor (“fan”, compressor e turbina), cujo espectro se caracteriza pela presença de frequências discretas (puras) que se superpõem a um ruído de banda larga.
- Pela queima de combustível. Nesse caso, o espectro se caracteriza por uma distribuição da energia sonora em torno de 500 Hz, sendo difícil diferenciá-lo do ruído de jato. Produz uma contribuição significativa no ruído total emitido a longa distância.

*Ruído Aerodinâmico* – é devido às turbulências criadas em torno do avião. É produzido pelo escoamento do ar sobre a estrutura das aeronaves na presença de elementos do tipo *flaps*, *slats* e trens de aterrissagem que se abrem em determinadas operações (DGAC, 2000).

Ressalta-se que o trem de aterrissagem, quando abaixado, constitui o elemento principal na produção de ruído, apresentando uma radiação omnidirecional<sup>24</sup> e um conteúdo espectral mais importante nas faixas de frequências mais altas do que aquele em condições normais de vôo.

#### **2.2.4.2. Ruído produzido por aeronaves à reação supersônica**

Em nenhum aeroporto brasileiro trafegam aeronaves deste tipo, portanto não serão abordadas neste trabalho.

---

<sup>24</sup> Significa dizer que ela envia a mesma quantidade de energia em todas as direções.(MEISSER, 1974)

#### **2.2.4.3. Ruído produzido por aeronaves a hélice**

O ruído emitido por aeronaves a hélice provém da própria hélice, da configuração aerodinâmica da aeronave, do motor e de seu sistema de escapamento (VACHER *et al*, 199-). Todavia, os ruídos emitidos pela hélice e pelo escapamento provocam maior incômodo sonoro. (DGAC, 2000)

A uma potência média ou fraca, o ruído do escapamento é predominante. Nas fases em que o motor se encontra com maior potência, o ruído da hélice predomina. (CNB, 2002)

Segundo (VACHER *et al*,199-), o ruído produzido pela hélice depende da velocidade angular, do diâmetro das hélices, do número de pás e da inclinação das mesmas em cada hélice, podendo ser classificado em duas categorias:

- Um ruído de banda larga provocado pela rotação das hélices, mais especificamente, no percurso das extremidades das pás, onde ocorre um escoamento turbulento, gerando um ruído aleatório.
- Um ruído cujo espectro em frequência é discreto, decorrente do deslocamento do ar causado pela rotação da hélice, o que provoca uma variação de pressão do tipo cíclica. Esta perturbação produz uma onda sonora que contém frequências discretas (harmônicos), múltiplas da frequência de movimento das pás das hélices.

O ruído produzido pelo motor e seu sistema de escape depende do tipo de motor, que pode ser a pistão ou a turbina. Em geral, esse ruído é mascarado pelo ruído emitido pelas hélices e pelo escapamento (CNB, 2002)

#### **2.2.4.4. Ruído emitido por helicópteros**

O ruído emitido por um helicóptero é função do deslocamento do ar causado pela rotação das hélices, bem como do tamanho e do tipo do grupo moto-propulsor utilizado. Observa-se que a sua principal fonte sonora é o ruído devido a rotação das hélices. (Disponível em <http://www.onera.fr>. Acesso em 18/10/2004)

A composição espectral do ruído emitido por helicópteros apresenta uma certa complexidade, tendo origem nas suas duas hélices e nos motores. A hélice principal gera dois tipos de ruído, à semelhança dos aviões a hélice, descritos acima (um de

freqüências discretas, decorrente da rotação e outro de banda larga, decorrente do movimento do ar nas extremidades das pás). Já o ruído gerado pela hélice da cauda está condicionado, principalmente, pela velocidade de sua rotação, devido as suas reduzidas dimensões.

Conforme menciona HEALEY (2004), através da utilização de um sistema (*Smart System*) desenvolvido pela Boeing e a *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) é possível reduzir as vibrações devidas à rotação das hélices em 80%, obtendo-se uma atenuação de até 10 dB, durante o pouso e decolagem. (<http://www.ainonline.com>. Acesso em 19/10/2004)

Em algumas condições de vôo, o helicóptero produz um ruído de batimento de pás provocado pela passagem de uma pá da hélice principal na perturbação do ar provocada pela pá anterior. Este fenômeno acontece principalmente na fase de descida. Na fase de vôo estacionário, e em baixa velocidade, o ruído produzido pela hélice da cauda predomina, especialmente, no caso de pequenos helicópteros, cuja hélice principal tem duas pás. De acordo VÉZINA (2004), para reduzir o ruído produzido pelas hélices, o escoamento de ar sobre as pás das hélices têm sido modelado, permitindo aos fabricantes modificar a forma e o número de pás das hélices. Disponível em <http://www.chucara.com/dossiers>. Acesso em 29/10/2004).

## **2.3. A FORMA URBANA**

### **2.3.1. Controle do ruído urbano**

O controle de ruído urbano pode ser obtido na fonte, no meio de propagação e no receptor. A melhor forma de se obter a redução do nível de ruído (ou nível de pressão sonora) é atuar diretamente sobre a sua fonte (BERANEK, 1971, SHAW, 1975, MACKENZIE *et al.*, 1991), substituindo-a, eliminando-a ou tratando-a (para modificar a emissão de ruído pela fonte).

Constata-se que a tecnologia empregada na fabricação de máquinas e equipamentos poderá aumentar ou reduzir o nível sonoro por eles emitido. Contudo, quando não for possível agir diretamente sobre a fonte, o controle de ruído poderá ser feito no meio de transmissão, ou seja, no ambiente externo e interno às edificações, em elementos de vedação, estruturas e dutos, através do emprego de barreiras acústicas,



materiais absorventes e isolantes, enclausuramentos, amortecimentos etc. (BERANEK, 1971, RTA, 2001). Há, ainda, casos em que é necessário utilizar ruídos mascarantes ou equipamentos de proteção auditiva.

Todavia, convém ressaltar que as soluções preventivas que consistem em adotar um adequado planejamento urbano, apropriados critérios de implantação de edificações e a adequada organização de espaços em projetos arquitetônicos, configuram caminhos menos onerosos para reduzir o nível sonoro em regiões tropicais (MACEDO, 1999).

A *Roads and Traffic authority of New South Wales* (2001), considera que planos ambientais locais e planos de controle de desenvolvimento, aliados a tais medidas, podem evitar a implantação de novas edificações em áreas ruidosas e, assim, minimizar os impactos ambientais sonoros.

Estes procedimentos são especialmente válidos em regiões com clima quente e úmido, onde a questão da poluição sonora não pode ser resolvida apenas mediante o isolamento acústico de fachadas. Nestas regiões a amplitude térmica é pequena e, portanto, não há necessidade de criar fachadas com grande inércia térmica e de grandes espessuras. Ao contrário, é necessário favorecer a ventilação passiva e utilizar os critérios da arquitetura bioclimática que objetivam a redução da carga térmica da edificação e proporcionam conforto higrotérmico em qualquer época do ano. Cabe ressaltar que a abertura de vãos de ventilação torna as fachadas permeáveis ao ruído produzido em espaços abertos. Assim, a implantação de edificações deve ser adequada às condicionantes externas: vento dominante nos períodos noturno e diurno, trajetória solar, chuva dirigida, entorno e localização de fontes de ruído.

Deste modo, as noções de tecido urbano aberto e fechado, de permeabilidade do tecido urbano e das edificações, de espessura de uma fachada, de efeito barreira e da capacidade dos materiais modificarem o campo sonoro, são de suma importância para a acústica urbana (CETUR, 1981), sendo abordados a seguir.

Convém observar que estes critérios relacionados a implantação são válidos para fontes de ruído urbano, incluindo os ruídos produzidos por equipamentos de apoio ao solo, mas não são eficazes para aqueles emitidos durante o sobrevôo de aeronaves, pois, neste caso, a fonte se movimenta no espaço aéreo e as intervenções no espaço urbano somente minimizam os ruídos advindos de fontes situadas próximas ao solo.

### **2.3.2. Elementos Urbanos**

Do ponto de vista da acústica urbana, cada lugar pode ser identificado por causar uma impressão sonora própria. Esta diferença percebida na sonoridade das diversas zonas do espaço urbano pode ser influenciada pela forma urbana e pela presença de uma série de elementos que causam efeitos sobre a propagação sonora, tais como a reflexão, a difração, a transmissão e a absorção sonora (CETUR, 1981). Assim sendo, a propagação sonora em meio urbano pode ser controlada quando os fenômenos acústicos em meio urbano são bem conhecidos e compreendidos.

A via, a rua, a quadra e o envelope da quadra são elementos característicos da ambiência sonora de uma cidade, a qual resulta de mecanismos simples de propagação sonora, os quais se superpõem, mesclam-se e interferem uns sobre os outros.

#### **2.3.2.1. A Via de circulação rodoviária**

É o espaço ocupado pela caixa de rolamento da rua. CETUR (1981) De acordo com a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (1996) existem três tipos de as vias:

- “Via arterial: permite ligações intra-urbanas, com média ou alta fluidez e baixa acessibilidade, apresentando relativa integração com o uso lindeiro”;
- Via coletora: recebe e distribui o tráfego proveniente das vias arteriais. Apresenta equilíbrio entre a fluidez e a acessibilidade, possibilitando sua integração com o uso do solo lindeiro;
- Via local: permite o acesso direto às áreas residenciais, comerciais e industriais. Apresenta baixa fluidez e alta acessibilidade, caracterizando-se pela intensa integração com o uso lindeiro”.(p.35, 1996)

Ressalta-se que o ruído emitido pode diferir segundo o tipo de via, pois as mesmas são concebidas visando atender a uma possibilidade de escoamento de veículos.

Assim, a geometria de uma via poderá determinar os tipos de veículos que nela circularão, bem como a sua velocidade de escoamento. Por exemplo, o desenvolvimento de velocidades elevadas requer a criação de amplos raios de curvatura, de mudanças de nível em cruzamentos e a ausência de semáforos.

É necessário conhecer o tipo de via para tratar adequadamente as construções existentes em seu entorno. Do mesmo modo, não se pode conceber uma via

desconsiderando as características geométricas do tecido que a cerca, sem provocar fortes impactos ambientais sobre o mesmo. (CETUR, 1981)

Esse assunto é abordado com profundidade, na Austrália, pela *Roads and Traffic authority of New South Wales* (2001) e, na França, pelo *Centre d'Etudes des transports Urbains* (1981).

#### **2.3.2.2. A Rua**

De acordo com CETUR (1981), rua<sup>25</sup> é todo o espaço situado entre os alinhamentos das fachadas existentes em ambos os lados da via, inclui a calçada e a caixa de rolamento. É o lugar geométrico onde se encontra a fonte sonora.

#### **2.3.2.3. A Quadra**

É a unidade contida entre as vias. Está para o receptor, assim como a rua está para a fonte. É a porção do espaço limítrofe ao local de emissão de ruído, sendo separada da zona de emissão por uma barreira que cria uma interrupção na propagação sonora.

A quadra é a ferramenta de análise da qualificação de espaços exteriores (pátios, jardins etc.), todavia a menor unidade passível de ser controlada a fim de proporcionar proteção aos espaços internos é a célula da edificação.

A quadra pode ser dividida em lotes, os quais podem apresentar várias formas de ocupação, tais como residencial, industrial, comercial, lazer, etc. O tipo de atividade nele desenvolvida poderá se caracterizar por criar pontos emissores de ruído no interior das quadras, caracterizando sua própria ambiência sonora.

#### **2.3.2.4. O Envelope da Quadra**

É constituído pelas fachadas das quadras circunvizinhas e as fontes de ruído presentes nas vias. É ao nível do envelope da quadra que a forma urbana pode ser considerada para modificar a propagação sonora (CETUR, 1981). Uma importante estratégia a ser considerada no controle do ruído urbano é a criação de pátios internos, dimensionados e projetados adequadamente. É para o interior desses pátios que os

---

<sup>25</sup> Segundo a Secretaria Municipal de Urbanismo do Rio de Janeiro (1996), as ruas, avenidas, alamedas, rodovias, alamedas, estradas e quase todos os espaços destinados ao trânsito público podem ser denominados genericamente como logradouro público.

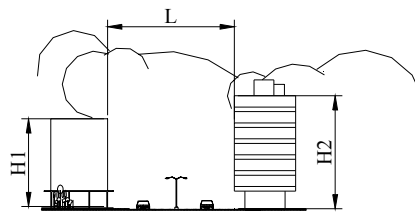
compartimentos mais sensíveis das edificações devem estar voltados, possibilitando a criação de um espaço privado e a delimitação de espaços públicos e semi-públicos, destinados aos veículos motorizados. Este partido possibilita a criação de um espaço de transição entre os ambientes calmos e ruidosos. (CETUR, 1978)

### 2.3.3. Tecidos abertos e fechados

O tecido urbano pode ser definido como aberto ou fechado. O tecido urbano é dito fechado quando é composto por ruas onde se concentram grandes números de edifícios altos uniformemente distribuídos em toda sua extensão.

Neste caso, o campo sonoro assemelha-se a um campo difuso, no qual a energia acústica é a mesma em todos os pontos e o nível sonoro não depende da distância à fonte (salvo quando se tratar de distâncias inferiores a 0,50 m), mas sim da sua potência e das características de absorção sonora do lugar (CETUR, 1981). O som emitido por uma fonte sonora se afasta dela, bate contra um obstáculo, retorna múltiplas vezes e se atenua lentamente.

Contudo, caso a relação entre a altura das edificações e a distância entre fachadas seja inferior a 0,2 ou caso haja um significativo espaço livre em torno da fonte, a propagação sonora será considerada semelhante àquela ocorrida em campo livre, onde não há reverberação importante. (Figura 2.3)



**Figura 2.3.** Se  $\frac{H1}{L} \geq 0,2$ , o campo reverberante é parcialmente difuso: Rua em “U”

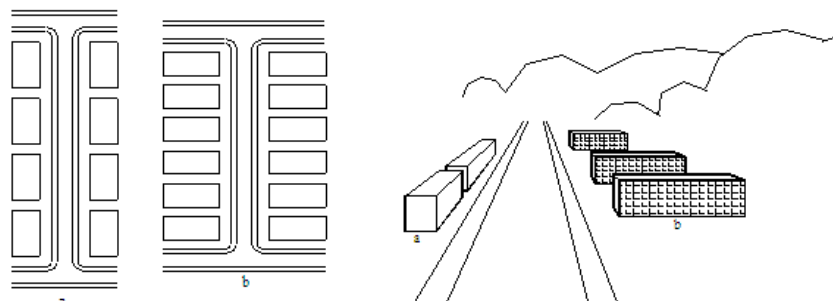
Assim sendo, considerando que em tecido aberto o campo sonoro é livre, não existem obstáculos entre o receptor e a fonte e o nível sonoro diminui conforme o receptor se afasta da fonte. O ruído é emitido e desaparece sem refletir sucessivamente. Ocorre um decaimento sonoro de 6 dB(A) a cada duplicação da distância quando a fonte é pontual e de 3 dB(A) quando a fonte é linear. (MEISSER, 1974; CETUR, 1981) Portanto, sempre que possível, convém tomar este fato como referência durante a implantação de edificações, afastando-as das fontes de ruído porventura existentes.

O campo acústico aberto ou fechado representa o ambiente no qual o campo acústico irá se estabelecer: campo livre para espaço aberto; campo difuso, ou parcialmente difuso, para espaço fechado. O fato de um tecido ser aberto ou fechado caracteriza a qualidade do tecido que irá conter os sons, não apresentando relação com o campo visual. Um tecido aberto pode ser tratado, aproximadamente, como um campo livre e um tecido fechado como um campo difuso. (CETUR, 1981)

#### 2.3.4. Permeabilidade

A noção de permeabilidade expressa a idéia de que alguns conjuntos de construção apresentam um maior ou menor número de aberturas que outros e que certos tipos de implantação favorecem mais ou e menos a propagação sonora.

Em tecidos fechados, é importante observar que, sendo o campo sonoro difuso, as reflexões nos planos das fachadas podem gerar reverberação, criando áreas muito ruidosas. Assim, a implantação paralela de edifícios altos cria uma zona de múltiplas reflexões. (BERENDT *et al*, 1976, CETUR, 1981, MENDEZ *et al*, 1994) Caso entre eles haja uma fonte sonora, o ruído emitido será amplificado (Figura 2.4).

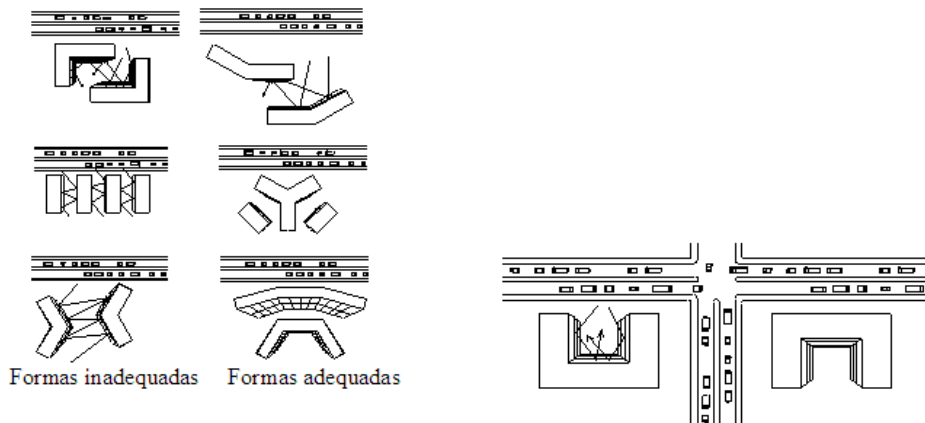


**Figura 2.4.** Formas básicas de implantação.

Além disso, supondo que existam duas implantações básicas de edificações com relação a uma determinada rua, uma paralela (situação a) e outra perpendicular (situação b), verifica-se que as edificações implantadas paralelamente à rua têm a fachada principal totalmente atingida pelo ruído de tráfego. Neste caso, os níveis sonoros são reforçados pelas reflexões nas fachadas, mas as fachadas opostas ficam protegidas (MENDEZ *et al*, 1994).

Quando uma ou várias edificações altas são implantadas perpendicularmente à rua, embora exista uma redução do nível sonoro devido às reflexões entre as fachadas principais, ambas as fachadas ficam expostas ao ruído proveniente da mesma. O ruído emitido na rua e nas unidades habitacionais de cada edifício ou em áreas comuns é amplificado pelas reflexões entre as fachadas laterais (MENDEZ *et al*, 1994).

Algumas formas de edificações tendem a ser mais reverberantes devido às reflexões provocadas nos planos das fachadas, principalmente quando estão voltadas para fontes sonoras. É o caso das formas em “U” e suas derivadas (CETUR, 1981; BERENDT, 1976). Neste caso, considera-se conveniente evitar a localização de estacionamentos, vias de tráfego intenso, áreas de lazer e outras fontes de ruído próximas às fachadas com tais formas (Figuras 2.5 e 2.6).



**Figura 2.5.** Reflexões em diferentes tipos de fachadas.

### 2.3.5. Espessura

Em um tecido fechado, o som atinge obstáculos encontrados durante a sua propagação. Esses obstáculos modificam a sua trajetória, fazendo-o refletir, difratar, ser transmitido ou absorvido. Assim, quanto maior for o número de obstáculos existente entre o som e o receptor, mais ele será atenuado, sendo criados dois espaços: um de forte exposição e outro de fraca exposição.

A espessura é todo elemento existente entre o exterior e o interior das construções ou da quadra, tais como pórticos, arcadas, corredores, caixas de escada etc. Constitui um espaço intermediário entre as áreas ruidosas e as áreas calmas, que atenua

o ruído exterior com uma certa progressividade, alongando o percurso das ondas sonoras através da difração e da absorção sonora (CETUR, 1981).

Assim, aumentar a espessura do envelope da quadra consiste em multiplicar os obstáculos encontrados pelo ruído e em obrigá-lo a percorrer um maior percurso. Portanto, pela introdução de pórticos, varandas, jardineiras, pátios e pela utilização de absorção sonora nestes espaços intermediários, pode-se modificar o espectro da frequência do ruído, protegendo os espaços internos. (CETUR, 1978) Além disso, pode-se inserir elementos nas fachadas das edificações que apresentem uma geometria que favoreça a atenuação dos ruídos pela difração.

### **2.3.6. A sonoridade e os materiais**

Quando o receptor e a fonte sonora estão em um mesmo lugar, a maneira pela qual um receptor percebe os sons emitidos depende dos materiais que revestem as superfícies próximas. Assim, se as superfícies forem revestidas com materiais absorventes, a percepção será muito diferente do caso onde o revestimento é reflexivo. Uma atenuação adequada pode ser obtida através da utilização cuidadosa de materiais absorventes e refletores. (BERANEK, 1971)

Os espaços ou tecidos fechados podem ser comparados a uma sala e, do mesmo modo que se pode moldar a ambiência sonora de uma sala de concertos, é possível agir sobre a sonoridade do meio urbano. A implantação de fontes, anteparos (refletores ou absorventes), árvores (absorventes) e o tratamento das fachadas pode modificar a ambiência sonora de um lugar, principalmente se este é um tecido urbano fechado (MENDEZ *et al.*, 1994).

### **2.3.7. Efeito barreira**

Barreira acústica é todo obstáculo que esteja localizado entre uma fonte sonora e um receptor. (RTA, 2001) Quando um elemento é introduzido entre a fonte e o receptor, surgem reflexões e o efeito barreira influencia a distribuição sonora. As ondas sonoras, de modo diferente dos raios de luz, curvam-se ou difratam, gerando zonas parciais de sombra acústica. (SCHULLER *et al.*, 1981)

O efeito barreira depende da posição de um receptor em relação a uma fonte sonora. Assim, para que o som emitido por uma fonte situada em um determinado ponto não atinja um receptor, a barreira deverá estar situada entre o receptor e a fonte e apresentar massa suficiente para isolar o som. A efetividade da atenuação sonora é aumentada quando a linha de visão entre a fonte sonora e o receptor é quebrada. Todavia, ela também depende da sua densidade, altura, comprimento e localização. Quanto mais alta for uma barreira (comparada à linha de visão direta da fonte ao receptor), maior será a atenuação sonora proporcionada. (RTA, 2001)

BERANEK(1971) menciona que paredes não porosas de massa suficiente (mínimo de  $20 \text{ Kg/m}^2$ ), se interpostas entre a fonte e o receptor, podem resultar numa redução de ruído satisfatória, porque, nesse caso, somente o som difratado atinge o ouvinte. A teoria base sobre a difração e barreiras acústicas é aquela proposta por Fresnel e abordada por diversos autores como BERANEK (1971), SCHULLER (1981), MENDEZ (1994), dentre outros.

Estas barreiras podem ser muros ou paredes, vegetações ou taludes dispostos entre uma construção e uma fonte de ruído externo como, por exemplo, uma auto-estrada (CETUR, 1981, MENDEZ *et al.*, 1994; BERENDT, 1976).



**Figura 2.6.** Edifícios-barreira.

O efeito barreira pode ser útil quando se deseja proteger áreas residenciais, dispondo edificações que abriguem atividades não sensíveis ao ruído, entre as habitações e as fontes sonoras (por exemplo, prédios comerciais altos que possam ser climatizados artificialmente). Também poderão servir como barreira os prédios residenciais desde que na fachada exposta ao ruído estejam apenas os compartimentos em que sejam desenvolvidas atividades menos sensíveis e os demais fiquem protegidos. (Figura 2.6)

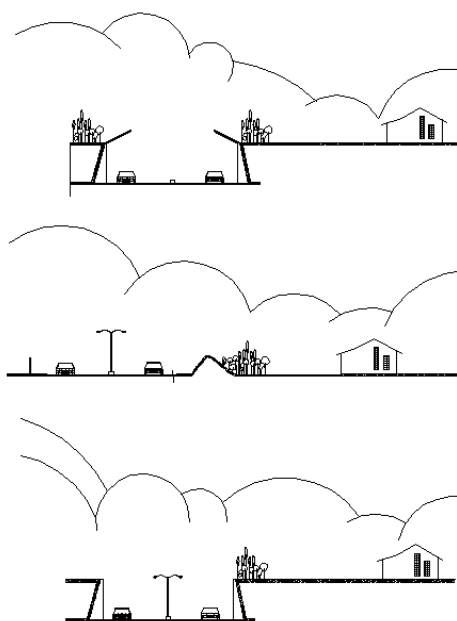


BERANEK (1971) comenta que a presença de edifícios situados entre uma auto-estrada e áreas residenciais produz uma atenuação entre 15 e 20 dB.

A Norma ISO 9613-2/1996 descreve um método para cálculo da atenuação sonora ocorrida quando uma fonte sonora ou um receptor ou ambos estão situados em uma região onde predominam casas, levando em consideração o efeito barreira, as reflexões e propagação entre casas.

Observa-se que, o gradiente do vento mencionado anteriormente poderá reduzir a eficiência da barreira, caso a direção do vento seja a mesma da propagação sonora. Para maiores detalhes veja BERANEK (1981).

De outro modo, pode-se tirar partido da implantação de vias em depressão ou elevação (Figura 2.7) para obter atenuação do ruído emitido por vias de tráfego rodoviário (RTA, 2001). Segundo BERANEK (1971) as depressões de cerca de 4 metros produzem uma atenuação de 7 a 10 dB(A) a qualquer distância da via. No caso de uma auto-estrada elevada, essa atenuação varia de 2 a 10 dB (A), em um faixa de 100 m da via. A partir de 100 m o ruído irradiado é o mesmo.



**Figura 2.7.** Via expressa em fundo de vale com barreiras acústicas, talude com vegetação e via expressa em fundo de vale. Fonte: MENDEZ, 1994.

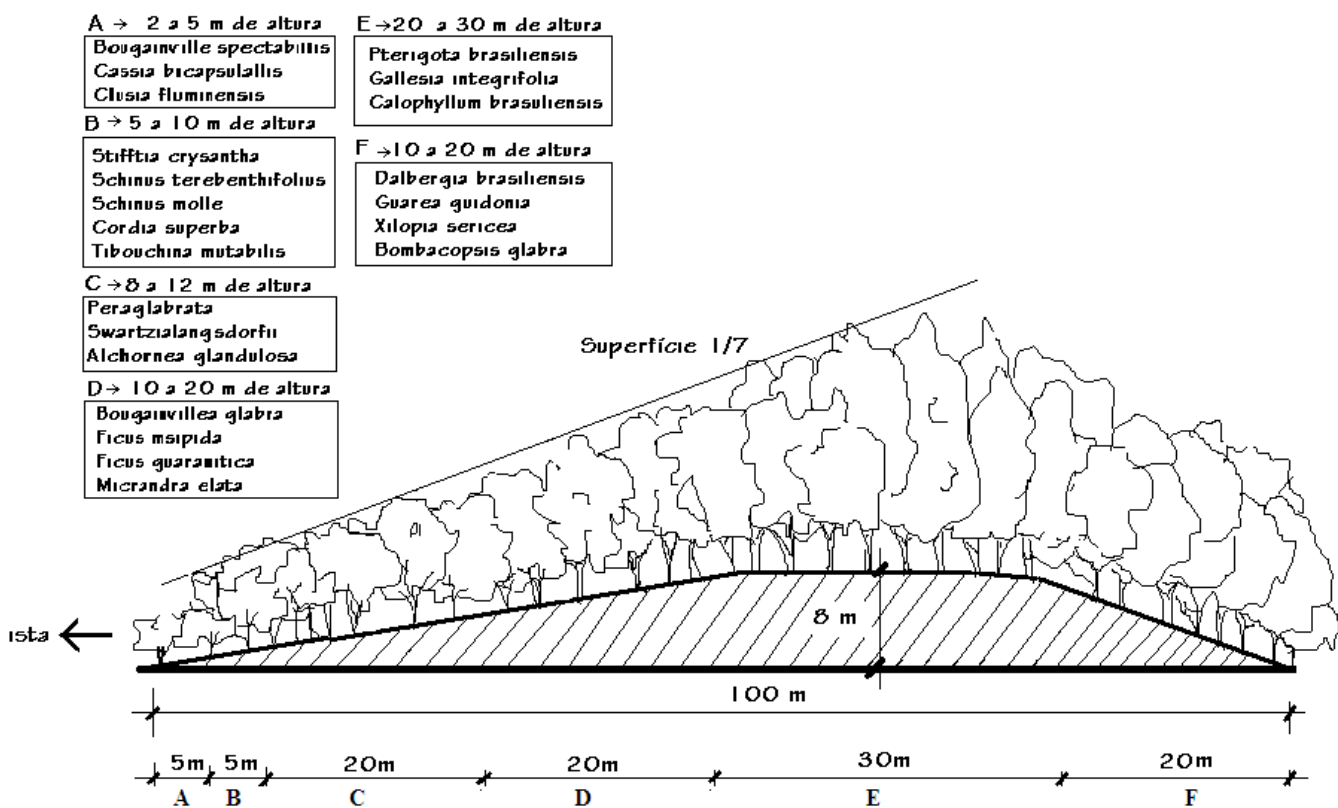
A OACI (em divulgação, 2005) recomenda a utilização de barreiras acústicas vegetais a fim de proteger determinadas áreas dos ruídos gerados pela atividade aeroportuária desenvolvida no solo. Dentre as várias configurações de barreiras vegetais

possíveis, considera que aquela apresentada na Figura 2.8 seja a mais adequada. A Figura 2.8 foi adaptada pelo paisagista Leonardo Almeida, considerando o clima da Cidade do Rio de Janeiro, em atenção à solicitação da autora.

O talude inclinado facilita o plantio da vegetação e melhora o efeito do isolamento sonoro, mesmo durante o período inicial, quando as árvores ainda não estão completamente crescidas, pois o talude já apresenta um significativo efeito barreira.

De acordo com a OACI (em divulgação, 2005), a atenuação sonora para uma massa vegetal de 100 m constituída de plantas não caducas (que se mantenham sempre verdes) é da ordem de 25 a 30 dB(A).

**LEGENDA**



**Figura 2.8.** Seção transversal de Barreira Vegetal.

Fonte: OACI (2004), adaptada ao clima tropical por Leonardo Almeida (2004).

Ressalta-se que a seleção da vegetação a ser utilizada deverá considerar espécies compatíveis com as condições climáticas do aeroporto, que tenham propriedades isolantes (folhas não caducas e densas, bem como crescimento rápido), não atraiam pássaros e sejam de fácil manutenção (não sejam facilmente afetadas por pragas e queimadas).

## Capítulo 3

### AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO (APO)

#### 3.1. A APO

A Avaliação Pós-Ocupação (APO) é um conjunto de métodos e técnicas aplicados visando avaliar ambiente construído após a sua ocupação. Segundo REIS *et al* (1995), é uma metodologia de avaliação de desempenho do ambiente construído<sup>26</sup> muito utilizada por pesquisadores da área ambiente-comportamento, visando aferir se o ambiente construído atende as funções para as quais foi destinado e se preenche as necessidades de seus usuários.

De acordo com ESHELMAN *et al* (1981), o foco principal da APO é a preocupação com a interação entre o ambiente e seus ocupantes, isto é, o modo no qual o ambiente físico pode modificar o comportamento de uma pessoa e como o comportamento pode modificar o ambiente construído. A avaliação dessa interação parte da visão do especialista, o qual faz uma leitura do ambiente construído e, através do uso de vários métodos e instrumentos, obtém a opinião do usuário.

Na APO, conforme mencionam ORNSTEIN *et al.*(1992); ELALI (1997) e RHEINGANTZ (2000), o ambiente construído passa por um processo de avaliação de desempenho semelhante ao de outros produtos industrializados, visando o seu controle de qualidade<sup>27</sup>. Esse controle é possível já que a ampla gama de informações geradas pela realização de APOs sistemáticas em ambientes construídos com características semelhantes permite, a curto prazo, detectar problemas e corrigi-los e, a longo prazo, obter subsídios para realimentar o processo de produção de novas edificações (PREISER, 1988).

A avaliação crítica e sistemática de espaços urbanos e arquitetônicos é um dos instrumentos de apoio à tomada de decisão, podendo auxiliar na proposição de

---

<sup>26</sup> Neste caso, entende-se ambiente construído como qualquer espaço aberto ou fechado que tenha sido edificado pelo homem visando o desenvolvimento de suas atividades. Assim, poderá ser um edifício, um conjunto de edifícios, um trecho de um bairro, uma cidade etc.

<sup>27</sup> Considera-se aqui qualidade como “a aptidão de um determinado produto satisfazer, no presente e no futuro, seus usuários” (ORNSTEIN *et al*, 1992).

recomendações físicas ou relacionadas ao planejamento de empresas ou espaços urbanos. Assim, poderá ser um instrumento de planejamento estratégico e incremento da produtividade de empreendimentos ou auxiliar no planejamento das cidades, buscando o desenvolvimento urbano sustentável, onde a qualidade de vida é a principal variável.

KERNOHAN *et al.* (1996) salientam que as APOs são ricas fontes de dados sobre pessoas, organizações e edifícios, fornecendo múltiplos benefícios por promoverem ações na esfera física e social, tanto a curto como a longo prazo. Ressaltam, ainda, que os benefícios de curto prazo se referem ao próprio objeto de avaliação e os de longo prazo, a ambientes similares que serão construídos futuramente, também auxiliando no processo de tomada de decisão. Os autores citam vários casos onde foram obtidos ganhos físicos e sociais importantes devidos à colaboração social fomentada pela APO, os quais foram reconhecidos por tomadores de decisão.

Todavia, conforme menciona FRIEDMAN (1978), esta metodologia não consiste simplesmente numa coleção de impressões intuitivas ou subjetivas de observadores casuais, mas envolve uma abordagem cuidadosa e sistemática, onde cada grupo de usuário deve ser representado e cada elemento importante do projeto deve ser examinado. Em geral, conforme será abordado posteriormente, a APO é enriquecida pela utilização de mais de um método de coleta de dados permitindo cruzar informações e obter resultados confiáveis.

### **3.2. ORIGENS DA APO**

A APO surgiu após a II Guerra Mundial, quando houve um gradual desenvolvimento das ciências sociais, com vistas a aprofundar o conhecimento das relações humanas e as interações do homem com o ambiente construído (PREISER, 1988).

As primeiras pesquisas sobre as relações ambiente-comportamento surgiram como um movimento interdisciplinar que se desenvolveu a partir dos trabalhos realizados por Barker, Hall, Lynch, Sommer e Alexander (BECHTEL, 1997). A princípio, a psicologia buscava nesses estudos ampliar seu campo de atuação e conhecer melhor a realidade através de um enfoque mais ecológico e humanamente coerente (ELALI, 1997).

No campo da arquitetura, percebeu-se a importância de criar ambientes adequados às necessidades humanas. Assim, os profissionais ligados ao projeto foram buscar na realização de pesquisas interdisciplinares, das quais faziam parte a psicologia, a antropologia e a sociologia, elementos que pudessem auxiliar na elaboração de projetos arquitetônicos (REIS *et al.*, 1995).

PREISER *et al* (1988) reportam aos anos 60 o despontar de associações de profissionais interdisciplinares, tais como a “Environmental Design Research Association”, em 1968, cujos membros eram arquitetos, planejadores, psicólogos, sociólogos, antropólogos e geógrafos.

Uma convenção proposta pelo “*American Institute of Architects (AIA)*” originou uma agenda para a pesquisa básica em arquitetura, cujo propósito era incluir resultados das ciências sociais e biológicas no projeto de edifícios. Desta forma, as pesquisas no campo ambiente-comportamento foram ampliadas, surgindo a Avaliação Pós-Ocupação (APO) (BECHTEL, 1997). Assim, a APO surgiu a partir do desenvolvimento metodológico das pesquisas relativas ao ambiente e o comportamento humano.

A APO teve como precursores os pesquisadores Barker e Wright, os quais fundaram o Centro de Pesquisas “*Midwest Psychological Field Station*”, associado à *University of Kansas*, EUA. Este centro se dedicava a estudos sobre as relações entre o ambiente construído e o comportamento de crianças (PREISER, 1988). Inicialmente, a APO assumiu diversas denominações. No fim dos anos 70, o termo Avaliação Pós-Ocupação se solidificou e passou a indicar uma tentativa de medir se o projeto de um edifício era adequado às necessidades dos ocupantes (BECHTEL, 1997).

Nos anos 60, as APOs foram desenvolvidas nos EUA, na Europa e Japão como uma resposta às exigências dos usuários aos problemas relativos aos processos de fabricação de edificações em larga escala iniciado no pós-guerra, quando foi necessário reconstruir rapidamente diversas cidades, sendo implantados grandes conjuntos habitacionais (sobretudo na Europa) (UALFRIDO *et al.*, 1989, ORNSTEIN *et al.*, 1992).

PREISER *et al* (1988) mencionam que, nos anos 60, problemas observados no ambiente construído, sobretudo em alojamentos de estudantes, hospitais e prisões,

despertaram o interesse em avaliar a saúde, a segurança e os efeitos psicológicos dos edifícios sobre seus usuários.

As primeiras APOs apresentaram um caráter predominantemente comportamental, mas demonstraram que havia uma grande complexidade envolvida no processo de avaliação, induzindo a realização de APOs mais amplas na década de 70 (ORNSTEIN *et al.*, 1992).

Várias pesquisas iniciadas nos fins dos anos 60 foram publicadas na década de 70. Alguns desses trabalhos foram conduzidos na área de desenho hospitalar, em parceria entre arquitetos e médicos (PREISER *et al.*, 1988).

Os anos 70 foram palco de um considerável aumento no emprego da APO como fonte de conhecimento sobre o ambiente construído e seus usuários, passando a incorporar aspectos técnicos e funcionais. Realizaram-se estudos em múltiplos edifícios para obtenção de dados e aplicação de análises comparativas (REIS *et al.*, 1995).

Nos EUA, a APO ganhou espaço junto aos órgãos públicos e passou a enfatizar métodos de triangulação de dados coletados em vistorias, entrevistas e observações sistemáticas, mapeamentos comportamentais e registros fotográficos (PREISER *et al.*, 1988).

As pesquisas desenvolvidas nessa época indicaram pontos positivos e negativos dos projetos em avaliação, abrangendo aspectos relacionados à paisagem, a cor, a provisão de acessos de pedestres, a funcionalidade e a adequação dos espaços ao uso.

Assim, as APOs passaram a incorporar uma abordagem rigorosa, na qual cada grupo de usuário deveria ser representado e cada elemento importante do projeto deveria ser examinado, sem, contudo, desconsiderar a visão individual dos avaliadores. As avaliações eram pautadas em técnicas confiáveis e incluíam todos os elementos relevantes: processo de projeto, contexto histórico-social e contexto ambiental, abrangendo aspectos relacionados à saúde, segurança, requerimentos funcionais, iluminação, acústica, conforto térmico, preocupações com o conforto psicológico e satisfação dos usuários.

Já na década de 80, a APO passou a constituir uma área de atuação profissional (REIS *et al.*, 1995). Passou a ser praticada, como atividade rotineira, tanto nos setores

públicos como nos privados, abordando múltiplos aspectos do edifício. Os anos 80 foram marcados por significativos avanços no quadro teórico, metodológico e estratégico de aplicação da APO (PREISER *et al*, 1988).

Hoje, nos países desenvolvidos, as APOs são freqüentes não apenas nos meios acadêmicos, mas como serviços de consultoria realizados sistematicamente durante o processo de manutenção e uso dos ambientes construídos, sejam estas edificações, bairros, cidades etc<sup>28</sup>, como um instrumento necessário ao controle de qualidade.

Um exemplo da sua aplicação em consultoria, é o trabalho realizado nos EUA, em 1994, no qual “*Bassetti Architects*”, visando obter subsídios para a elaboração do projeto de outra edificação com função similar, realizaram uma APO em *Marta Lake Elementary School*, cujo resultado serviu para uma melhor compreensão do programa da escola e para permitir o desenvolvimento de um projeto adequado ao desempenho das atividades e objetivos nele previstos (Disponível em: <http://www.newhorizons.org>, Acesso em 2001).

Nos EUA, Alemanha, Inglaterra, Suécia, Japão e Austrália, esta metodologia tem sido empregada segundo critérios científicos rigorosos durante toda a vida útil de ambientes construídos, gerando amplo conhecimento sobre as suas relações com seus usuários.

Objetiva-se, através das APOs, verificar a adequação do ambiente construído ao desenvolvimento de atividades e detectar problemas relacionados à economia de energia, a condições de conforto térmico, acústico e visual, à eficiência energética, ao atendimento a parâmetros ergonômicos e àqueles relacionados à integridade de edifícios (MILL *et al.*, 1986).

As APOs têm sido freqüentemente realizadas, em ambientes onde o conforto ambiental é um fator importante para a produtividade (escritórios, escolas e hospitais). Trabalhos como o de SANOFF (1977) se destacaram ao longo dos anos nas avaliações de ambientes escolares.

---

<sup>28</sup> REIS *et al* (1995) ressaltam que qualquer ambiente construído pode ser objeto de uma APO, sejam espaços fechados destinados à moradia, lazer, trabalho, ensino, saúde etc. ou espaços abertos públicos, semi-públicos, cidades ou regiões.

No Brasil, segundo ORNSTEIN *et al.* (1992), as pesquisas voltadas para o controle de qualidade de ambientes construídos durante a fase de uso, operação e manutenção se encontram cerca de 30 anos defasadas em relação aos países do primeiro mundo. Entre 1975 e o ano 2000, a APO passou por um processo de consolidação do conhecimento. Na década de 90 se multiplicaram os estudos de caso e, no novo milênio, as preocupações com a gestão da qualidade se ampliaram e a APO passou a ter novas aplicações. Hoje, APO vem conquistando seu espaço. Têm sido desenvolvida em ambientes de escritório, em escolas, habitações, hospitais etc, objetivando avaliar as condições psicológicas e ambientais proporcionadas pelo ambiente construído, tendo em vista a economia de energia, privacidade, conforto térmico, acústico e visual, capacidade de permitir adaptações espaciais e tecnológicas etc.

### **3.3. A TEORIA DOS SISTEMAS NEBULOSOS E A APO**

A Teoria de Sistemas Nebulosos é um conjunto de teorias e metodologias que permitem processar informações vagas e indeterminadas CHENG (2001). Surgiu como uma alternativa para complementar as abordagens determinísticas e probabilísticas, as quais são baseadas na lógica binária.

CHENG (2001) menciona que a Teoria de Sistemas Nebulosos é constituída por *Teoria dos Conjuntos Nebulosos, Inferência Nebulosa e Medida Nebulosa*.

A *Teoria dos Conjuntos Nebulosos* é uma generalização da teoria de conjuntos convencional que, em 1965, foi introduzida por Lofti A. Zadeh como um modo de representar as incertezas da vida diária (BEZDEK, 1993). De acordo com CHENG (2001), a *Teoria de Conjuntos Nebulosos* é uma teoria matemática utilizada para o tratamento racional e quantitativo da vagueza e da subjetividade que surgem das descrições qualitativas dos sistemas.

A *Inferência Nebulosa* (ou *Inferência Aproximada* ou *Lógica Nebulosa*) consiste no processo de dedução lógica que ocorre na nossa vida cotidiana, o qual é dotado de informações nebulosas. Ela vem sendo tão difundida ao longo dos anos, que diversos autores a tem tratado como um sinônimo da *Teoria de Sistemas Nebulosos*.

Segundo CHENG (2001), o conceito de *Medida Nebulosa* é uma extensão do conceito clássico de medida, tendo sido introduzido por Sugeno, em 1972, a fim de



considerar a subjetividade humana envolvida nos processos de avaliação e de criar uma escala para a “vagueza” do objeto a ser avaliado.

Inicialmente muito criticada, a Teoria de Sistemas Nebulosos hoje é considerada uma ferramenta indispensável à modelagem da linguagem natural e de processos de raciocínio impreciso e subjetivo. HAMDI *et al* (1999) mencionam que, dentre os possíveis campos de aplicação da Teoria de Sistemas Nebulosos, o principal é a construção dos sistemas *fuzzy*. De acordo com os autores, esses sistemas são capazes de representar adequadamente uma função real, permitindo encontrar melhores resultados do que os modelos convencionais, principalmente quando as informações processadas são de natureza inexata e incerta.

A principal vantagem da aplicação da Teoria de Sistemas Nebulosos é que ela permite efetuar a fusão de informações de natureza diferente para resolver um problema complexo. Assim sendo, torna possível empregar todas as informações úteis na modelagem *fuzzy* de aspectos qualitativos do raciocínio e conhecimento humano, através da criação de regras lingüísticas, baseadas na experiência do pesquisador. (HAMDI *et al*, 1999).

Outrossim, BEZDEK (1993) afirma que as interpretações *fuzzy* de estruturas de dados são um modo muito natural e intuitivamente plausível para formular e resolver vários problemas.

No Brasil, a Teoria de Sistemas Nebulosos tem sido utilizada por vários autores em avaliações relacionadas ao conforto ambiental (como, por exemplo, em: HARRIS *et al* (2001); CHENG *et al* (2001) e na avaliação da performance global de edifícios (RHEINGANTZ, 2000)).

No presente trabalho a Teoria de Sistemas Nebulosos é empregada como uma ferramenta de auxílio à análise e interpretação de dados obtidos a partir da APO Acústica efetuada em uma área urbana próxima a um pequeno aeroporto. É realizada a decomposição do sistema ambiente sonoro em subsistemas *fuzzy* (Ambiente Urbano, Funcional, Físico e Comportamental). Esses subsistemas irão fornecer informações parciais e globais do ambiente sonoro, conforme será abordado posteriormente.

Em resumo, três aspectos básicos justificam o emprego da Teoria de Sistemas Nebulosos na análise de dados da APO:

a) A APO é uma metodologia de investigação dos sistemas arquitetônico e urbano, os quais são sistemas complexos, e a Teoria de Sistemas Nebulosos tem habilidade de lidar com conceitos complexos e polimorfos, conforme afirmam PHILLIS *et al.*(2000).

b) A Teoria de Sistemas Nebulosos fornece ferramentas matemáticas para lidar com conceitos e raciocínios ambíguos e, finalmente, dar respostas concretas (*'crisp'* como são chamadas) para problemas repletos de subjetividade (PHILLIS *et al.*, 2000). A Avaliação Pós-Ocupação do ambiente construído (aberto ou não), é de fato bastante subjetiva. O que parece adequado para um indivíduo pode não ser para outro e vice-versa.

c) A Teoria de Sistemas Nebulosos utiliza variáveis lingüísticas<sup>29</sup> (ZADEH, 1973). Quando é dada uma abordagem quantitativa à tabulação de questionários, bem como a aspectos relativos à satisfação do usuário, há fatores difíceis de se quantificar (por serem expressos por variáveis lingüísticas do tipo: Confortável, Muito Confortável, Moderadamente Confortável etc.).

A seguir, serão apresentados os métodos de coleta de dados comuns em APO e, posteriormente, a aplicação da Teoria de Sistema Nebulosos será introduzida na análise e interpretação de dados obtidos a partir da APO.

### **3.3.1. A Coleta de Dados**

A APO tem início na coleta de todos os dados e informações necessárias ao desenvolvimento de um plano de trabalho, os quais deverão posteriormente ser organizados, tratados, analisados e interpretados, a fim de possibilitar a realização de um diagnóstico do ambiente construído e a proposição de recomendações.

De acordo com TOBAR *et al.*, "os objetivos de uma pesquisa serão alcançados com a coleta, o tratamento e, posteriormente, com a interpretação de dados". (2002, p.105) Todavia, para que os resultados alcançados sejam confiáveis, o controle de qualidade na coleta de dados é essencial. Deve-se, portanto, estabelecer procedimentos

---

<sup>29</sup> Variáveis lingüísticas são aquelas cujos valores são sentenças em uma linguagem natural (ZADEH, 1973). Têm como principal função proporcionar um meio sistemático de caracterizar aproximadamente fenômenos complexos ou mal definidos. Variáveis *fuzzy* são aquelas cujos valores são rótulos de conjuntos *fuzzy*. A relação entre duas variáveis  $x$  e  $y$  pode ser caracterizada como um conjunto de afirmações condicionais da forma se A então B, onde A e B são rótulos de conjuntos "*fuzzy*", representando valores de  $x$  e  $y$ , respectivamente.

para assegurar consistência e confiabilidade nos resultados do trabalho.(PREISER, 1988)

De modo geral, as informações necessárias ao início do trabalho dependem do tipo de ambiente construído a ser avaliado. No caso de espaços urbanos, a APO requer que se proceda ao levantamento do número de usuários, legislações, normas, códigos e especificações técnicas referentes ao objeto de estudo, do Plano de Estruturação Urbana da região objeto de estudo, de Planos Diretores e de suas plantas cadastrais. Também é importante verificar a existência de planos anteriores, localizar as atividades desenvolvidas na região, conhecer o mobiliário urbano e buscar informações sobre a previsão de usos futuros.

Em cada etapa da APO, cabe ao avaliador ter em vista os objetivos de seu trabalho, sem negligenciar sua possível relação com outros aspectos que influenciam o desempenho do ambiente construído. Exemplificando, se a APO é realizada com o objetivo de avaliar conforto ambiental, economia de energia ou ergonomia, o avaliador deve buscar nos aspectos construtivos, funcionais, comportamentais e físicos, informações que lhe permitam traçar um diagnóstico preciso.

Além disso, na APO, o pesquisador (avaliador) necessita compreender principalmente as relações entre o usuário e o ambiente construído. Deste modo, é necessário compreender as cosmovisões do usuário. *Compreender*, conforme afirmam TOBAR *et al* "é tentar reconstruir na consciência do pesquisador a consciência do outro, do pesquisado" (2002, p. 126). E, conforme os autores completam, para compreender, deverá haver algum intercâmbio, alguma interação entre esses dois elementos.

Buscando esse intercâmbio, a APO se utiliza de diversos métodos de coleta de dados, sendo alguns deles descritos a seguir.

### **3.3.1.1. Métodos de coleta de dados utilizados em APO**

As discussões em torno das vantagens e desvantagens dos diferentes métodos de coleta de dados têm conduzido à busca de respostas em diferentes fontes e técnicas. Na APO, tal procedimento contribui para o seu enriquecimento e permite obter resultados

que contemplam uma análise global da realidade, evitando distorções no resultado final (MILL, *et al*, 1986; ELALI, 1997).

O exame de diversas fontes de informação, separadamente ou juntas, como um sistema, tem sido sugerido por diversos autores. Resultados de uma pesquisa realizada por BROWN *et al* (1997) apontam para a importância da triangulação de resultados obtidos através de diversos métodos, para avaliar questões relativas ao incômodo e à adequação de espaços, pois podem revelar possíveis discrepâncias entre os métodos, aumentando a confiabilidade<sup>30</sup> dos resultados obtidos e a validação da pesquisa.

Os métodos de coleta de dados podem ser qualitativos e quantitativos. Conforme salientam TOBAR *et al* (2002), ambos são válidos e não antagônicos. Contudo, cabe observar que os requisitos fundamentais para a escolha do método mais apropriado são a confiabilidade e validade. O emprego do método qualitativo é conveniente quando o pesquisador não está familiarizado com o objeto de pesquisa, necessitando esclarecer fatos e obter explicações mais profundas sobre aspectos particulares. O método quantitativo é útil quando o objeto de estudo é bem definido.

Nos trabalhos de avaliação do ambiente construído, os métodos atualmente mais utilizados são os de levantamento de arquivos, observações de comportamento e de traços físicos, simulações, medições, entrevistas e questionários. Através desses métodos os mais variados aspectos do ambiente construído podem ser avaliados, seja em conjunto ou com um objetivo específico.

#### ***3.3.1.1.a. Métodos de levantamentos de arquivos***

Consistem no levantamento de todas as informações relevantes para o início dos trabalhos, tais como histórico do projeto original, projetos de modificação e transformação de uso, projetos de instalações, planos diretores, etc.

#### ***3.3.1.1.b. Observações de comportamento e de traços físicos***

A observação pode ser utilizada para compreender o comportamento das pessoas no ambiente, pois a interação entre as pessoas e o ambiente pode deixar evidências

---

<sup>30</sup> TOBAR *et al* (2002) ressaltam que "*confiabilidade* significa conseguir exatidão nas medições" e *validade* é o grau em que um instrumento consegue medir o que pretende" (p. 113)

físicas. Através da observação dessas evidências, pode-se descobrir fatos adicionais. (SANOFF, 1977)

A observação sistemática dos problemas a serem pesquisados é aquela realizada com uma atitude investigativa, baseada em uma hipótese. Consiste na avaliação visual do ambiente construído (REIS *et al.*, 1995). É utilizada para aferir aspectos qualitativos e ajudam o pesquisador a compreender a realidade e a perceber possíveis problemas a serem investigados em entrevistas e questionários. Em situações complexas, elas indicam caminhos que levam a desvendar problemas, permitem entender sentimentos pessoais e fornecer esclarecimentos essenciais para a pesquisa.

Todavia, exigem do pesquisador um envolvimento pessoal, treinamento e sensibilidade, para que ele descubra nas evidências comuns aspectos relevantes para o seu trabalho (ZEISEL, 1981).

Observar o comportamento, segundo ZEISEL (1981), significa observar sistematicamente como as pessoas usam seus ambientes. Isto gera dados sobre as atividades das pessoas e as relações necessárias para sustentá-las, sobre as expectativas de utilização e limitações que os ambientes oferecem.

De acordo com REIS *et al* (1995), *as observações do comportamento* consistem na verificação sistemática das atividades desenvolvidas no ambiente construído e da sua adequação ao desenvolvimento das mesmas, nas adaptações introduzidas visando sua adequação ao uso e na observação das interferências no comportamento.

Os métodos de observação podem focar o comportamento do usuário e o ambiente físico, de modo que haja ou não participação do observador no desenvolvimento das atividades. Entretanto, cada tipo de observação apresenta vantagens e desvantagens. A opção assumida depende do problema enfocado na pesquisa, do tempo útil disponível e da habilidade do observador (ZEISEL, 1996). Observar exige do pesquisador uma certa imparcialidade, sensibilidade e organização na realização dos registros efetuados.

As observações participativas, se bem planejadas, fornecem maior gama de informações. Quando o observador executa seu trabalho a uma certa distância, sem participar das atividades, aspectos importantes podem ser negligenciados. Contudo, convém destacar que quando indivíduos percebem que estão sendo observados como

parte de um experimento, freqüentemente mudam seu modo de agir. Para minimizar esse efeito, algumas técnicas podem ser empregadas. O observador pode se infiltrar entre os usuários e fingir ser um usuário comum ou pode lhes explicar o objetivo de seu trabalho e permanecer no ambiente o tempo suficiente para que as pessoas se habituem a sua presença. Observa-se que, ainda assim, a presença do observador poderia interferir nos resultados. Deste modo, seria importante registrar as situações em que considera que a desconfiança do usuário poderia alterar seu comportamento (ZEISEL, 1996).

As *análises dos traços físicos* consistem na busca de evidências físicas do comportamento do usuário. Este método concentra-se nos procedimentos dos usuários no ambiente construído, visando adaptá-lo as suas necessidades pessoais (uso de cortinas ou de agasalhos, inserção de compensados de madeira em saídas de dutos de ar condicionado, fala em voz alta ou murmurando etc.). A partir desse procedimento, é possível inferir sobre questões importantes a serem investigadas, bem como até que ponto o ambiente construído atende às necessidades do usuário (REIS *et al.*, 1995).

Entre os métodos de observação existentes convém citar o “*walkthrough*”, os registros fotográficos e físicos, filmagens, as anotações em cadernetas, os “*checklists*”, os mapas cognitivos, mapas comportamentais e a análise de traços físicos.

### **“Walkthrough”**

Consiste em caminhar pelo ambiente construído observando pontos que suscitaram interesse durante as reuniões iniciais com pessoas-chave. Esta avaliação se utiliza da observação direta, de registros fotográficos ou de filmagens e de anotações em planta ou em caderneta para registrar atributos que podem requerer especial atenção (PREISER, 1988). Antes do “*walkthrough*” é necessário reunir a equipe que participará da APO para discutir os procedimentos a serem adotados (KERNOHAN *et al.*, 1996). Uma vez finalizado o “*walkthrough*” a equipe deve se reunir novamente para discutir resultados e prever novas ações.

### **Registros fotográficos e filmagens**

São úteis para registrar informações, permitindo que os pesquisadores, a qualquer momento, esclareçam eventuais dúvidas surgidas sem ter de retornar

prontamente ao local. Todavia, dependem da autorização dos indivíduos envolvidos e podem criar uma certa inibição.

### **Levantamentos físicos**

São métodos quantitativos através dos quais podem ser obtidas medidas de nível sonoro, temperatura, iluminação, dimensionamento etc. Podem ser complementados por simulações com programas específicos. Estes métodos visam avaliar o desempenho do ambiente construído, através da comparação dos resultados obtidos com critérios de referência, tais como legislações, normas etc. (PREISER, 1988)

### **Anotações em cadernetas**

Anotações realizadas pelo próprio pesquisador ou por usuários do ambiente construído de aspectos importantes percebidos durante um certo período de tempo.

### **Os “checklists”**

Os “*checklists*” são métodos de controle de informação utilizados principalmente quando operações são repetidas ou habituais (SANOFF, 1977). São elaborados com base em uma observação prévia e na criação de um plano de trabalho, de modo que o pesquisador já tenha definido como ele irá utilizar as informações resultantes. A elaboração de um “*checklist*” pré-codificado fornece dados quantitativos (ZEISEL, 1981).

### **Mapa Cognitivo ou Mental**

Empenha especial ênfase à linguagem gráfica. Neste método o usuário descreve e desenha os ambientes. Esse procedimento poderá fornecer dados ricos em informações, mas de difícil codificação. Outrossim, poderá haver inibição das pessoas solicitadas a desenhar, prejudicando o resultado desejado (ELALI, 1997). Esse método é adequado para aplicação em crianças, deficientes mentais e analfabetos.(ORNSTEIN *et al.*, 1992).

### **Mapeamento Comportamental**

Consiste em registrar o comportamento das pessoas e atividades observadas e localizá-las em plantas ou mapas, de modo a verificar como os espaços estão sendo utilizados e se os mesmos estão atendendo às funções a que se destinam. Um mapa comportamental mostra a localização de uma pessoa em um ambiente aberto ou

fechado. SANOFF define o mapeamento comportamental como "um modo de olhar o que as pessoas fazem em um determinado ambiente" (1977, p.38). Este método relaciona o ambiente e o comportamento em função do tempo. Podem ser feitos vários mapas, em diversos intervalos de tempo, a fim de compará-los. O observador poderá focar sua atenção no usuário ou no ambiente construído, sistematizando informações obtidas intuitivamente. Os resultados decorrentes da utilização desse método são de fácil compreensão por leigos, porém a sua organização requer habilidade. Além disso, demanda disponibilidade de tempo e treinamento da equipe que irá aplicá-lo (ELALI, 1997).

### **3.3.1.1.c. Entrevista**

É outro método empregado para aferir aspectos qualitativos relacionados ao espaço, à acuidade visual, ao conforto térmico e acústico, à qualidade do ar, à integridade e à degradação do edifício. PREISER (1988) recomenda a utilização deste método com pessoas previamente selecionadas as quais são familiarizadas com o ambiente objeto de avaliação. Consiste num importante instrumento para a compreensão de aspectos comportamentais e sociais, devendo ser utilizada quando se deseja reconstruir o sentido subjetivo (SINGLY, 1992).

A entrevista tem basicamente como objetivo descobrir o que as pessoas pensam e sabem sobre o mundo ao seu redor. Pode ser classificada como:

#### **Livre ou não estruturada**

As entrevistas livres não apresentam uma estrutura pré-definida. Segundo SANOFF (1977), são úteis por permitirem o surgimento de dados essenciais ao desenvolvimento da pesquisa. TOBAR *et al* (2002) acrescentam que este estilo de entrevista pode ajudar a descobrir problemas relevantes e definições apropriadas sobre os termos que serão utilizados em entrevistas semi-estruturadas e questionários. O respondente é encorajado a responder livremente sobre o objeto de estudo. Estes autores afirmam que:

"Nesse método, pode-se utilizar algum tipo de listagem de temas como agenda, mas há um controle mínimo sobre a ordem que os temas serão abordados e sobre as respostas dos entrevistados. Nem as perguntas específicas a serem feitas, nem a gama de possíveis respostas estão predefinidas." (2002, p. 100)



A entrevista livre é basicamente uma conversa cujo objetivo é extrair do informante suas idéias e conceitos, deixando-o livre para se expressar com seu próprio vocabulário, sem possíveis interferências do entrevistador. Infelizmente, é difícil sistematizar e analisar os dados resultantes deste estilo de entrevista.

### **Semi-estruturada**

A entrevista semi-estruturada é parcialmente direcionada, de modo a evitar a dispersão de informações. De acordo com TOBAR *et al*, "são baseadas no uso de um roteiro no qual consta uma lista de perguntas ou temas que necessitam ser abordados durante as mesmas" (2002: p.101).

Assim como as entrevistas livres, as entrevistas semi-estruturadas permitem o surgimento de dados essenciais ao desenvolvimento da pesquisa (SANOFF, 1977). O uso do roteiro, ajuda a direcionar a entrevista, mas tudo é realizado de modo flexível, permitindo ao pesquisador e ao informante encontrar ou seguir novas pistas. (D'OLIVEIRA, 1984, TOBAR *et al*, 2002) Além disso, os dados obtidos por meio desses tipos de entrevistas são mais fáceis de sistematizar e analisar.

### **Estruturadas ou sistemáticas**

As entrevistas estruturadas ou sistemáticas são baseadas em questões fixas e direcionadas, possibilitando o aprofundamento de informações específicas. Reduzem o tempo necessário para sua aplicação e a dispersão de informações obtidas (ELALI, 1997). A cada informante da amostra são feitas as mesmas perguntas, de modo a produzirem dados numéricos e quantificáveis. Todavia, também podem ser enquadradas como métodos qualitativos de coleta de dados por ajudarem a descrever e analisar a cultura e a conduta de informantes. (TOBAR *et al*, 2002).

Em geral, as entrevistas devem ser realizadas com pessoas-chave antes do início dos trabalhos, visando obter subsídios para a elaboração do plano de trabalho. A sua utilização requer o treinamento da equipe que irá aplicá-la. Também é necessário definir os seus objetivos e a forma pela qual os entrevistados serão abordados. Poderão ser aplicadas pessoalmente ou por telefone.

A gravação das entrevistas é útil, pois permite esclarecer dúvidas surgidas posteriormente. Todavia, deve ser acompanhada de anotações, pois caso haja dano no

equipamento, as informações não estarão totalmente perdidas. Além disso, as gravações podem causar constrangimento ao entrevistado.

#### **3.1.1.1.d. Questionários**

São excelentes ferramentas para a explicação do sentido objetivo das condutas humanas quando se estabelecem cruzamentos com determinantes sociais. A pesquisa por questionário extrai o indivíduo do seu contexto social. Através dos questionários são selecionados, no mundo real, os elementos pertencentes ao objeto de estudo e os fatores sociais que podem interferir nos resultados obtidos. Assim sendo, pode-se distinguir o objeto real da imagem que o indivíduo deseja passar de si mesmo para a sociedade, com base em suas respostas (SIGLY, 1992).

Ambos, questionários e entrevistas objetivam representar a realidade. Porém, para isso é necessário distinguir elementos considerados pertinentes, eliminar elementos julgados secundários e eleger um elemento central a ser desvendado.

#### **Elaboração de questionários**

A elaboração de questionários requer disponibilidade de tempo. O conteúdo das questões é o foco em torno do qual o questionário deve ser desenvolvido (SANOFF, 1977). As questões devem ser claras, não possibilitando interpretações duplas e distorções (D'OLIVEIRA, 1984). Para cada ambiente construído pode ser necessário elaborar um questionário específico, de modo que sejam observadas as peculiaridades locais. Além disso, é necessária a realização de um "pré-teste" dos questionários, para que as falhas observadas durante a sua aplicação sejam corrigidas e as questões sejam ajustadas.

A adequada elaboração de um questionário requer um conhecimento conceitual profundo do objeto da pesquisa e de seus atores sociais. Isso significa conhecer não somente o assunto a ser tratado, mas a população e o seu perfil social. É necessário que se adquira o vocabulário comumente utilizado pelos indivíduos que deverão respondê-los. O questionário deve ser elaborado sem ter a pretensão de ser objetivo. O que o torna objetivo é a sua capacidade de reproduzir a realidade (SINGLY, 1992).

É importante conhecer o sentido que os atores sociais dão a sua conduta e a de outros indivíduos. ZEISEL (1981) menciona que ao responderem questionários e

entrevistas, as pessoas frequentemente hesitam em relatar atividades que consideram triviais ou atitudes que contrariam as regras sociais, mesmo que estas atitudes sejam comuns no meio em que se encontrem.

Os questionários devem compreender questões sobre o objeto propriamente dito e outras que permitam abordar determinantes sociais. Questões centradas em determinantes sociais, tais como idade, sexo, renda, profissão e nível cultural, não podem ser negligenciadas. As idades, por convenção, são organizadas em classes fixadas de 5 em 5 anos, ou de 10 em 10 anos (20 a 29, 30 a 39, ...) (SINGLY, 1992).

A posição social poderá ser abordada segundo a nomenclatura de categorias sócio-profissionais que fornecem indicação das riquezas sociais, culturais, econômicas obtidas pelo indivíduo: profissionais de nível superior, profissionais de nível médio, nível primário, trabalhador assalariado, empregador ou empregado, importância da empresa, posição hierárquica etc.

SANOFF (1977) menciona a existência de quatro tipos de questões a saber: De fato, de opinião e atitude, de informação e de auto percepção.

As **questões de fato** indagam ao respondente informações sobre suas características pessoais e sociais, tais como idade, sexo, renda, educação etc.

As questões de **opinião e atitude** focam percepções emocionais, sentimentos, ideais, fornecendo base para entender reações dos respondentes. Procuram determinar pensamentos ou sentimentos em um ponto particular no tempo.

As questões **de informação** são usadas para desvendar o conhecimento das pessoas. Observa-se que o conhecimento das pessoas está relacionado as suas atitudes. Este **é o princípio da percepção seletiva**, ou seja, as coisas são vistas como as pessoas querem vê-las.

As questões **de autopercepção** indagam sobre o comportamento dos indivíduos, conduzindo-os a relatarem fatos sobre eles mesmos.

Os questionários podem conter questões abertas, fechadas, semi-abertas ou todas. A forma das questões depende do tipo de informação que se deseja obter. As questões abertas fornecem informações muito amplas, principalmente sobre as práticas

e representações sociais, sendo úteis para extrair informações adicionais. (SIGLY, 1992)

As questões semi-abertas, também permitem uma análise qualitativa da resposta e podem auxiliar na interpretação de questões fechadas. Estas últimas, por sua vez, são centradas no teste de hipóteses. Se a pesquisa tem por finalidade testar uma hipótese, convém realizar um questionário fechado, onde figuram qualidades opostas. Neste caso são apresentadas respostas já formuladas, entre as quais o indivíduo deverá fazer a sua escolha. Pesquisas desse tipo são menos caras, pois sua tabulação é mais fácil e mais rápida do que a de questionários abertos. Segundo SANOFF (1981) este tipo de questão força as pessoas a decidirem tendo em vista os critérios do pesquisador. Contudo, as respostas obtidas podem apresentar exageros, omissões, deformações ou esquecimentos do respondente.

Uma das desvantagens das questões fechadas é a dificuldade de interpretar o grau de intensidade através do qual os respondentes estabelecem sua opinião. Para evitar esse problema, pode-se utilizar escalas de respostas com diferentes pesos psicológicos (SANOFF, 1981). Nesse caso, as respostas são apresentadas sob a forma de palavras, frases ou declarações, solicitando-se ao respondente que assinale aquela que melhor representa seus sentimentos. Essas escalas de valores atribuem mais exatidão à opinião, pois produzem informação sobre o quanto as respostas diferem entre si na opinião do respondente. Para facilitar a posterior tabulação de dados, podem ser atribuídos pontos às respostas.

Em resumo, os questionários devem ser elaborados e aplicados cuidadosamente. Diante de problemas de custo, devendo-se decidir entre adotar questões abertas ou fechadas, convém observar os dois tipos de pesquisa: um mais centrado no teste de hipóteses precisas, outro mais atento à complexidade do real (SINGLY, 1992). Se a pesquisa tem por finalidade compreender o comportamento em um contexto, são melhores as questões abertas. Se objetiva testar hipóteses, são melhores as questões fechadas.

Em APOs Acústicas realizadas em edifícios residenciais por MACEDO (1999), observou-se que muitas vezes o indivíduo que está respondendo ao questionário é exatamente um dos responsáveis pelo incômodo sonoro gerado na comunidade e, desta

forma, o mesmo procura omitir informações importantes. Portanto, cabe ao pesquisador observar as condições locais e verificar se traços físicos que indicam a existência omissões nas respostas. Outra questão a ressaltar é a importância de indagar se existe algo que o respondente gostaria de acrescentar. Este procedimento permite ao respondente expressar o que realmente lhe parece fundamental e expressar os mais profundos sentimentos.

### **3.3.1.2. População e amostra**

A aplicação dos métodos de coleta de dados, requer a seleção da população que irá fazer parte do processo de avaliação e de uma amostra dessa população. População ou universo, no sentido geral, na visão de COSTA NETO “é um conjunto de elementos com, pelo menos uma característica comum (2002, p.2).

Ao abordar o assunto, SANOFF (1977) afirma que uma população se refere a todo ou a algum grupo específico de objetos, métodos, respostas, áreas geográficas ou pessoas, residindo em uma área sob estudo. A amostra é um número limitado de elementos selecionados de uma população para serem representativos da mesma, de forma que os elementos sejam escolhidos aleatoriamente, de modo não tendencioso.

De modo geral, para garantir a representatividade da amostra é necessário que todos os diferentes estratos ou elementos sejam considerados em termos proporcionais à população total. Conforme COSTA NETO relata, isso significa que:

“A não ser por pequenas discrepâncias inerentes à aleatoriedade sempre presente, em maior ou menor grau, no processo de amostragem, a amostra deve ter as mesmas características básicas da população, no que diz respeito às variáveis que desejamos pesquisar” (2002, p. 2).

Uma vez que as conclusões relativas à população serão baseadas na amostra definida, a sua obtenção deve ser cuidadosa, pois, caso contrário, as conclusões tecidas poderão ser falsas. Portanto, é necessário caracterizar adequadamente a população e adotar cuidadosamente o processo de definição da amostra.

Quando a amostra não é representativa da população, ela é considerada viciada ou tendenciosa, pois apresenta “vícios” de amostragem e poderá gerar resultados que não correspondem à realidade. Somente a adequada definição dos elementos que participam da amostra pode evitar tais vícios.

Observa-se que quando a amostra não é tendenciosa, a medida que o número de casos é aumentado, o resultado final é aproximadamente o mesmo (SANOFF, 1977).

#### **3.3.1.2.a. Tipos de Amostra:**

Existem basicamente dois tipos de amostra: a probabilística e a não probabilística. A amostragem será probabilística se todos os elementos da população tiverem probabilidade conhecida, e diferente de zero, de pertencer à amostra. Caso contrário a amostra será não probabilística (COSTA NETO, 2002).

A garantia da representatividade da amostra é melhor obtida quando é utilizada a amostra probabilística, pois somente o acaso poderá acarretar discrepâncias entre a população e amostra.

#### **Amostra probabilística**

##### ***Amostra casual simples***

Neste tipo de amostra, cada membro da população tem igual probabilidade de ser incluído. Os elementos da amostra são selecionados através do uso de tabelas de números aleatórios. O pesquisador estabelece um número para cada membro da população, entra na tabela e, movendo-se em uma determinada direção, lê os números a serem incluídos na amostra. (SANOFF, 1977).

COSTA NETO (2002) compara a amostra casual simples a um sorteio lotérico e apresenta as suas outras denominações, tais como: *simples ao acaso*, *aleatória*, *elementar*, *randômica* etc.

##### ***Amostra aleatória estratificada***

Este tipo de amostra utiliza os procedimentos da amostragem aleatória. O processo de estratificação divide a população em um número de estratos ou subpopulações, de modo que a variabilidade dos elementos em cada estrato seja mais homogênea que a variabilidade entre os estratos. As amostras são criadas independentemente e aleatoriamente para cada estrato e uma estimativa do parâmetro é computada sobre o estrato todo (SANOFF, 1977).

A estratificação permite conhecer as características das camadas da população. Além disso, a estimativa baseada em estratificação será mais precisa do que no caso da

amostra casual de uma população inteira, sem os benefícios da estratificação. Amostras estratificadas permitem a seleção de casos dentro de cada estrato, em diferentes modos e em diferentes proporções (SANOFF, 1977). Contudo, COSTA NETO alerta para o fato que, embora o uso da amostragem estratificada tenha a vantagem de reduzir o tamanho da amostra sem que haja perda da qualidade da informação, “o seu uso exige um cuidado adicional no cálculo dos valores provenientes da amostra, como média e variância” (2002, p.40).

No Brasil, em APOs, vêm sendo empregadas principalmente amostragens probabilísticas, as quais podem ser estratificadas ou não. Quando o foco da APO é a avaliação de questões relativas ao conforto ambiental adota-se a amostra estratificada, visando a representatividade de cada parcela da população, pois a percepção do usuário poderá ser diferente em função da sua localização no ambiente construído. Outra questão importante é garantir que participem da amostra somente usuários que freqüentam ou utilizam regularmente o ambiente construído, pois estes o conhecem melhor e podem fornecer contribuições importantes à avaliação.

### ***Amostras sistemáticas***

Obtém-se uma amostra sistemática, quando os seus elementos se encontram ordenados, de modo que seja possível selecionar periodicamente um elemento para incluir na amostra. A seleção da amostra é feita através da contagem de cada elemento até que o tamanho desejado seja obtido. O primeiro elemento é escolhido aleatoriamente. Este método é mais simples. Os elementos da população são listados, evitando-se utilizar tabelas de números aleatórios. Simplesmente seleciona-se um número  $x$  de casos (SANOFF, 2002).

Sua principal vantagem, segundo COSTA NETO (2002) é a grande facilidade de determinar os elementos da amostra. Entretanto, em sua adoção deve-se verificar se existem ciclos de variação na variável de interesse, pois estes poderão coincidir com o período de seleção dos elementos da amostra.

### ***Amostra de superfície ou grupo***

Onde listas de indivíduos ou características da população não são bem conhecidas, é possível selecionar áreas ou grupos de elementos e, em seguida, selecionar indivíduos ou elementos dentro dos grupos.

Geralmente o trabalho com grupos ou áreas apresenta um menor custo do que aquele realizado com amostras aleatórias do mesmo tamanho, mas existe uma redução na confiabilidade dos parâmetros prognosticados (SANOFF, 1977). Por este motivo, COSTA NETO (2002) comenta que este tipo de amostra as vezes é adotado por questões de ordem prática e econômica. Este método é mais eficiente quando se trata de áreas geográficas.

### ***Amostragem múltipla***

Neste caso, a amostra é retirada em sucessivas etapas, até o resultado esperado seja atingido. Segundo Costa Neto (2002), este tipo de amostra é utilizado em inspeção por amostragem e tem como finalidade diminuir o número médio de itens inspecionados a longo prazo e reduzir os custos da inspeção.

### **Amostra não probabilística**

Quando não é possível obter uma amostra probabilística, em alguns casos, podem ser empregadas amostras não probabilísticas. Todavia, é importante zelar para que não sejam introduzidos vícios, de modo que os resultados sejam tão confiáveis quanto os baseados em uma amostragem probabilística. A seguir, são apresentados alguns exemplos de amostra não probabilística citados por COSTA NETO (2002, p. 41).

### ***Inacessibilidade a toda a População***

É utilizada quando somente uma parte da população está acessível. Assim, essa parte é adotada como amostra. Sua confiabilidade será equivalente a de uma amostragem probabilística quando as características da variável de interesse forem iguais as da população toda e da parte disponível (que é adotada como amostra).

### ***Amostragem a esmo ou sem norma***

Quando a população é homogênea e não há possibilidade de haver influência de algum elemento da população sobre quem seleciona a amostra, pode-se procurar a aleatoriedade sem a utilização de tabelas de números aleatórios. Um exemplo dado por Costa Neto (2002) é a retirada de 100 parafusos de uma caixa contendo 10.000.



### ***População constituída de material contínuo***

Em situações em que se necessita extrair uma amostra de um material líquido ou gasoso ou sólido, é habitual homogeneizá-la e retirar uma amostra a esmo.

### ***Amostragens intencionais***

São selecionadas a partir da deliberada escolha dos elementos que irão fazer parte da amostra, por se considerar que são representativos da população. Este tipo de amostra poderá incorrer em erros, caso a seleção tenha sido baseada em julgamentos errôneos.

### ***Amostragem por voluntários***

Quando a amostra foi selecionada a partir da concordância de seus membros.

#### ***3.3.1.2.c. Erro da Amostra***

Como é selecionada apenas parte da população, é necessário estimar discrepância entre os valores estimados com base na amostra e o resultado que teria sido encontrado, sob condições idênticas, para a população toda. Esta discrepância é denominada *erro da amostra* e poderá afetar a precisão dos resultados (SANOFF, 1977).

#### ***3.3.1.3. A Análise de dados***

Os dados podem ser tratados de forma quantitativa, qualitativa ou utilizando-se de ambas as formas. (D'OLIVEIRA, 1984) As ferramentas que envolvem tanto tratamentos quantitativos como qualitativos, são consideradas "ideais" por TOBAR *et al* (2002). Estas ferramentas se baseiam no estabelecimento de comparações entre o que é real e o que é ideal ou desejável.

Em geral, os tratamentos quantitativos são realizados mediante o emprego de procedimentos estatísticos.

Os resultados da APO são grandes quantidades de dados gerados qualitativa e quantitativamente que devem ser reduzidos de modo a se obter interpretações

significativas. Na APO, há uma multiplicidade de variáveis<sup>31</sup> a serem tratadas, as quais podem estar associadas entre si e a correlação entre elas pode indicar qual delas apresenta maior peso.

Segundo SANOFF (1977), o processo de redução de dados consiste em agrupar informações em poucas categorias, a fim de descrever adequadamente as características da amostra. Na APO, em geral, a representação dos resultados da pesquisa pode ser realizada mediante o emprego da estatística descritiva<sup>32</sup> e da estatística inferencial ou indutiva.

Conforme já mencionado, em APO é comum a utilização de escalas semânticas (tais como: muito bom, bom, razoável, ruim, muito ruim) as quais ajudam a compreender como as pessoas se sentem, mas apresentam uma grande subjetividade.

Observa-se que a APO consiste em um sistema centrado no homem e embora estes tipos de sistemas sejam analisados freqüentemente por técnicas quantitativas convencionais, estas são inadequadas quando se trabalha com sistemas complexos<sup>33</sup> (ZADEH, 1973). Entretanto, a análise de escalas semânticas, do tipo mencionado, é habilmente realizada através da Teoria de Sistemas Nebulosos.

---

<sup>31</sup> Observa-se que TOBAR *et al* definem variáveis como " fenômenos suscetíveis de serem observados, medidos e expressos em dados". Os autores acrescentam:" variável é qualquer coisa que possa ser medida ou manipulada em um estudo". (2002, p. 111) Para obtê-la, portanto, é preciso identificar sujeitos de uma amostra que tenham suficiente precisão para serem medidos.

<sup>32</sup> A Estatística Descritiva se preocupa com a organização e descrição de dados experimentais. Utiliza gráficos, tabelas ou números para representar os resultados da pesquisa. A Estatística Inferencial ou Indutiva trata da análise e interpretação de dados (COSTA NETO, 2002). Na estatística inferencial, a partir de dados disponíveis sobre apenas uma amostra da população, são realizadas inferências sobre o seu universo (WONNACOTT *et al.*, 1985). A generalização de características de uma amostra conhecida para as características de uma população ou universo conhecido é denominada inferência estatística (SANOFF, 1977).

<sup>33</sup> Dado ao seu recente surgimento, as ciências da complexidade ainda não contam com uma definição universalmente aceita de sistemas complexos. O Prof. Liacir Lucena da UFRN os caracteriza como "um grande conjunto de unidades simples que, operando localmente e de forma não linear apresenta um comportamento global, bastante difícil de modelar". Ele acrescenta que "estes sistemas são encontrados em diversas formas e em diversos ramos, desde o sistema imunológico, aos agrupamentos celulares, sistemas ecológicos, agrupamentos sociais e fenômenos naturais" (<http://www.tribunadonorte.com.br>, Acesso em 2003).

### 3.3.2. Análise<sup>34</sup> e interpretação de dados através da Teoria de Sistemas Nebulosos

Várias técnicas analíticas podem ser utilizadas para descrever reações humanas e fenômenos ambientais. Em geral, os métodos de análise de dados fornecem uma estrutura para projetar e planejar sistemas e mecanismos que medem os efeitos e alternativas de decisões que podem ser tomadas. A Teoria de Sistemas Nebulosos também fornece essa estrutura. Porém, ela toma por base o raciocínio “*fuzzy*”, o qual considera o modo de pensar humano que estabelece implicações lógicas, formula conexões entre causa e efeito e relaciona condições a conseqüências.

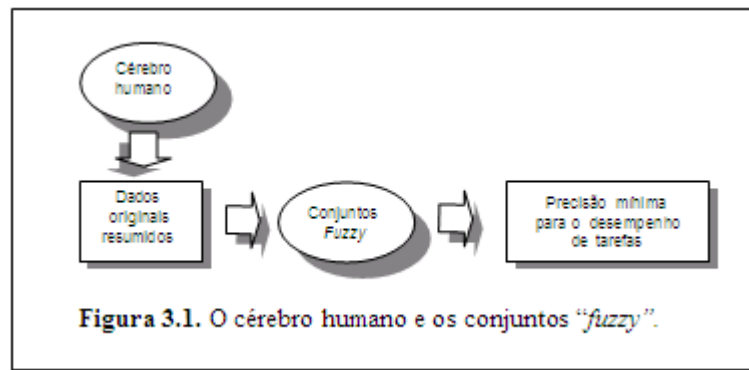
O pensamento humano apresenta uma lógica e cria regras de inferência nebulosas as quais lhe conferem a capacidade de resumir e selecionar as informações relevantes ao desempenho das tarefas que irá executar. Assim, o cérebro humano codifica informações relevantes em rótulos de conjuntos “*fuzzy*” (ZADEH, 1973). Esses conjuntos foram introduzidos por Zadeh fundamentando-se em uma generalização da teoria de conjuntos<sup>35</sup> convencional, como um modo de representar as incertezas da vida cotidiana (BEZDEK, 1993).

Segundo ZADEH (1973) os elementos-chave do pensamento humano não são números e sim “rótulos” de conjuntos nebulosos, constituídos de elementos que podem pertencer a um conjunto ainda que parcialmente. Assim, existem faixas de transição de membro pertencente a um conjunto a não pertencente, em relações de pertinência graduais (BELLMAN *et al*, 1970, ZADEH, 1973, BEZDEK, 1993, BOTTEELDOOREN, 2002).

---

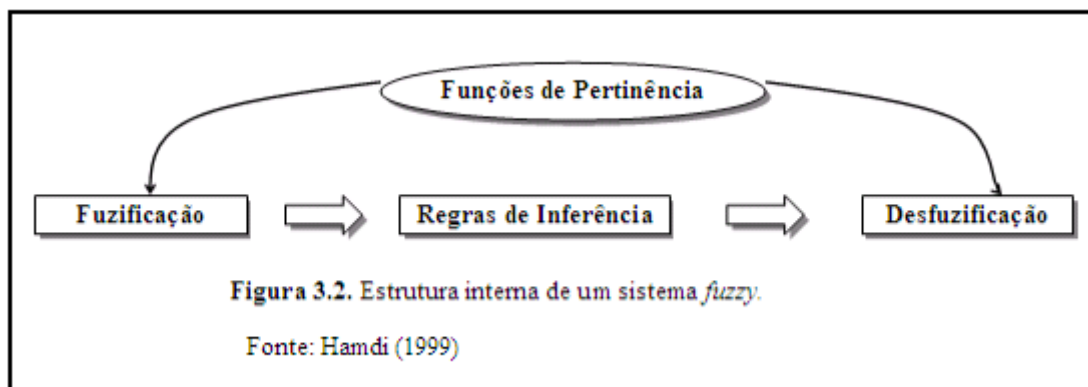
<sup>34</sup> A análise de dados, segundo PREISER (1988) é a pesquisa por modelos de dados que podem explicar relações ou sumarizar dados entre as variáveis que estão sendo examinadas.

<sup>35</sup> Conjunto, segundo CHENG (2001) , é uma coleção bem definida de elementos que possuem algumas propriedades em comum.



Na Teoria de Sistemas Nebulosos, a linguagem pode ser considerada como um sistema no qual são atribuídos rótulos a subconjuntos<sup>36</sup> de um universo do discurso ( $U$ ) (ZADEH, 1973). São utilizadas variáveis lingüísticas (associadas ou não a variáveis numéricas), declarações proposicionais “fuzzy” (em relações simples entre variáveis) e algoritmos “fuzzy” (em relações complexas entre variáveis).

Um Sistema “Fuzzy”, segundo MENDEL (1995), é o mapeamento não linear de um vetor de entrada em uma saída escalar. Esses sistemas contêm quatro componentes básicos: funções de pertinência, “fuzificador”, regras de inferência e “desfuzificador” (Figura 3.2).



Desse modo, o conhecimento é representado por regras de inferência do tipo “SE – ENTÃO”, que descrevem a evolução lógica do sistema de acordo com os valores lingüísticos dos seus caracteres principais. Há um raciocínio no qual são utilizados números “fuzzy” e conjuntos “fuzzy” e as afirmações podem ser empregadas como regras práticas. (SHAW *et al*, 1999)

<sup>36</sup> CHENG (2001) define subconjunto como " uma coleção de alguns elementos de um conjunto."

Um exemplo simples do raciocínio *fuzzy* da forma “SE – ENTÃO”, aplicado a uma edificação unifamiliar térrea ou ao último andar de um edifício de múltiplos pavimentos, é dado pela avaliação da satisfação humana com relação ao conforto acústico proporcionado:

**SE** qualidade acústica das janelas é BOA **E** qualidade acústica das paredes é BOA **E** qualidade acústica do telhado é BOA, **ENTÃO** o isolamento acústico do envelope da edificação é BOM.

**SE** qualidade acústica das janelas é BOA **E** qualidade acústica das paredes é BOA **E** qualidade acústica do telhado é FRACA, **ENTÃO** o isolamento acústico do envelope da edificação é MODERADO.

**SE** qualidade acústica das janelas é BOA **E** qualidade acústica das paredes é FRACA **E** qualidade acústica do telhado é BOA, **ENTÃO** o isolamento acústico do envelope da edificação é FRACO.

**SE** qualidade acústica das janelas é FRACA **E** qualidade acústica das paredes é BOA **E** qualidade acústica do telhado é BOA, **ENTÃO** o isolamento acústico do envelope da edificação é FRACO.

**SE** qualidade acústica das janelas é FRACA **E** qualidade acústica das paredes é FRACA **E** qualidade acústica do telhado é BOA, **ENTÃO** o isolamento acústico do envelope da edificação é FRACO.

**SE** qualidade acústica das janelas é FRACA **E** qualidade acústica das paredes é FRACA **E** qualidade acústica do telhado é FRACA, **ENTÃO** o isolamento acústico do envelope da edificação é FRACO.

O princípio básico da Lógica “*Fuzzy*” é correlacionar uma variável lingüística a um determinado conjunto de dados, variando de 0 a 1, num processo denominado “**fuzificação**”. Assim sendo, as variáveis de entrada são convertidas em variáveis “*fuzzy*” através da utilização de funções de pertinência pré-definidas (HAMDI *et al*, 1999). No exemplo anterior, FRACA e BOA são valores lingüísticos da qualidade acústica dos elementos janela, telhado e paredes e correspondem à *fuzificação* da variável lingüística que caracteriza a qualidade acústica de cada um desses elementos.

O processo de conversão do valor “*fuzzy*”, resultante da saída da inferência em um número real (um único valor final discreto - "crisp"), é denominado *desfuzificação*. Convém observar que este processo faz a operação oposta da *fuzificação*. A

*desfuzificação* é um processo que visa reduzir a complexidade da função (BEZDEK, 1993). Consiste em associar um valor numérico a um subconjunto “*fuzzy*”.

No exemplo dado, MUITO FRACO, FRACO, MODERADO e BOM são valores lingüísticos da qualidade acústica do envelope da edificação e a *desfuzificação* de cada elemento fornece uma medida “crisp” (numérica) da qualidade acústica do envelope da edificação.

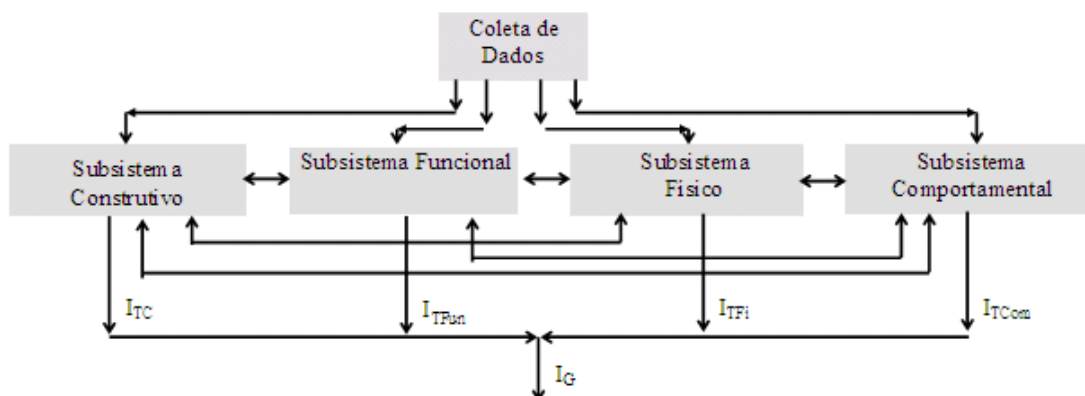
### **3.3.2.1. A decomposição da APO em Subsistemas “Fuzzy”**

A análise dos dados resultantes da APO pode ser realizada a partir da sua decomposição em quatro subsistemas “*fuzzy*”: funcional, construtivo, físico e comportamental. A avaliação de cada um destes subsistemas fornece uma ampla gama de informações relativas ao ambiente construído objeto de estudo. Por sua vez, cada subsistema “*fuzzy*” é caracterizado por uma série de atributos, os quais devem ser definidos para uma posterior composição de algoritmos “*fuzzy*” e de regras de inferência do tipo SE-ENTÃO.

Exemplificando, a criação da regra proposta no exemplo anterior está condicionada ao estabelecimento dos atributos das janelas, das paredes e do telhado que caracterizam uma qualidade acústica BOA e FRACA, bem como da criação de regras do mesmo tipo para cada um desses elementos (telhado, janelas e paredes).

Considerando-se, portanto, estes quatro subsistemas “*fuzzy*”, a criação de regras de inferência para cada um deles e a posterior *desfuzificação* dos resultados pode produzir indicadores parciais da origem dos problemas. Por exemplo: subsistema funcional pode ser avaliado como um subsistema “*fuzzy*” que resultará um indicador de adequação dos aspectos relacionados com a funcionalidade do ambiente construído.

Procedendo-se da mesma forma com relação aos demais subsistemas, pode-se chegar a um indicador global que define a qualidade do ambiente construído. Os indicadores parciais ajudam a identificar o foco do problema, permitindo ao avaliador buscar soluções para o mesmo. A Figura 3.3, a seguir, esquematiza este processo.



**Fig. 3.3.** Subsistemas *Fuzzy* e os indicadores parciais e globais de desempenho do ambiente construído.  
 Fonte: Macedo et al. (2002)

Sendo:

$I_{TC}$ ,  $I_{TFun}$ ,  $I_{TFi}$  e  $I_{TCom}$  os indicadores parciais do desempenho dos Subsistemas “fuzzy” Construtivo, Funcional, Físico e Comportamental, respectivamente.  $I_G$  O Indicador Global do Desempenho do Ambiente Construído.

### 3.3.2.2.a. *Subsistema comportamental*

Os elementos comportamentais, conforme PREISER (1988) menciona, relacionam as atividades dos ocupantes com a satisfação dos usuários, no que diz respeito ao ambiente físico.

Assim sendo, apoiando-se em métodos observação do comportamento e dos traços físicos, em entrevistas e questionários, a avaliação desse subsistema questiona como o bem-estar psicológico e sociológico do usuário é afetado pelo ambiente físico e, no caso em questão, como o desenvolvimento de suas atividades cotidianas pode ser afetado pelo ruído.

Os aspectos comportamentais podem ser tratados por meio de análises quantitativas e qualitativas que auxiliam na interpretação dos níveis de satisfação dos usuários. No caso da APO Acústica, a opinião dos usuários sobre a qualidade do ambiente sonoro e sobre aspectos relativos ao ambiente construído, pode ser de grande importância no processo de avaliação, pois conforme já mencionado há aspectos subjetivos envolvidos (além dos objetivos).

#### ***3.3.2.2.b. Subsistema funcional***

A avaliação do subsistema funcional compreende os aspectos relativos à funcionalidade do ambiente construído, bem como à interação de seus espaços entre si, à interação de seus espaços com a área em que a edificação está implantada, à incidência de radiação solar, à presença de fontes sonoras, às paisagens etc. Assim, esta avaliação leva em consideração a função da edificação e de seus compartimentos em relação ao entorno, observando relações entre áreas de serviço, locais de trabalho, áreas residenciais, áreas de estacionamento, fluxos e acessos, existência de máquinas e equipamentos, instalações hidro-sanitárias e elétricas etc.

Os elementos funcionais que fazem parte deste subsistema são os acessos de pessoas e equipamentos, a segurança, estacionamento, adequada capacidade espacial para o desempenho de atividades e eficiência de comunicação e circulação.

Neste trabalho, conforme será apresentado nos capítulos subseqüentes, esta idéia inicial foi reconstruída, visando adaptar este subsistema à situação em que uma área extensa localizada no entorno de um pequeno aeroporto sofre impactos ambientais sonoros devidos à atividade aeronáutica.

#### ***3.3.2.2.c. Subsistema construtivo***

O subsistema construtivo envolve todos os elementos que fazem parte do processo de construção e manutenção da edificação, incluindo estrutura, alvenarias, instalações, vedações e revestimentos. A avaliação do sistema construtivo é baseada na análise de projetos de arquitetura, estrutura e instalações, bem como na realização de visitas à área objeto de estudo para verificar características construtivas que possam interferir no objeto da avaliação.

#### ***3.3.2.2.d. Subsistema físico***

Considera-se aqui que este subsistema é composto pelas variáveis físicas mensuráveis através de levantamentos métricos ou de equipamentos tais como luxímetros, termômetros, sonômetros, dentre outros, conforme o objetivo da pesquisa. Simulações também podem fazer parte da avaliação física visando reproduzir a realidade sob diferentes aspectos, inclusive aqueles direcionados à aferição da qualidade acústica.



No presente trabalho, inicialmente, considerou-se a utilização de simulações como parte deste subsistema. Todavia, uma vez que estas simulações resultam curvas de ruído que relacionam os níveis sonoros ao uso do solo, elas foram consideradas como parte da avaliação do subsistema funcional.

### **3.3.3. Relações entre a coleta de dados e os atores sociais envolvidos na APO**

O processo de avaliação e os procedimentos a serem adotados na APO só estarão realmente definidos após a realização de encontros entre coordenadores da equipe da APO com pessoas-chave, tais como diretores, coordenadores e administradores do(s) ambiente(s) objeto de estudo. A partir de então, poderá ser estabelecido um plano de trabalho e os membros da APO poderão ser instruídos sobre todo o processo.

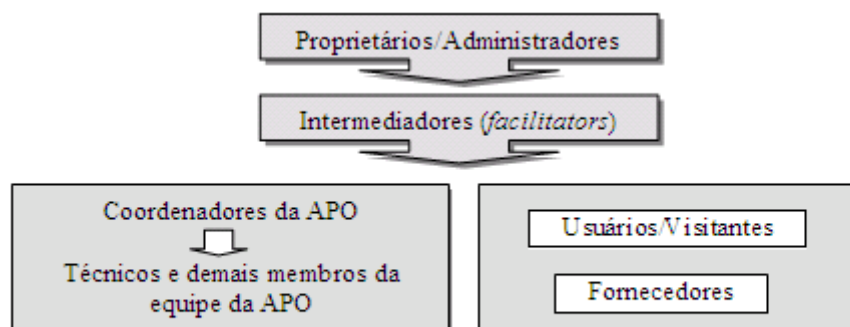
Quando a realização de uma APO é devida a contratação por uma empresa ou entidade que tem interesses na mesma, a coleta de dados torna-se mais fácil. Neste caso, os administradores da empresa irão definir pessoas-chave ou intermediadores (*facilitators*), que irão dar todo o suporte necessário à avaliação. Um coordenador da APO estará em contato com estas pessoas-chave e deverá conduzir os trabalhos segundo diretrizes aprovadas pelos mesmos.

Todavia, quando a APO tem objetivos basicamente acadêmicos, como é o caso do presente trabalho, a obtenção de dados e a concessão de autorização para a sua realização poderão ser mais difíceis, dependendo do contato com diferentes pessoas até que se possa chegar às pessoas-chave.

Conforme relatam KERNOHAN *et al* (1996), em uma APO é importante identificar os diversos grupos envolvidos, os quais apresentam diferentes interesses. (Figura 3.2.). Caberá ao avaliador saber lidar com as situações impostas por possíveis choques de interesses, pois cada participante da APO vê o ambiente construído segundo seu próprio ponto de vista.

Os resultados da APO irão depender da interação entre os membros da equipe e destes com os administradores e intermediadores. Os conflitos entre opiniões e as possíveis tendências devem ser controlados através de um comportamento neutro por

parte dos coordenadores e de discussões sobre o ambiente construído (KERNOHAN *et al.*, 1996).



**Figura 3.4.** Grupos participantes de uma APO

Outro aspecto característico das APOs repousa no fato que, em muitos casos, quando administradores autorizam uma APO, desejam permanecer como árbitros no fim do processo de avaliação, conduzindo recomendações e ações a serem propostas. Isso requer uma habilidade muito grande por parte dos avaliadores durante a condução dos trabalhos, bem como na redação do relatório final.

### **3.3.4. Relatório: diagnóstico e recomendações**

Nesta etapa os dados coletados pelas diferentes técnicas utilizadas na APO, uma vez analisados e interpretados podem ser representados sob a forma de relatórios escritos ou sintetizados em vídeos e apresentados em reuniões com os interessados no processo de avaliação, visando auxiliar na tomada de decisão.

No relatório deverá constar o diagnóstico traçado pela equipe de avaliação e as recomendações para o ambiente em questão, sejam construtivas, funcionais ou relacionadas à elaboração de planos e diretrizes visando a correção dos problemas detectados.

## Capítulo 4

### A APO ACÚSTICA E A LÓGICA "FUZZY"

#### 4.1. APO Acústica

A APO Acústica pode ser entendida como um instrumento de avaliação do desempenho acústico de ambientes, com enfoque na opinião do usuário, no qual o avaliador emprega diversas técnicas que lhe fornecem base para tecer conclusões, formular diagnósticos e recomendações que permitam melhorar a qualidade acústica do ambiente construído (MACEDO, 1999).

Autores como MILL *et al* (1986) e RHEINGANTZ (1995) consideram que a avaliação de desempenho de edificações deve incorporar aspectos múltiplos, relacionados simultaneamente à qualidade espacial, visual, térmica, do ar, acústica e da integridade do edifício, pois estas estão intimamente ligadas. Além disso, segundo MILL *et al* (1986) a performance de edificações está relacionada ao que eles definem como “fatores de *stress*”, ou seja falhas que surgem na concepção do projeto e vão interferindo no processo de tomada de decisão durante o período de construção, manutenção e uso do edifício, afetando a sua performance durante toda a sua vida útil. Através da APO, tais fatores de “*stress*” (potencialmente geradores de problemas) poderão ser identificados, possibilitando a sua correção.

Todavia, a APO pode ser aplicada com enfoque em um determinado campo de estudo, como é o caso da APO Acústica. Neste caso, convém observar os múltiplos aspectos anteriormente mencionados, para que as recomendações propostas não venham a ser mais um fator de “*stress*” a afetar negativamente o desempenho do ambiente construído.

Os resultados obtidos em diversas APOs Acústicas, uma vez confrontados, podem ser utilizados para a formulação de recomendações para projetos e planos com características semelhantes, objetivando propiciar a melhoria da qualidade acústica de edificações e áreas urbanas. Com efeito, a APO Acústica poderá fornecer dados sobre o

desempenho acústico de materiais, reação do usuário à exposição sonora, “*layout*” arquitetônico, forma, implantação, dentre outros, os quais poderão servir de base para a produção de ambientes construídos que atendam às expectativas psico-comportamentais dos usuários e para o desenvolvimento de normas e planos de gestão ambiental urbana que levem em conta o controle da poluição sonora. (Macedo *et al*, 2000)

A APO Acústica aplicada ao entorno de aeroportos também apresenta imensas vantagens, conforme relatado no início deste trabalho. Contudo, por diversos motivos é necessário repensar sobre todo o processo de avaliação, conforme exposto a seguir.

#### **4.1.1.: Estratégias para a implementação da APO Acústica no entorno de aeroportos**

##### **4.1.1.1.: A APO Acústica no entorno de aeroportos: um instrumento de apoio à Abordagem equilibrada**

O Brasil é um país membro da Organização Internacional de Aviação Civil (OACI). Por este motivo, deve respeitar os acordos desta organização. Assim, as recomendações da OACI para a implementação da Abordagem Equilibrada devem ser consideradas no planejamento ambiental, a fim de minimizar o incômodo sonoro produzido no entorno dos aeroportos. A APO Acústica poderá ser um instrumento de auxílio à implementação da Abordagem Equilibrada proposta pela OACI.

Conforme mencionado no Capítulo 1, a Abordagem Equilibrada identifica o problema do ruído aeroportuário e analisa as várias medidas úteis que visam reduzi-lo através de quatro variáveis: Redução na fonte (produção de aeronaves mais silenciosas), Planejamento e gestão do uso do solo, Redução do ruído através de procedimentos operacionais e Redução do ruído mediante restrição de operação.

Na APO Acústica aplicada no entorno de aeroportos é importante considerar que além dos métodos de coleta de dados usuais em APO, devem ser empregados os métodos internacionalmente aceitos na avaliação de impactos ambientais sonoros produzidos por aeronaves, tais como a elaboração de curvas de ruído com o *INM (Integrated Noise Model)* e *HNM (Heliport Noise Model)* da U.S. FAA.

A elaboração dessas curvas requer o estabelecimento de dados de entrada tais como os tipos de aeronaves, número de operações de cada aeronave (pousos e decolagens), trajetórias, percentuais de operação no período noturno e dia de pico do mês médio. Dessa forma, no traçado das curvas são considerados a fonte sonora, os procedimentos operacionais e as restrições operacionais, os quais são preocupações da Abordagem Equilibrada. Além disso, as curvas também servem para indicar áreas expostas ao ruído aeronáutico e orientar no planejamento e gestão do uso do solo, o que significa que servem como instrumento de controle de ruído a partir da Abordagem Equilibrada.

Além do emprego das curvas de ruído em APO Acústica, as observações em campo e a aplicação de questionários permitem considerar na avaliação características locais (construtivas e ambientais, tais como a absorção do solo, difração devido ao relevo, barreiras e edifícios), a resposta acústica do usuário e a qualidade acústica das edificações. Desta forma, são consideradas as peculiaridades locais, reconhecidas pela OACI como fundamentais para a resolução do problema do ruído.

A OACI (2004) solicita aos seus estados-membros utilizarem um processo transparente que inclua: a avaliação dos impactos atuais e futuros, a avaliação dos custos e seleção de possíveis medidas a serem implantadas, provisão de consultas a pessoas-chave (pilotos, usuários, autoridades aeroportuárias e representantes do governo local) em diferentes estágios da implementação da avaliação, provisão da divulgação dos resultados da avaliação. Observa-se a APO Acústica não faz uma previsão para a avaliação de futuros impactos, pois possibilita identificar os impactos ambientais numa situação já instalada. Todavia, ela permite traçar um diagnóstico ambiental detalhado, gerando subsídios para a constatar possíveis riscos futuros. Além disso, na APO Acústica é estabelecido o contato dos avaliadores com os diversos atores sociais que interessam para uma adequada avaliação.

A parte fundamental da Abordagem Equilibrada, como definido pela assembléia da OACI é a identificação e avaliação do problema do ruído, possibilitando a implementação de medidas para melhorar o clima acústico local. Nesse sentido, a APO Acústica pode ser um instrumento importante.

#### 4.1.1.2. A dimensão urbana e a seleção da amostra

A área circunvizinha ao aeroporto em avaliação apresenta grande extensão e é composta por edificações com diferentes funções e, portanto, diferentes necessidades. Estas edificações são mais ou menos afetadas pelo ruído aeroportuário em função do tipo de atividade desenvolvida, da proximidade entre o receptor e a fonte sonora, do caminho de propagação, bem como de vários outros fatores que poderão interferir na resposta do receptor, mencionados *a priori*.

Realizar uma APO Acústica considerando todas as edificações situadas na área em torno ao aeroporto poderá inviabilizar a realização do trabalho, pois irá requerer grande investimento de recursos e mão-de-obra capacitada. Nesse caso, poderá ser necessário pensar numa maneira de simplificar o trabalho, reduzir o tempo e os custos envolvidos. A delimitação da área de influência do aeroporto e a seleção dos receptores críticos, lançando mão de amostras probabilísticas estratificadas, assume grande importância.

Para a identificação dos receptores críticos, é de grande valia a realização de entrevistas com pessoas-chave, tais como profissionais da torre de controle do aeroporto (para indagar sobre os procedimentos operacionais adotados), profissionais da secretaria de meio ambiente e membros da associação de moradores (para verificar se há queixas comunitárias). A realização de observações sistemáticas ao redor do aeroporto e próximas à pista de pouso e decolagem também é necessária para compreender o contexto. O traçado das curvas de ruído no início do trabalho de avaliação, também oferece uma visão geral da situação e permite orientar na seleção da amostra e dos pontos de medição.

O valor da métrica  $L_{DN} = 55$  dB (A), pelos motivos já expostos no Capítulo 1 deste trabalho, deverá servir como critério para a delimitação da área de influência do aeroporto e os receptores críticos devem ser selecionados em áreas cujos níveis sonoros sejam superiores a esse valor.

Outra questão importante é que o temor de desvalorização de imóveis situados na circunvizinhança do aeroporto, principalmente de proprietários de imóveis residenciais,

leva a população a se fechar. Presume-se que, caso fique comprovada a existência de impacto ambiental sonoro, a notícia se espalhará e o seu imóvel sofrerá depreciação. Além disso, por questões de segurança, nas áreas onde os residentes pertencem às classes econômicas média e alta, como é o caso da área em torno do Aeroporto de Jacarepaguá, o acesso aos moradores se torna restrito. Muitos condomínios se transformaram em verdadeiros “feudos” medievais. Desse modo, o contato com habitantes locais é demasiadamente difícil.

Pelo exposto, embora seja adequada a adoção de uma amostra estratificada probabilística, em determinados estratos será impossível obter acesso a toda a população e a amostra obtida poderá não ser representativa. Conseqüentemente, a adoção de uma amostra probabilística estará comprometida, sendo necessário utilizar como amostra os usuários que se encontram acessíveis nos estratos da população incluídos como receptores críticos.

Considera-se, portanto, que a presença da equipe de trabalho no local, visando conhecer as peculiaridades do ambiente e observar detalhes, é importantíssima para a seleção da amostra e para a realização de um adequado diagnóstico do ambiente sonoro.

#### **4.1.1.3 A seleção dos pontos e critérios de medição**

A condição ideal para realizar medições de nível sonoro seria através da implantação de um sistema de monitoramento de ruído permanente em diversos pontos no entorno do aeroporto, conforme vem sendo efetuado em diversos países (ACNUSA, 2003, FAA, 2003). Esse sistema permite avaliar a situação real, a partir da elaboração de mapas de ruído cujas curvas são formadas a partir dos níveis sonoros medidos ponto a ponto. Desta maneira, torna-se possível confrontar tais mapas com as curvas isofônicas traçadas com modelos computadorizados. Esses sistemas têm, ainda, a vantagem de auxiliar na detecção de desvios de trajetórias, possibilitando identificar e punir pilotos infratores, o que contribui para minimizar a carga de ruído em áreas sensíveis (IACA, 2000).

Todavia, o elevado custo desses sistemas é um problema, principalmente em pequenos aeroportos, onde os investimentos de recursos são muito inferiores àqueles previstos para os grandes aeroportos comerciais (CNB, 2002).

Assim sendo, quando a disponibilidade de recursos for limitada, conforme é o caso do presente trabalho, pode ser necessário selecionar alguns pontos de medição situados estrategicamente junto aos receptores críticos, de modo a se obter uma compreensão da realidade o mais confiável possível.

A definição da métrica a ser adotada irá depender do porte do aeroporto. No caso de grandes aeroportos, o uso do  $L_{DEN}$  ou  $L_{DN}$  é aceito internacionalmente. Todavia, no caso de pequenos aeroportos, ainda é necessário realizar mais pesquisas sobre a métrica a ser empregada. Acredita-se que o  $L_{Amax}$  (Nível sonoro máximo equivalente, ponderado na escala A) pode ser adequado já que o ruído intrusivo é intermitente, mas ainda é necessário realizar pesquisas mais profundas. A criação de uma métrica que pondere os sábados e domingos pode ser apropriada (CNB, 2002).

#### **4.2. O PLANEJAMENTO PARTICIPATIVO ATRAVÉS DA APO.**

Conforme mencionado anteriormente, o discurso que defendia a eficiência técnica como a solução de problemas espaciais, sociais e econômicos foi superado. Atualmente busca-se no planejamento participativo a solução para os problemas urbanos e ambientais, de uma maneira holística.

Segundo DAVIDOFF, o planejamento das cidades não pode se limitar ao planejamento físico, pois a grande quantidade de problemas que afligem as populações urbanas deve ser considerada durante o processo de planejamento ambiental. O autor salienta que "planejar a cidade requer um adequado plano para o seu futuro". Além disso, "a cidade é sua população, suas práticas, suas políticas suas instituições sociais, culturais e econômicas, entre outras coisas"(1998, p.317).

Mas como é possível ao planejador propor a implementação de planos e medidas para o ambiente urbano sem conhecer a opinião das pessoas que nele vivem? Como garantir a participação das diversas escalas da população no processo de planejamento? Para que o planejador cumpra o seu papel de mediar os múltiplos interesses envolvidos e



possa ser capaz de decidir sobre o que deve ser priorizado, é necessário que ele tenha um entendimento holístico das condições urbanas e o apoio da técnica para analisar e resolver problemas urbanos, conforme salienta DAVIDOFF (1998).

Nesse sentido, a Avaliação Pós-Ocupação, quando implementada em áreas urbanas, pode ser uma ferramenta de apoio ao planejador, à medida que lhe permite entender as condições urbanas tanto sob o ponto de vista técnico, como sob a ótica dos seus habitantes.

Quando o problema ambiental a ser mitigado é, por exemplo, o ruído provocado por uma atividade, é difícil para o planejador decidir sobre o grau de impacto por ela provocado quando tantas outras fontes sonoras atuam simultaneamente em meio urbano e quando existem múltiplos interesses envolvidos. Não basta apenas avaliar do ponto de vista técnico, é preciso que a comunidade seja ouvida. É preciso conhecer suas aspirações, suas necessidades e identificar os múltiplos choques de interesses porventura existentes.

Segundo BURSZTYN (1994), o posicionamento da sociedade diante das diferentes variáveis (benefícios, danos, custos, riscos etc) relativas a implementação de empreendimentos potencialmente poluidores - pelo governo ou pelo setor privado - é fundamental para uma efetiva aplicação das diretrizes e políticas ambientais.

O planejamento participativo é mais do que a consulta prévia da coletividade sobre os problemas que a afligem, conforme ressaltam ALMEIDA *et al* (1998). Portanto, poder-se-ia argumentar que a APO seria apenas um primeiro passo em direção ao planejamento participativo. Mas, quando se considera que o planejamento participativo requer da comunidade a existência de mecanismos eficazes para a condução da máquina pública (ALMEIDA *et al*, 1998), observa-se a importância da APO como um instrumento que fornece um entendimento holístico da situação em questão, podendo servir também como base para a defesa dos interesses comunitários.

#### **4.3. A APO ACÚSTICA E A LÓGICA FUZZY**

Conforme mencionado anteriormente, o ambiente sonoro é um sistema ambiental e, como tal, é dotado de relações complexas, objetivas e subjetivas. Para desvendar tais

inter-relações, em síntese, é necessário realizar um diagnóstico ambiental baseado na identificação das variáveis acústicas, não estritamente acústicas e de variáveis subjetivas que interferem na resposta humana. Neste sentido, a seguir será enunciada a condição de existência deste sistema de variáveis, tomando por base a Avaliação Pós-Ocupação Acústica e a Lógica “Fuzzy”.

Conforme mencionado anteriormente, neste trabalho, o ambiente sonoro foi considerado um sistema “*fuzzy*”, cuja modelagem se inspirou no princípio de que a APO Acústica permite desvendar as relações existentes nesse sistema. A exemplo do que se delineou no Capítulo 3, o Sistema Ambiente Sonoro foi decomposto em quatro subsistemas. Todavia, o subsistema construtivo cedeu lugar ao subsistema ambiente urbano, já que o ambiente sonoro é constituído de elementos naturais e construídos pelo homem. Assim sendo, foram criados os subsistemas: ambiente urbano, físico, comportamental e funcional. Estes subsistemas receberam os dados resultantes da APO Acústica como valores de entrada, dando origem a indicadores parciais de adequação acústica de cada um desses subsistemas e a um indicador global da qualidade do ambiente sonoro.

Neste trabalho, a modelagem “*fuzzy*” permitirá atribuir um valor “discreto” (“*crisp*”)<sup>37</sup>, ou seja, um número real que representa uma nota, variando de zero a dez, para adequação global do ambiente sonoro e para cada um dos quatro subsistemas.

O primeiro passo em direção à elaboração do modelo “*fuzzy*” consiste na identificação dos atributos de cada subsistema e na definição dos seus dados de entrada. Em seguida, devem ser definidas as variáveis lingüísticas que representam a qualidade do ambiente sonoro como um todo. A partir de então, é necessário estabelecer as regras lingüísticas (regras de inferência) que expressam qualitativamente as características do sistema ambiente sonoro e o método de *desfuzificação* para converter as afirmações *fuzzy* em um único valor “*crisp*” que caracteriza a qualidade de cada um dos subsistemas em avaliação. Finalmente, deve-se estabelecer o método para obter o valor da adequação global do sistema.

---

<sup>37</sup> “*Crisp*” é o termo comumente utilizado na Teoria de Sistemas Nebulosos.

#### **4.3.1. A modelagem “fuzzy”**

Segundo SHAW *et al*, “os dois principais componentes de um sistema *fuzzy* são a sua estrutura e as funções de pertinência *fuzzy* utilizadas”. (1999, p.46) Embora existam outros tipos de estrutura, neste trabalho, será utilizada a estrutura baseada em regras, pois, conforme ressaltam esses autores, “o sistema “*fuzzy*” baseado em regras fornece um modelo da forma de pensar do ser humano, o qual é a base da APO”.

A modelagem *fuzzy* é definida como um método que descreve características de sistemas usando o raciocínio *fuzzy*.(HAMDI *et al*, 1999) No caso em questão, ela avalia lingüisticamente como cada variável influencia a qualidade do ambiente sonoro.

Todavia, não é possível considerar isoladamente a influência das variáveis presentes em cada subsistema sobre o nível de conforto acústico humano global, pois muitas variáveis dependem de outras. Dessa forma, o sistema é complexo, e não pode ser representado por uma equação simples, mas por uma estrutura composta por diversos subsistemas que se inter-relacionam.

Em síntese, a idéia básica é transformar todas as relações possíveis entre variáveis que afetam a qualidade do ambiente sonoro em regras lingüísticas *fuzzy* para descrever o indicador de adequação acústica do ambiente. Então, as relações de entrada e saída são transformadas em conjuntos de regras *fuzzy* e a qualidade do ambiente sonoro é obtida como resultado de uma avaliação *fuzzy* do estado de todas as variáveis que afetam cada subsistema.

#### **4.3.2. Identificação dos atributos de cada subsistema**

A seguir, são apresentados os atributos desses subsistemas. Observe que não se pretende estabelecer aqui uma definição rígida de cada subsistema proposto, pois devido à inter-relação mencionada, algumas variáveis consideradas como entrada de um determinado subsistema podem, segundo um outro ponto de vista, ser tratadas como entrada de outro subsistema.

Um aspecto que merece destaque é que, devido à necessidade de considerar a resposta humana, cada avaliação é realizada tendo em vista o tipo de atividade desenvolvida.

#### 4.3.2.1. Subsistema ambiente urbano (meio de propagação)

Quando a APO Acústica abrange uma área urbana extensa, o subsistema construtivo passa a fazer parte do subsistema ambiente urbano. Na verdade, ao se falar em ambiente urbano, se traduz a expressão “meio de propagação sonora”. Independentemente da existência de fontes sonoras, um ambiente urbano poderá ser avaliado com relação às propriedades acústicas dos diversos elementos que o compõem, ou seja, que caracterizam o meio de propagação sonora. Por exemplo, a partir das características de uma janela (vidro, caixilhos e vedações), pode-se avaliar a sua qualidade acústica. Do mesmo modo, pode-se avaliar a qualidade acústica de uma barreira acústica, seja ela natural ou construída pelo homem, a partir de suas características (espessura, altura, comprimento e materiais de revestimento de suas superfícies).

Assim sendo, a qualidade acústica de cada elemento que compõe a paisagem urbana irá caracterizar a qualidade acústica do ambiente urbano. **O subsistema ambiente urbano, portanto, é o conjunto de características do ambiente construído ou natural que contribuem para a configuração da ambiência sonora de uma área urbana objeto de estudo.**

Portanto, a qualidade acústica do meio urbano, composto de vias, edificações e elementos naturais, os quais interferem no caminho de propagação sonora e podem modificar a resposta da população à exposição sonora, são os principais atributos desse subsistema a serem avaliados. Assim sendo, os seus dados de entrada são: a qualidade acústica do envelope das edificações (qualidade acústica das paredes, permeabilidade da fachada, espessura de vidros, qualidade das esquadrias e materiais de revestimento), tipo de solo, densidade de vegetação e barreiras acústicas.

A avaliação desse subsistema tem como subsídio a análise visual técnica do espaço urbano e das edificações selecionadas como receptoras críticas, situadas na área de influência direta do aeroporto (Curva  $L_{dn} \geq 55 \text{dB(A)}$ ), tendo em vista as suas características construtivas. Essa análise visual é utilizada para aferir aspectos qualitativos e ajudar o pesquisador a compreender a realidade, mediante a realização de

observações sistemáticas, seguindo uma atitude investigativa do especialista em acústica ambiental.

A saída deste subsistema será a adequação acústica do ambiente interno ( $Y_1$ ), caracterizada pela qualidade acústica do envelope da edificação e do ambiente externo ( $Y_2$ ) caracterizada pela atenuação proporcionada pelas barreiras acústicas e pela absorção sonora resultante da densidade de vegetação, conforme indica o Fluxograma 4.1 apresentado no final deste capítulo. Observe que neste trabalho, não será considerada a absorção do solo, pois a inclusão desta variável no modelo proposto iria requerer a realização de um estudo mais profundo das propriedades dos diversos tipos de solo do que o apresentado no Capítulo 2.

#### **4.3.2.2. Subsistema físico (fontes e campos)**

É o conjunto de fenômenos físicos que interferem na resposta de uma população ao ruído. Basicamente, esse subsistema se relaciona à emissão (fonte sonora) e à imissão (receptores críticos). Verifica-se, neste caso, a adequação dos níveis sonoros medidos, tendo como referência o tipo de atividade desenvolvida no ambiente em avaliação. Assim sendo, são avaliados o campo sonoro e as fontes sonoras presentes na área objeto de estudo, em relação aos receptores críticos.

Deve-se observar a existência de dois campos sonoros, um relativo às fontes de ruído aeronáutico e outro ao ruído ambiente. Todavia, o campo sonoro relativo ao ruído aeronáutico depende do ruído emitido pelo sobrevôo de aeronaves e do ruído emitido pelas atividades aeroportuárias desenvolvidas no solo.

Em síntese, este subsistema tem como entrada o Nível de adequação do campo sonoro global<sup>38</sup>; o Nível de adequação do ruído intrusivo, devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação à atividade desenvolvida (comparado aos critérios estabelecidos pela NBR 12314/1997- Critérios de ruído para recintos internos das edificações submetidas ao ruído aeronáutico); o Nível de adequação do ruído ambiente medido *in loco* em relação a atividade desenvolvida (comparado aos critérios estabelecidos pela NBR 12314/1997); o Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de

---

<sup>38</sup> No qual se considera o ruído produzido pela atividade aeronáutica (no solo e no espaço aéreo) e por outras fontes sonoras que caracterizam o ruído ambiente.

aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente (baseado na NBR 10151/1987 da ABNT - Avaliação de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade) e o Nível de adequação da direção do vento dominante em relação aos receptores críticos.

A norma NBR 10151/87 foi substituída pela NBR 10151/2000, mas os níveis critérios por ela definidos são válidos quando se deseja avaliar o incômodo decorrente da introdução de uma atividade ruidosa.

Em outras APOs Acústicas realizadas anteriormente pela autora, a interferência do vento dominante na propagação sonora foi considerada como parte da avaliação do subsistema funcional. Todavia, a partir de novas reflexões, decidiu-se neste trabalho considerá-la parte integrante do subsistema físico, já que o vento pode modificar a propagação sonora e, dessa forma, aumentar o nível de ruído recebido em um determinado ponto.

Outra questão que merece destaque relaciona-se às medições de nível sonoro, as quais poderiam ter sido realizadas no interior das residências receptoras críticas, sendo desta forma, incluídas como mais uma variável de entrada desse subsistema. Todavia, devido à dificuldade de obter acesso direto aos residentes no local, neste trabalho estas medições não se efetuaram. Neste caso, os níveis sonoros internos foram estimados com base no fator de correção de -10 dB(A) para janela aberta e -15 dB(A) para janela fechada<sup>39</sup>. Estes níveis foram comparados aos níveis critérios determinados pela NBR 12314/1997. Observa-se que a NBR 12314/1997 da ABNT é muito semelhante a NBR 10152, mas no que se refere a determinados tipos de atividades, apresenta níveis critérios de avaliação mais restritivos.

A saída desse subsistema é a adequação acústica do ambiente externo e interno sob a ótica de uma avaliação técnica.

#### **4.3.2.3. Subsistema funcional**

O zoneamento urbano é um elemento importante no controle do ruído ambiental e na avaliação do sistema funcional, pois as atividades sensíveis ao ruído podem ser

---

<sup>39</sup> A NBR 10.151/2000 define que o nível critério de avaliação para ambientes internos é o nível indicado na tabela 1 com uma correção de -10 dB(A) para janela aberta e -15 dB(A) para janela fechada.

protegidas a partir dele. Assim sendo, o subsistema funcional relaciona a adequação do uso do solo com a localização das fontes sonoras e com o nível sonoro previsto. Esta previsão pode ser realizada em função das curvas isofônicas definidas pelo Plano Básico de Zoneamento de Ruído e por curvas de ruído traçadas com o *Integrated Noise Model* (INM) e com o *Helicopter Noise Model* (HNM).

A avaliação desse subsistema se baseia na análise de planos diretores municipais e aeroportuários, de aerofotogramétricos e de outras plantas locais, de planos de zoneamento de ruído aeroportuário, das cartas de vôo, das curvas de ruído projetadas e observações realizadas *in loco*, buscando localizar as fontes sonoras e as áreas sensíveis ao ruído (residências, hospitais e escolas), tais como aeroportos, vias de circulação de transporte terrestre, etc.

Este subsistema tem como entrada a adequação da implantação da edificação em relação à trajetória de helicópteros, adequação da implantação da edificação em relação à trajetória de aviões, adequação do uso do solo em relação à Portaria 1141/GM5 (Plano Básico), adequação do uso do solo em relação à Legislação Federal (NBR 10151/2000), adequação do uso do solo em relação ao  $L_{DN} 55 \text{ dB(A)}$ .

A saída deste subsistema é a adequação acústica do ambiente interno e externo, em relação ao tipo atividade desenvolvida.

Em geral, em APO Acústica as simulações são utilizadas para fazer previsão do nível sonoro e, portanto, avaliar variáveis físicas. Por isso, inicialmente, pensou-se em considerar as simulações com o INM e HNM na avaliação do subsistema físico. Todavia, a partir de maiores reflexões, decidiu-se considerar que estas simulações são entradas do subsistema funcional, pois as curvas de ruído possibilitam avaliar a adequação do uso do solo.

#### **4.3.2.4. Subsistema comportamental**

Através desse subsistema é avaliada a adequação acústica do ambiente do ponto de vista do usuário. Tem como dados de entrada a interferência do ruído rodoviário no desempenho de atividades, o nível de incômodo devido ao ruído aeronáutico e a interferência do ruído aeronáutico no desempenho de atividades. Essas informações

poderão ser obtidas através das técnicas de coleta de dados usuais em APO, relatadas no capítulo precedente.

Neste trabalho, os dados de entrada do subsistema comportamental foram fornecidos basicamente pelos resultados dos questionários aplicados. Mas, visando refinar a composição desse subsistema, poderiam ser incluídos como variáveis de entrada os dados obtidos pelas entrevistas, por observações de comportamento e de traços físicos. O nível de incômodo devido ao ruído de vizinhança também poderia ser uma variável de entrada a considerar, caso fossem incluídas questões específicas sobre este assunto. A saída desse subsistema é a adequação acústica do ambiente interno e externo sob o ponto de vista do usuário.

#### **4.3.3. Definição das variáveis lingüísticas de cada subsistema: o processo de fuzificação.**

Segundo PHILLIS *et al* (2000) a variável lingüística é definida pelo seu nome (por exemplo: incômodo), seus valores lingüísticos que representam subconjuntos *fuzzy* (por exemplo: não, muito pouco, pouco, moderadamente, muito e demais), funções de pertinência desses subconjuntos e o domínio físico sobre o qual elas assumem seus valores quantitativos.

Neste trabalho, conforme já mencionado, considera-se que o sistema ambiente sonoro esteja subdividido em quatro subsistemas: ambiente urbano, físico, comportamental e funcional.

Para avaliar a adequação parcial de cada subsistema, foram determinados oito indicadores primários de adequação acústica do ambiente interno e externo ( $Y_1, Y_2, Y_4, Y_5, Y_7, Y_8, Y_{10}, Y_{11}$ ), os quais resultaram da criação de regras de inferência primárias e receberam os valores lingüísticos Muito Fraca (MF), Fraca (F), Moderada (MO), Boa (B) e Muito Boa (MB) .

A combinação dos dois indicadores primários definidos para cada subsistema ( $Y_1, Y_2, Y_4, Y_5, Y_7, Y_8, Y_{10}, Y_{11}$ ) por meio da Lógica "Fuzzy" resultou quatro indicadores secundários de adequação dos subsistemas ( $I_1, I_2, I_3$  e  $I_4$ ), cuja combinação forneceu o indicador de adequação global do sistema ambiente sonoro ( $I_g$ ) .



A adequação global é função do grau de adequação parcial de cada subsistema. Assim sendo, foi definida por uma função resultante da combinação das regras “SE-ENTÃO” criadas subjetivamente pelo avaliador, baseadas em sua experiência profissional. A adequação parcial aqui é considerada como o grau com que cada subsistema atende aos requisitos de adequação acústica do ambiente interno e externo conjuntamente.

As variáveis lingüísticas primárias, bem como os indicadores primários e secundários de adequação assumiram os valores lingüísticos definidos caso a caso.

Finalmente, para a adequação global do sistema, foram adotados seguintes valores lingüísticos: Muito Fraca(MF) , Fraca (F), Moderada (MO), Boa (B) e Muito Boa (MB).

#### **4.3.4. Definição das regras de inferência**

Em Lógica “*Fuzzy*”, as relações entre entradas e saídas de cada subsistema são caracterizadas por um conjunto de regras de inferência, conforme já mencionado.

Segundo MENDEL (1995), essas regras podem ser fornecidas por especialistas que apresentam conhecimento profundo sobre o objeto de estudo ou extraídas de dados numéricos. As regras são estabelecidas em termos de variáveis lingüísticas associadas a conjuntos *fuzzy* e combinadas entre si.

Uma vez “fuzificadas” as entradas, pode-se definir o grau de pelo qual o antecedente satisfaz a cada regra. A criação de tais regras necessita da utilização de operadores, os quais podem representar a interseção ou a união entre os conjuntos *fuzzy*, conforme o caso. O operador “E” representa a interseção, enquanto o operador “OU” representa a união.

A composição de vários conjuntos *fuzzy* de entrada em uma regra é denominada **agregação**, enquanto a composição das saídas *fuzzy* de cada regra denomina-se **combinação**.

Na realização do processo de **agregação** são comumente utilizadas as “t-normas” (operadores) *mínimo (mín)* e *produto (prod)*. Os operadores *mínimo e produto* são

associados ao operador de interseção, implicando na utilização do conectivo “E” (MENDEL, 1995; SHAW *et al*, 1999).

Na **combinação**, entretanto, é mais comum a utilização da “s-norma” (operador) *máximo (máx)*, ao qual corresponde o conectivo “OU”. Todavia, também pode-se utilizar a soma algébrica quando se trata da união *fuzzy*. Este assunto é abordado com maiores detalhes por MENDEL (1995) e por SHAW *et al* (1999).

Neste trabalho, seguindo as recomendações de MENDEL (1995), por razões de simplicidade de computação, foram utilizados os operadores mínimo e máximo, os quais são amplamente empregados em aplicações no campo da engenharia e da Lógica “*Fuzzy*”.

É importante observar que cada regra tem um peso (um número situado entre 0 e 1), o qual é aplicado ao antecedente. Se este peso for 1, não acarretará qualquer efeito em todo o processo de implicação. A entrada do processo de implicação é um número único, dado pelo antecedente e a saída é um conjunto *fuzzy*. A implicação ocorre para cada regra.

#### **4.3.5. Definição das funções de pertinência**

A função de pertinência define o grau pelo qual um elemento pertence a um conjunto. Segundo MENDEL (1995), uma função de pertinência fornece uma medida do grau de similaridade entre um elemento pertencente a um determinado conjunto e um subconjunto. SHAW *et al* acrescentam:

“Uma função de pertinência é uma função numérica gráfica ou tabulada que atribui valores de pertinência “fuzzy” para valores discretos de uma variável, em seu universo de discurso” (1999, p. 46).

Convém observar que o universo do discurso na APO Acústica é uma propriedade do ambiente sonoro.

A única condição que uma função de pertinência deve satisfazer é variar entre 0 e 1. Ela pode ser dada por uma curva arbitrária com forma definida como uma função simples, conveniente e apropriada ( JANG *et al.*, 1997).

Conforme mencionado anteriormente, um conjunto *fuzzy* é uma extensão de um conjunto clássico. Assim, se  $X$  é o universo do discurso e seus elementos são denotados por  $x$ , então um conjunto *fuzzy*  $A$  em  $X$ , é definido como um conjunto de pares ordenados:

$$A = \{x, \mu_A(x) / x \in X\}$$

No qual  $\mu_A(x)$  é a função de pertinência (ou MF) de  $x$  em  $A$ , ou seja, a função que relaciona cada elemento de  $X$  a um grau de pertinência entre 0 e 1, no subconjunto  $A$ .

Existem vários tipos de função de pertinência, os quais são constituídos de funções básicas: funções lineares, função de distribuição de Gaussian, curvas quadráticas, polinomiais, sigmóides, etc. As funções de pertinência mais simples são as triangulares (JANG *et al.*, 1997).

O número de funções em um universo do discurso e seu formato são escolhidos com base na experiência, na natureza do objeto de estudo ou no conhecimento de pessoas envolvidas com o sistema que se deseja modelar.

De acordo com SHAW *et al.*, “um número prático de conjuntos *fuzzy* lingüísticos é algo entre 2 e 7. Quanto maior o número de conjuntos, maior a precisão, mas a demanda computacional também será mais significativa” (1999, p. 46).

Além disso, os autores recomendam, sempre que possível, a utilização de funções de pertinência triangulares, pois alguns métodos de desfuzificação utilizam apenas os máximos da função de pertinência, o que é bem visualizado em funções de pertinência triangulares.

Na prática, as funções de pertinência mais utilizadas são as triangulares e as trapezoidais. Neste trabalho foram utilizadas as triangulares.

#### **4.3.6. Definição do método de desfuzificação**

A definição do método de desfuzificação está relacionada ao contexto da decisão. Os métodos de desfuzificação mais utilizados são o Centro-da-Área, o Centro-do-Máximo e a Média-do-Máximo (SHAW *et al.*, 1999).

O método **Centro-da-Área** ou **Centro-de-gravidade** ou **Centróide** calcula o centróide da área que representa o termo de saída “fuzzy”, o qual é composto pela união de todas as contribuições de regras e tem como centróide o ponto que divide a área da função de pertinência de saída em duas partes iguais.

O **Centro-do-Máximo** ou **Método de Desfuzificação pelas Alturas** utiliza os picos das funções de pertinência representados no universo de discurso da variável de saída, desprezando-se as áreas das funções de pertinência. A saída discreta é dada pelo cálculo da média ponderada dos máximos.

#### **Média-do-Máximo ou Solução mais Plausível**

Este método é utilizado quando se deseja utilizar a saída que apresenta o maior valor de pertinência. Nele é tomada a média de todos os máximos.

### **4.3.7. Definição das variáveis de entrada e de saída de cada subsistema**

A seguir, serão definidas as variáveis de entrada e saída de cada subsistema, as quais serão adotadas no estudo de caso apresentado no Capítulo 5. Os Fluxogramas 4.1 e 4.2 esboçam o sistema proposto, com suas variáveis de entrada e saída. Todavia, no transcorrer do trabalho foi necessário adaptar estes fluxogramas às situações características observadas no estudo de caso. Em determinadas situações, variáveis que serviram de entrada no período inicial de desenvolvimento do trabalho, foram desconsideradas na elaboração do modelo *fuzzy*, por não serem mais necessárias. Todavia, no fluxograma 4.1 esboçados neste capítulo, todas as possíveis variáveis de entrada e saída descritas nesta seção estão representadas.

#### **4.3.7.1. Variáveis de entrada**

##### ***4.3.7.1. a. Avaliação do Subsistema ambiente urbano***

$U_1$  = Informações oriundas dos outros subsistemas

$U_2$  = Qualidade acústica do envelope da edificação

$U_3$  = Atenuação proporcionada pela existência de barreiras acústicas

$U_4$  = Absorção sonora proporcionada em função da densidade de vegetação.

#### **4.3.7.1. b. Avaliação do Subsistema comportamental**

U<sub>5</sub>= Informações oriundas dos outros subsistemas.

U<sub>6</sub> = Nível de interferência do ruído de rodoviário no desempenho de atividades.

U<sub>7</sub>= Nível de incômodo decorrente do ruído de aeronaves.

U<sub>8</sub> = Nível de interferência do ruído de aeronaves no desempenho de atividades.

#### **4.3.7.1.c. Avaliação do Subsistema físico**

U<sub>9</sub> = Informações oriundas dos outros subsistemas.

U<sub>10</sub> = Nível de adequação do tipo de campo sonoro.

U<sub>11</sub>= Nível adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação à atividade desenvolvida.

U<sub>12</sub> = Nível de adequação do ruído ambiente medido *in loco*, em relação à atividade desenvolvida.

U<sub>13</sub> = Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao o sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente.

U<sub>14</sub> = Nível de adequação do vento dominante em relação aos receptores críticos.

#### **4.3.7.1.d. Avaliação do subsistema funcional**

U<sub>15</sub> = Informações oriundas dos outros subsistemas.

U<sub>16</sub> = Nível de adequação da implantação da edificação, em relação à trajetória aeronaves (aviões e helicópteros).

U<sub>17</sub>= Nível de adequação acústica da implantação das edificações, em relação ao L<sub>DN</sub> 55 dB(A).

U<sub>18</sub> = Nível de adequação do uso do solo em relação à Portaria 1141/GM5 (Plano Básico).

U<sub>19</sub> = Nível de adequação do uso do solo em relação à Legislação Federal (Resolução Conama 01/1990).

#### **4.3.7.2. Variáveis de saída**

##### **4.3.7.2.a. Indicadores primários de adequação;**

Y<sub>1</sub>= Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do sistema ambiente urbano.

$Y_2$  = Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do sistema ambiente urbano.

$Y_4$  = Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do sistema comportamental.

$Y_5$  = Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do sistema comportamental.

$Y_7$  = Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do sistema físico.

$Y_8$  = Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do subsistema físico.

$Y_{10}$  = Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do sistema funcional.

$Y_{11}$  = Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do sistema funcional.

#### ***4.3.7.2.b. Variáveis de saída de um subsistema que podem servir de entrada para outros subsistemas***

$Y_3$  = Informações que poderão influenciar outros subsistemas.

$Y_6$  = Informações que irão influenciar outros subsistemas.

$Y_9$  = Informações que irão influenciar outros subsistemas.

$Y_{12}$  = Informações que irão influenciar outros subsistemas.

Observe que, conforme mencionado no início desta seção, estas variáveis foram consideradas no fluxograma 4.1, pois diversos dados coletados a partir da avaliação de um determinado subsistema, de alguma maneira, foram úteis às demais avaliações. Entretanto, nem todas foram incluídas na elaboração do sistema *fuzzy* proposto, pois sua inclusão complicaria demais o trabalho, sem necessidade.

#### **4.3.7.3. Indicadores secundários de adequação**

$I_1$  = Indicador de adequação acústica do subsistema ambiente urbano

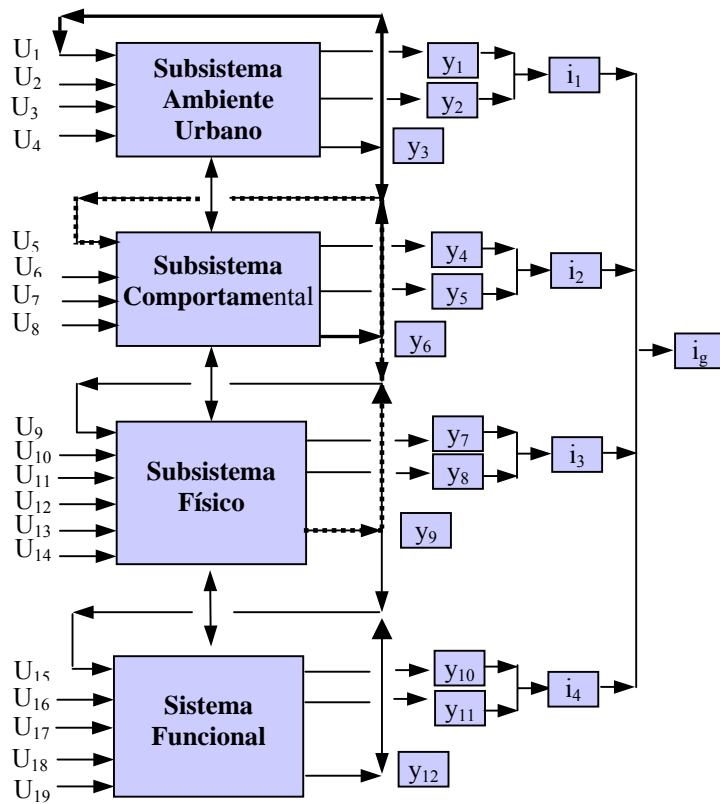
$I_2$  = Indicador de adequação acústica do subsistema comportamental

$I_3$  = Indicador de adequação acústica do subsistema físico

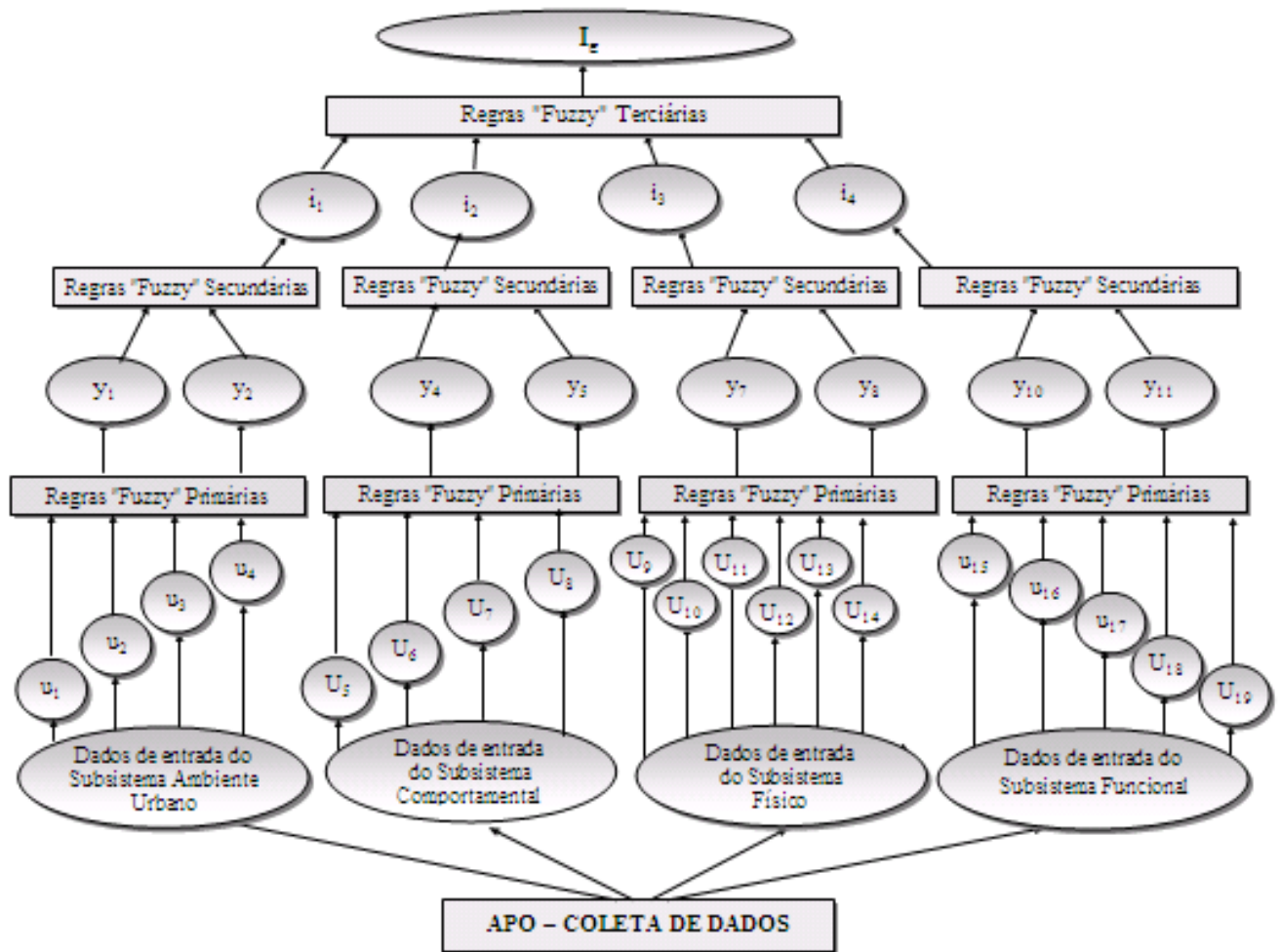
$I_4$  = Indicador de adequação acústica do subsistema funcional

#### 4.3.7.4. Indicador de adequação global:

$I_g$  = Indicador de adequação global do ambiente sonoro



**Fluxograma 4.1.**



Fluxograma 4.2.



## Capítulo 5

### ESTUDO DE CASO: O AEROPORTO DE JACAREPAGUÁ.

#### 5.1. A APO Acústica – Estudo de Caso

Neste capítulo, inicialmente, é apresentada a APO Acústica realizada na área em torno do Aeroporto de Jacarepaguá. Essa primeira fase do estudo de caso, visou levantar todos atributos necessários à definição de cada subsistema *fuzzy* que compõe o sistema principal: o Sistema Ambiente Sonoro.

Estes atributos foram obtidos através da coleta de dados, a qual foi realizada durante duas fases. Uma de levantamento de arquivos, que forneceu noções gerais sobre o ambiente objeto de avaliação (informações qualitativas), possibilitando dar início à avaliação em si. Outra que fez parte do processo de avaliação e forneceu informações qualitativas e quantitativas sobre os quatro subsistemas propostos.

Em seguida, é descrita a análise de dados mediante o emprego da Teoria de Sistemas Nebulosos. A princípio, pensou-se em criar um modelo único que incluísse as edificações residenciais receptoras críticas, o Colégio Estadual Vicente Jannuzzy e o Bosque da Barra. Contudo, no transcorrer do trabalho, concluiu-se que, dados os diferentes usos e localizações, seria mais adequado elaborar modelos independentes para grupos de edificações situados no interior da mesma curva de ruído e com o mesmo uso e, em seguida, criar um modelo final que incorporasse os resultados obtidos a partir dos três modelos elaborados. Porém, dada a limitação de tempo, decidiu-se criar o modelo somente para a área residencial.

Assim sendo, embora tenha-se realizado uma análise geral da situação acústica da área circunvizinha ao aeroporto e os questionários tenham sido aplicados nas residências receptoras críticas, no Colégio Estadual Vicente Jannuzzy e no Bosque da Barra, o Sistema *Fuzzy* foi desenvolvido somente para a área residencial. Entretanto, cabe salientar que esse modelo poderá ser adaptado aos demais casos e a criação do modelo final, que incorpora as demais avaliações realizadas, ficará como um novo desafio para o futuro.

### **5.1.1. Caracterização da área objeto de estudo**

Visando aplicar a APO Acústica, foi escolhida a área circunvizinha ao Aeroporto de Jacarepaguá (SBJR), A área situa-se na XXIV Região Administrativa da Barra da Tijuca, na qual estão presentes as duas fontes de ruído urbano consideradas mais incômodas: o ruído rodoviário e aeroportuário.

#### **5.1.1.1. A expansão urbana na região**

O Aeroprorto de Jacarepaguá foi o primeiro aeroporto do Rio de Janeiro e sediou a primeira ponte aérea que ligou a América Latina a Dakar, nos anos 20. Este aeroporto foi implantado inicialmente como um campo de pouso e decolagem que recebeu durante muitos anos vôos da Companhia Aeropostale (mais tarde Air France). Nessa ocasião, a Barra da Tijuca era uma área rural, pouco povoada, de acesso difícil, devido às condições adversas da região (muitos lagos, rios e alagadiços) e às dificuldades causadas pela falta de infra-estrutura. (<http://www.infraero.com.br>. Acesso em 20/02/2003)

Em 1944, este campo passou para a jurisdição do Ministério da Aeronáutica. Durante muitos anos a área foi utilizada pela Força Aérea Brasileira, para treinamento de aviadores. Em 1966, o então Campo de Pouso e Decolagem Jacarepaguá passou à categoria de aeródromo da Aviação Civil de pequeno porte e serviços correlatos, ficando a cargo do Ministério da Aeronáutica a elaboração do Plano Geral do Aeródromo e das respectivas instalações para utilização, pela aviação civil de pequeno porte, pelo aeroclube e empresas de manutenção, comércio, indústria de materiais aeronáuticos.

Em 1969, a efetiva construção do aeroporto foi iniciada, apresentando uma estação de passageiros, um pátio para estacionamento de aeronaves e três hangares para manutenção. Em 1971, após a conclusão das obras no Aeroporto de Jacarepaguá, o ministério da aeronáutica autorizou o início das operações de pequeno e médio porte<sup>40</sup>

---

<sup>40</sup> Aviação de pequeno porte é o “ tipo de aviação onde operam irregularmente aeronaves equipadas com motores turboélice ou pistão, com peso máximo de decolagem inferior a 9.000 Kg (nove mil quilogramas)”. Aviação de médio porte é o “tipo de aviação onde operam aeronaves equipadas com motores turboélice ou pistão, com peso máximo de decolagem inferior a 40.000 Kg (quarenta mil quilogramas)”.(Portaria nº 1141/GM5, 1987)

Ressalta-se que até o fim da década de 1950, a Barra da Tijuca permaneceu quase desconhecida. Só a partir da década seguinte, com a implantação de vias mais adequadas, teve início a construção dos primeiros grandes empreendimentos imobiliários e a implantação de moradias, atividades comerciais e de lazer (<http://www.casaemcasa.com.br>, acesso em 26/08/2004). Em 1966, a construção da auto-estrada Lagoa-Barra (com o objetivo de diminuir a distância entre a Barra da Tijuca e a zona sul da cidade), impulsionou a acelerada ocupação do bairro.

Para evitar a sua ocupação desordenada, a administração pública aprovou em 1969 o Plano Lúcio Costa (<http://www.crea.rj.org.br/noticias>. Acesso em 07/04/2003), o qual através do Decreto Municipal nº 3046/81, que buscava normatizar sua aplicação, foi modificado em vários pontos visando atender aos interesses da especulação imobiliária.

A maior parte do espaço urbano ocupado pela Barra foi concebido seguindo os preceitos do Plano Lúcio Costa, o qual separa áreas em função do uso do solo. Hoje, a área é ocupada por torres de edifícios separadas entre si por áreas verdes, destinadas às classes sociais média e alta. Observa-se que a renda mensal *per capita* na região está acima de R\$ 2.400,00 e o índice de alfabetização de adultos é o segundo mais alto no Rio de Janeiro, 99,38% de alfabetizados (<http://www.casaemcasa.com.br>. Acesso em 26/08/2004).

Segundo dados do Instituto Pereira Passos (IPP), a população residente na Barra da Tijuca variou de 5779 habitantes, em 1970, para 174.353 habitantes, em 2000. (GEIGER, P., 2001)

Tendo em vista a beleza natural da região, a concepção arquitetônica das edificações valoriza a interação com o ambiente externo, prevalecendo as grandes varandas e as fachadas envidraçadas, tornando as edificações muito permeáveis ao ruído externo. Deste modo, a população local fica mais exposta ao ruído urbano e a entrada em operação de quaisquer atividades ruidosas deve ser conduzida com prudência.

A atividade econômica na região é intensa, tendo sido instalados diversos *shopping centers*, o autódromo, edifícios comerciais, centros de exposições e convenções. Atualmente, a Barra da Tijuca, mais do que um centro de comércio, lazer e

entretenimento, é uma potência econômica, o que acarreta uma considerável valorização imobiliária nesta localidade.

O transporte rodoviário é predominante no local, sendo a área cortada por dois eixos viários principais: a Av. Ayrton Senna e Av. das Américas, através dos quais se processam os fluxos da população local para outras áreas e vice-versa.

Todavia, o sistema viário tornou-se incapaz de absorver o fluxo de veículos gerado, tornando o tráfego rodoviário caótico, principalmente no verão (época em que a praia e demais entretenimentos atraem turistas e habitantes de toda a cidade).

Deste modo, a população de alto poder aquisitivo, visando romper as barreiras impostas pelo sistema de transporte terrestre, passou a optar também pelo transporte aéreo aumentando substancialmente o fluxo de aeronaves na área. Atualmente diversas empresas de taxi aéreo atuam no aeroporto, realizando vôos turísticos e executivos. (<http://www.barraonline.com.br/aeroporto1>, Acesso em 06/01/2003)

Vale ressaltar que ampliação deste aeroporto vem sendo discutida, suscitando polêmica e pressões da população local, conforme pode-se constatar através da publicação de reportagens no “Jornal O Globo” nos dias 11 e 12 de fevereiro de 2004 (<http://www.arquivoglobo.globo.com/pesquisa/texto>. Acesso em 12/02/2004). Observa-se que enquanto a população local e a Câmara Comunitária da Barra são radicalmente contra a revitalização do Aeroporto de Jacarepaguá, a Associação Comercial e Industrial (Acibarra) é favorável.

Na década de 80, o IAC desenvolveu um Plano Diretor para o Aeroporto de Jacarepaguá e, recentemente, a INFRAERO elaborou um novo Plano Diretor para este aeroporto. Verifica-se que em junho de 2001 havia previsão da introdução de vôos não regulares de aeronaves, com capacidade de 20 passageiros, em direção a Búzios, Campos, Macaé, Parati e Angra dos Reis.

### 5.1.1.2. O entorno

Hoje, na área em torno do Aeroporto de Jacarepaguá encontram-se: ao Norte, a Lagoa de Jacarepaguá; a Leste, os hospitais Lourenço Jorge e Barra D'Or, bem como áreas co-merciais; ao Sul, a reserva biológica denominada Parque Arruda Câmara (popularmente conhecida como Bosque da Barra), mansões e edificações residenciais multifamiliares e o Colégio Estadual Vicente Jannuzzy e, a oeste, a Lagoa de Jacarepaguá. Na área Sul do aeroporto, também se encontram as escolas municipais Tristão de Athayde, Prof. Albert Einstein e Prof. Zuleika N. de Alencar localizadas, respectivamente nos condomínios Mandala, Novo Leblon e Alfa Barra, bem como vários condomínios residenciais (Vivendas do Bosque, Santa Mônica, Santa Marina, Maibu, Parque Palace, Barra Deck e Alfa Barra, dentre outros ainda em construção).

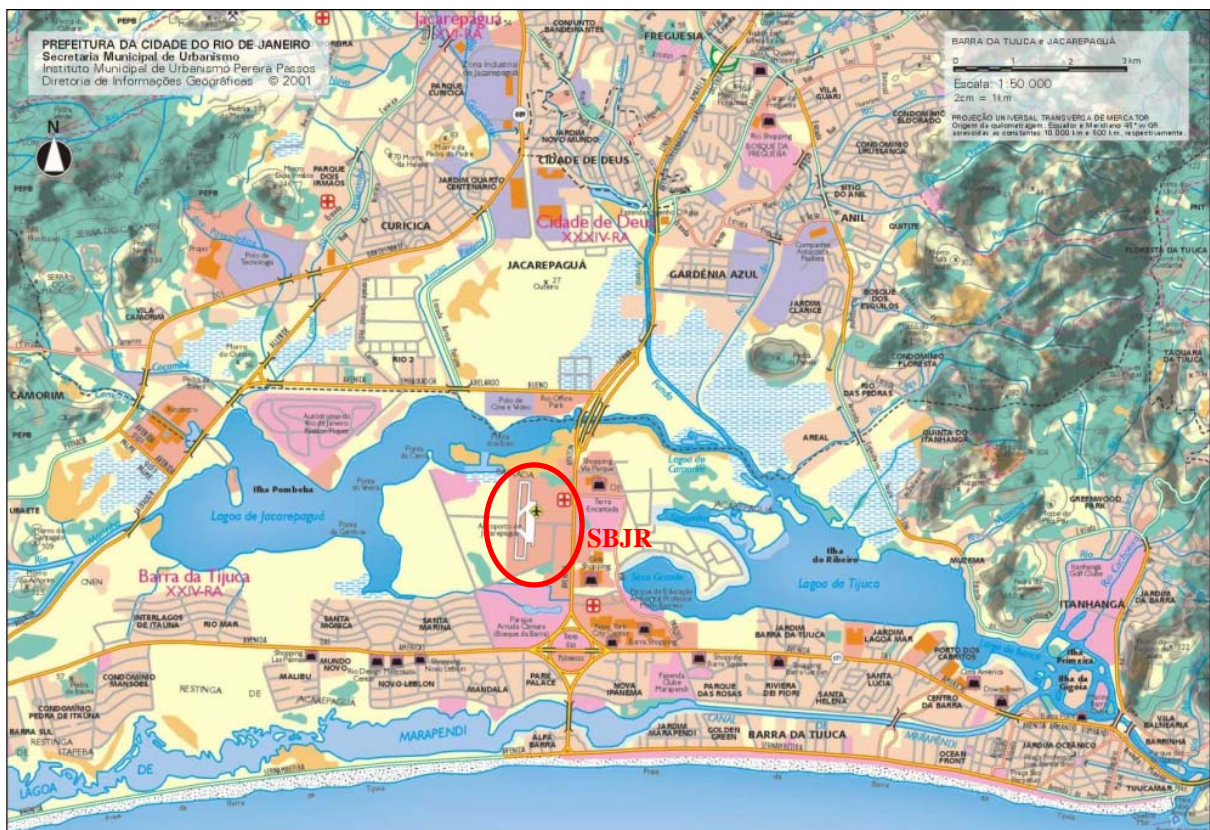


Figura 5.1. Localização do Aeroporto de Jacarepaguá (SBJR)

### 5.1.2. Caracterização do Aeroporto SBJR

O SBJR é um aeroporto doméstico<sup>41</sup> local, caracterizado pela operação exclusiva da aviação geral<sup>42</sup> e militar, constituída basicamente por aeronaves de asa fixa e asa rotativa, sendo que estas últimas representam cerca de 66 % da movimentação do aeroporto (<http://www.infraero.gov.br>. Acesso em 22/10/2004).

Segundo a portaria 1322/DGAC, de 13 de setembro de 2001, do Ministério da Defesa, que define a operação de aeronaves civis nacionais e estrangeiras em aeroportos situados nas “Áreas de Controle Terminal” do Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte, este aeroporto tem por objetivo atender aos vôos não regulares das empresas de táxi aéreo, da aviação geral e do Aeroclube do Brasil.

Atualmente, é utilizado para a realização de exercícios militares, treinamento de pilotos e, também, para atender a aviação de pequeno e médio porte no que diz respeito ao transporte de passageiros (Classe A) motivados por atividades comerciais e turísticas na região. O Aeroclube do Brasil, empresas de propaganda aérea, escolas de pilotagem e paraquedismo também atuam no aeroporto<sup>43</sup>.



<sup>41</sup> Onde são realizados somente vôos nacionais

<sup>42</sup> A aviação geral engloba todos os setores da aviação civil que não estão envolvidos com o transporte aéreo regular de passageiros e cargas e, em especial, o setor representado pelos aviões e helicópteros, particulares ou operados por empresas de táxi aéreo, que voam no Brasil prestando serviços de transporte aéreo não-regular. ( Associação Brasileira de Aviação Geral – <http://www.abag.org.br>, Acesso em 18/01/2003).

<sup>43</sup> O Aeroporto de Jacarepaguá é o único local para a prática de pára-quedismo no Rio de Janeiro e é onde funciona a única empresa da cidade especializada em pára-quedismo.

De acordo com as normas da aviação civil, este aeroporto está classificado na categoria II:

“Pista de aviação regular de grande porte e média densidade – pista na qual haja ou esteja prevista no período de até 20 anos, a operação de aeronaves de aviação regular de grande porte, cuja soma de pousos e decolagens existentes ou previstos seja inferior a 6.000 movimentos anuais e que o número de operações no período noturno destes tipos de aviação não seja superior a 2 movimentos ou cuja soma de pousos e decolagens existentes ou previstas seja inferior a 3.600 movimentos anuais e que exista operação noturna, porém com número de operações desse tipo de aviação inferior a 2 movimentos”. (Portaria 1141/GM5, 1988)

Segundo a INFRAERO, em 1999, o movimento diário médio no aeroporto foi de 237 pousos e decolagens (considerando toques e arremetidas). Até novembro de 2000, este movimento subiu para 281 pousos e decolagens (considerando toques e arremetidas). (<http://www.infraero.gov.br>. Acesso em 22/10/2004)

Observa-se que aumento do tráfego aéreo está relacionado com o desenvolvimento econômico da região e a deficiência do sistema viário, pois, de acordo com o IAC:

“com base no estudo do Sistema aeroportuário Metropolitano do Rio de Janeiro, foi possível detectar que a Região Oeste do Município vem apresentando um expressivo crescimento, que permite vislumbrar um cenário econômico que contempla a transferência de vôos não regulares e, posteriormente, de parte dos vôos da Ponte aérea e do Tráfego Regional, para o Aeroporto de Jacarepaguá.”(1998, p. 2)

Segundo o estudo do Sistema Aeroportuário Metropolitano do Rio de Janeiro, realizado pelo Instituto de Aviação Civil (IAC), a região oeste do município apresenta uma demanda para a absorção de vôos não regulares, de vôos da Ponte Aérea e do tráfego regional pelo Aeroporto de Jacarepaguá. Assim sendo, há previsão de que, no futuro, este aeroporto seja utilizado para absorver parte do tráfego de aeronaves convencionais e turbo-hélice do Aeroporto Santos Dumont, quando a pista for ampliada para 1.200 m de comprimento e houver balizamento noturno (IAC, 1998).



### 5.1.2.1. Infraestrutura aeroportuária

O SBJR apresenta uma única pista com dimensão de 900 x 30m e rumo 02/20. Possui ainda 12 helipontos, com área aproximada de 1750m<sup>2</sup> cada um, localizados na extrema direita do pátio de aeronaves, próximo à cabeceira 02. Dentre estes, apenas 2 são utilizados prioritariamente para pousos e decolagens dos helicópteros e 10 para pontos de estacionamento. (Para maiores detalhes, veja o Anexo 1)

### 5.1.2.2. Condições operacionais

O Controle de Tráfego Aéreo do Aeroporto de Jacarepaguá é efetuado pela INFRAERO, através da Torre de Controle, que presta os serviços de controle, informações de vôo e alerta, abaixo de 2.000 pés. Todas as aproximações e saídas são realizadas sob regras de vôo visual (VFR)<sup>44</sup>.

O aeroporto funciona diariamente, das 6:00 da manhã até o por do sol, com pousos e decolagens de aeronaves de asa fixa (ambas as cabeceiras) e, também após este período, com aeronaves de asa móvel (helicópteros). Outrossim, são realizadas operações de helicópteros, durante o período noturno para reportagens e vôos de emergência. No aeroporto operam, basicamente, aeronaves cujo peso varia de 7.200 a 136.000 Kg.

Cabe ressaltar que estas aeronaves são classificadas como Capítulo 3, 5, 6, 8, 10 e 11, segundo o Anexo 16 da Convenção relativa à Aviação Civil Internacional – *Environmental Protection*, Volume I – *Aircraft Noise*, no qual figuram todas as disposições relativas aos aspectos da aviação ligados ao ambiente, à certificação acústica de aeronaves (grandes aeronaves subsônicas a jato, aeronaves a hélice e helicópteros) e aos métodos para medir e monitorar o ruído. (OACI,1988)

---

<sup>44</sup> *Visual Flight Rule (VFR)* é utilizado para a maioria dos aviões de pequeno porte. Permite voar apenas em boas condições meteorológicas. Em geral, só é possível voar durante o dia. Os vôos visuais durante a noite são submetidos a regras mais restritas. O piloto é responsável pela condução do vôo e deve respeitar as altitudes mínimas de sobrevôo, que dependem da altura das aglomerações sobrevoadas ou voar longe das áreas habitadas. O vôo visual exige boa formação e experiência do piloto. *Instrument Flight Rule (IFR)* permite voar em quaisquer condições meteorológicas, seja durante o dia ou à noite (no limite das características do avião). A aterrissagem e decolagem em cada aeroporto exigem uma visibilidade que varia em função dos equipamentos do aeroporto, do avião e da qualificação do piloto. Os vôos IFR são controlados pelo serviço de controle de tráfego. A responsabilidade de seguir as trajetórias é do piloto. (CNB, 2002)



Segundo informações fornecidas pela torre de controle do aeroporto, o seu movimento varia em função da demanda das escolas de aviação e paraquedismo, das propagandas aéreas e do transporte de passageiros em pequenos aviões. Observa-se que estes vôos estão diretamente relacionados às condições de tempo, pois são realizados visualmente e não há iluminação na pista, exceto na área destinada ao pouso e decolagem de helicópteros, próxima à cabeceira 02.

Deste modo, o maior movimento ocorre no verão, principalmente nos fins de semana (sexta, sábado e domingo). Durante a semana, os dias de maior movimento são a sexta-feira e o sábado, quando as atividades de treinamento na escola de aviação e pára-quedismo, bem como de transporte de passageiros e propaganda aérea estão presentes simultaneamente. Aos domingos ocorre grande movimento de treinamentos da escola de aviação e de aeronaves de propaganda. Às segundas-feiras, o movimento de aeronaves decorre basicamente do transporte de passageiros.

A seguir, serão apresentadas as avaliações dos subsistemas propostos e, numa próxima etapa, será efetuada a análise de dados mediante o emprego da Teoria de Sistemas Nebulosos.

### **5.1.3. Avaliação do Subsistema Comportamental**

Considerando a importância de conhecer a área objeto de estudo com maior profundidade, a fim de possibilitar traçar um diagnóstico completo da situação, foram realizadas visitas ao local e entrevistadas pessoas-chave, tais como membros da direção de uma escola da rede pública situada a 944 m da cabeceira 02 do aeroporto (Colégio Estadual Vicente Jannuzzy), administradores de edifícios residenciais situados na direção da rota de pouso e decolagem de aeronaves, o médico responsável pelo centro de estudos do Hospital Municipal Lourenço Jorge, também situado a 876 m do eixo da cabeceira 02 do aeroporto, bem como profissionais que atuam na torre de controle do Aeroporto de Jacarepaguá, profissionais responsáveis pela aprovação de projetos junto ao Departamento de Licenciamento e Fiscalização (DLF) da Prefeitura do Rio de Janeiro e profissionais da Secretaria de Meio Ambiente.

Enviaram-se correios eletrônicos à Câmara Comunitária da Barra da Tijuca, visando indagar se havia queixas comunitárias relativas ao ruído aeronáutico e sobre a postura da comunidade com respeito a ampliação do aeroporto. O seu presidente, Sr.

Delair Dumbrosck, informou, em nome da Câmara, que inúmeras manifestações públicas já foram realizadas e que existe uma discordância a cerca da ampliação do Aeroporto.

Por sua vez, a secretaria de meio ambiente afirmou não receber reclamações relativas ao ruído aeroportuário e mencionou que, em geral, as queixas decorrem do funcionamento de boates e bares. O DLF apenas forneceu informações sobre o zoneamento urbano local. Os profissionais desse órgão desconheciam a Portaria Nº1141/GM5 do Ministério da Aeronáutica e alegaram que geralmente os processos de construção naquela região são encaminhados às esferas administrativas superiores, sem que tenham notícias sobre as decisões finais.

Segundo os membros da direção do Colégio Estadual Vicente Jannuzzy, o ruído aeronáutico incomoda bastante, principalmente quando há aulas aos sábados.

Também foram entrevistados dois moradores do Condomínio Vivendas do Bosque, cuja possibilidade de ser a área residencial mais impactada inicialmente foi considerada, por estar situada mais próxima do aeroporto (a 1027 m do eixo da cabeceira 02). Estes moradores comentaram que em seu condomínio somente os residentes nos apartamentos voltados para o Leste queixam-se de incômodo sonoro devido aos pousos e decolagens de aeronaves. Contudo, eles alegaram ter notícias de que os moradores do Condomínio Barra Deck, o qual se situa ao sul da pista (a cerca de 1150 m do eixo da cabeceira 02), na rota de pouso e decolagem, realizam constantes reclamações.

A torre de controle do aeroporto afirmou receber queixas dos moradores do Condomínio Barramares (situado a cerca de 1200 m do eixo da cabeceira 02).

O médico responsável pelo Hospital Lourenço Jorge informou que, como não há internações, o ruído aeronáutico não chega a interferir no desempenho de atividades, mas que provavelmente o Hospital Barra D'Or, situado a cerca de 450 m do eixo da pista, deveria ser um receptor crítico, dada a sua localização em relação ao aeroporto. Infelizmente, após inúmeras tentativas de contato com a direção do hospital, desistiu-se de avaliar esta situação.

Finalmente, numa tarde de segunda feira, entrevistou-se uma corretora de imóveis, simulando o interesse na aquisição de um apartamento situado na rota de pouso e decolagens de helicópteros. Observando-se as constantes passagens de aeronaves a

baixa altitude, indagou-se sobre o possível incômodo devido ao ruído resultante dos sobrevôos. A corretora negou e disse que somente helicópteros sobrevôam a área.

Todas essas entrevistas orientaram na definição das áreas que poderiam ser mais impactadas pelo ruído aeroportuário.

As observações em campo foram realizadas durante vários dias úteis, no período da manhã, tarde e noite, também auxiliando na seleção dos pontos de medição situados no interior da área delimitada pela curva  $L_{DN}=55$  dB(A), ou seja, pontos com  $L_{DN}\geq 55$ dB(A).

Em seguida, após a realização das medições, decidiu-se aplicar questionários somente às edificações situadas na direção da pista de pouso e decolagem voltadas para a cabeceira 02, onde se observou que o incômodo deveria ser mais acentuado, visto que as aeronaves em treinamento fazem a curva de retorno ao aeroporto sobre elas.

Pensou-se em aplicar questionários também em uma escola particular e no Hospital Barra D'Or, todavia os administradores de tais instituições não concederam autorização para a realização das atividades.

Também nos edifícios residenciais encontrou-se certa resistência por parte dos administradores. Os mesmos se reuniram, a fim de decidir conjuntamente se deveriam autorizar a aplicação dos questionários. A autorização foi concedida, mas com a condição de que os questionários fossem entregues aos moradores pela própria administração e que não fossem divulgados os nomes dos condomínios, por temerem a desvalorização de seus imóveis. Deste modo, a administração se encarregou de entregar um questionário a cada apartamaneto dos edifícios situados na rota de pouso e decolagem, área considerada pela equipe como receptora crítica, totalizando 382 questionários. Todavia, somente 67 foram respondidos, correspondendo a 17,54% da população.

Na escola pública mencionada anteriormente, foi autorizada a aplicação dos questionários a alunos e professores. Todavia, a direção considerou mais adequado que a coordenadora de ensino os aplicasse aos professores durante a reunião do conselho de classe e que os próprios professores os aplicassem, como atividade de aula, aos alunos do turno da manhã e da tarde. Observando-se que nestes períodos há um total de 1000

alunos, foram aplicados questionários a 188 alunos (18,8 % da população) e a 12 professores.

A aplicação de questionários no Parque Arruda Câmara não necessitou de autorização, já que é uma área de uso público. Assim, a equipe teve livre acesso a ela, sendo respeitado apenas o horário de abertura e fechamento do parque.

Conforme informado pela administração do local, não há como estimar com precisão o número de pessoas que o frequentam, pois o acesso é livre. Todavia, acredita-se que a frequência não ultrapasse 50 pessoas por dia, embora em dias de grandes eventos a frequência seja vinte vezes este valor. Deste modo, considerando que, em três dias, a frequência estimada tenha sido em torno de 150 pessoas, foram aplicados 61 questionários (em dois dias úteis e em um Sábado) ao público, em geral, correspondendo a 40,6% do público estimado. Também foram entrevistados 5 trabalhadores do parque (dois biólogos, um comerciante e dois vigilantes).

#### 5.1.3.1. Resultados da avaliação do subsistema comportamental

Os questionários respondidos foram tabulados a partir da utilização do programa *EPI Info*, Versão 6.0, desenvolvido pelo *Center For Disease Control And Prevention* (<http://www.cdc.gov/epiinfo>, 2002)

Este é um programa estatístico, de acesso livre, destinado a profissionais da área de saúde pública, mas que pode e vem sendo utilizado para análise e tabulação de dados em outras áreas de pesquisa, tais como a Avaliação Pós-Ocupação, por autores como SANTOS *et al* (1997; 1998) e MACEDO (1999).

Visando não influenciar as respostas, procurou-se abordar nos questionários outros assuntos, antes de indagar sobre aspectos relativos ao ruído aeronáutico.

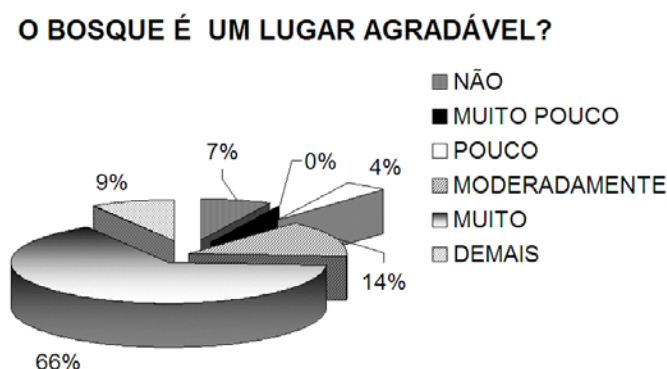


Figura 5.2. Adequação do Bosque ao uso.

Foram criadas questões que possibilitassem avaliar o nível de incômodo devido ao ruído rodoviário, nível de incômodo devido ao ruído aeronáutico, o nível de

incômodo devido ao ruído de vizinhança e o nível de interferência do ruído aeronáutico no desempenho de atividades.

No Bosque da Barra foram incluídas questões tais como “Você acha o bosque um lugar agradável?”; “O que você acha que poderia ser feito para melhorá-lo?”. Estas questões além de tirar a atenção do indivíduo sobre o foco principal da pesquisa (o ruído aeronáutico), tendo em vista a grande influência dos aspectos subjetivos no incômodo, serviram para identificar que importância é atribuída ao ruído de aeronaves na qualidade ambiental do parque. Ressalta-se que somente aspectos relativos à manutenção, segurança, arborização e infra-estrutura foram mencionados pelos usuários. Ninguém apontou tal fonte de ruído como um fator que tornasse o bosque um lugar desagradável.

Na escola, foram introduzidas inicialmente questões abertas que indagavam sobre situações nas quais seria necessário professores falarem mais alto, de modo que se pudesse verificar se o ruído de aeronaves chega a provocar mascaramento sonoro. Em seguida, foram abordadas questões sobre o ruído de trânsito, para então chegar-se às questões diretamente relacionadas ao ruído emitido por aviões e helicópteros. Constatou-se que nenhum dos professores atribuiu ao ruído de aeronaves o fato de ter de elevar a voz para ser ouvido e somente 3 alunos (entre os 188) atribuíram este fato ao ruído de aviões.

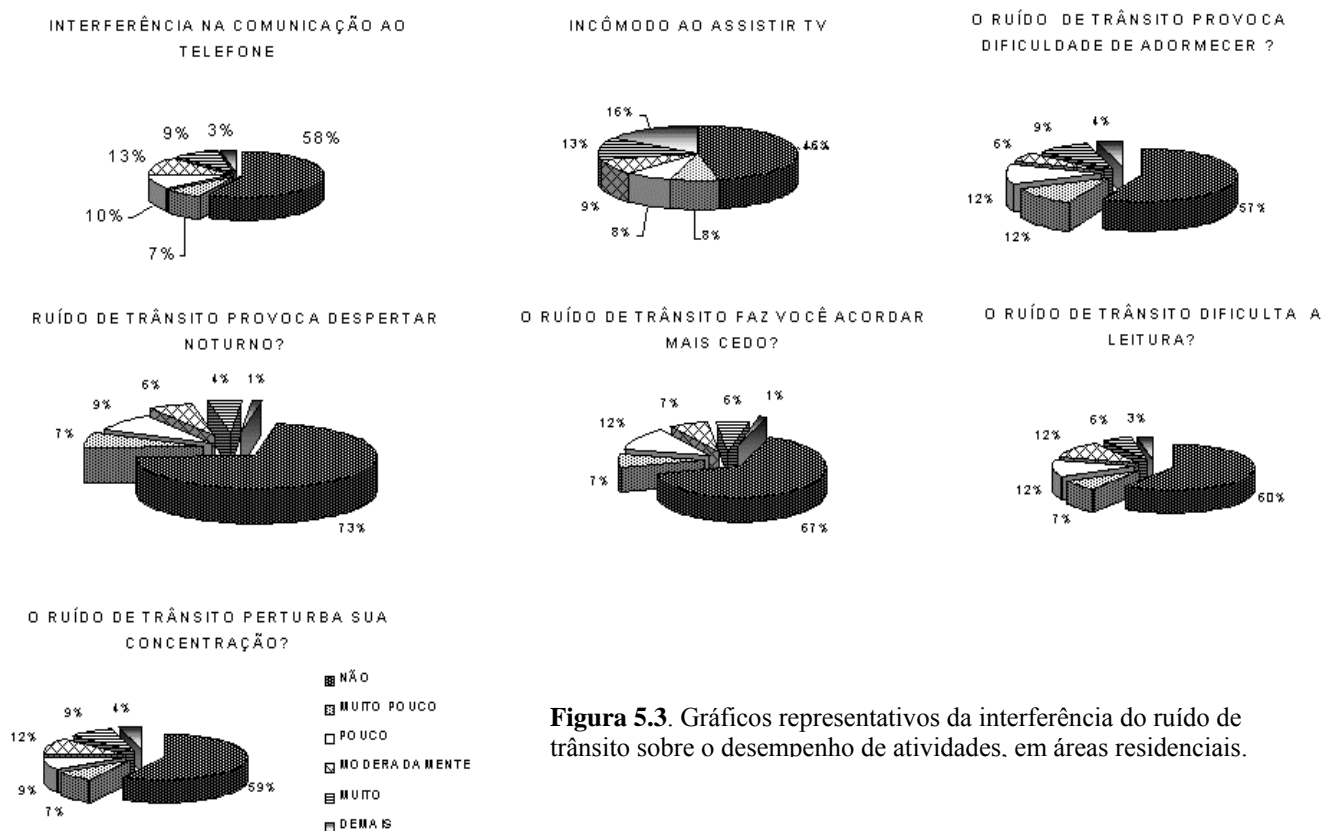
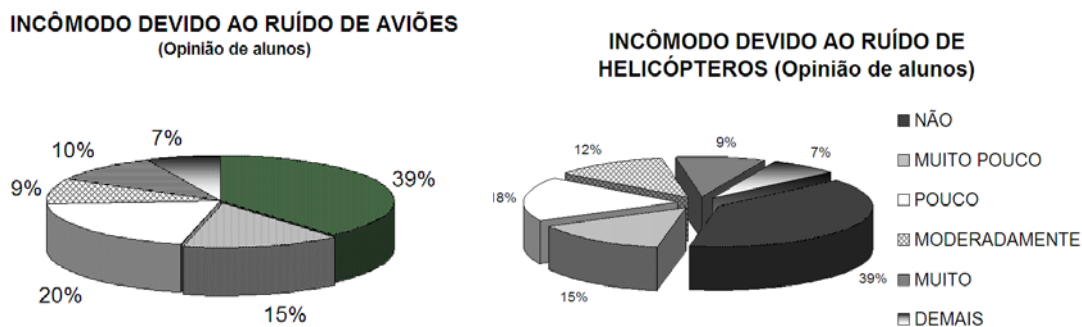


Figura 5.3. Gráficos representativos da interferência do ruído de trânsito sobre o desempenho de atividades, em áreas residenciais.

Nas residências, tendo em vista que não foi permitido aplicar os questionários pessoalmente, procurou-se incluir o menor número de questões possível, omitindo-se aquelas relativas a outras fontes sonoras. Foram introduzidas inicialmente questões sobre o ruído de trânsito, seus efeitos sobre o sono e o desempenho de atividades (ler, falar ao telefone, assistir TV e concentrar-se - Figura 5.3), para então chegar às questões sobre o ruído de aeronaves (Figura 5.4).



**Figura 5.4.** Incômodo decorrente do ruído de aeronaves na opinião de alunos.

De modo geral, pode-se constatar que o ruído de trânsito não provoca fortes interferências sobre o desempenho de atividades.

A seguir, serão apresentados os resultados da tabulação dos questionários aplicados na escola, no Bosque da Barra e nas residências.

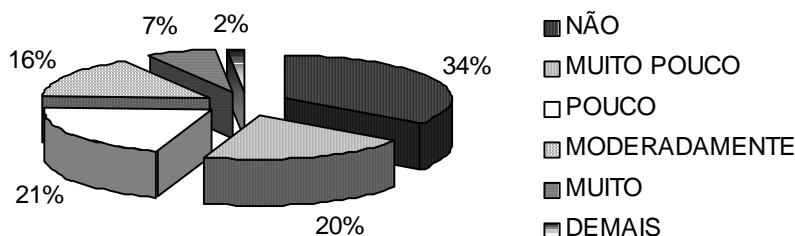
#### **5.1.3.1.a. Escola Vicente Jannuzzy**

Foram elaborados dois tipos de questionários específicos para aplicá-los a professores e alunos do primeiro e segundo anos do ensino médio. Embora a faixa etária dos alunos seja acima dos 15 anos, nos questionários dirigidos a eles, procurou-se utilizar uma linguagem simples, a fim de garantir a sua compreensão. Em ambos questionários foram introduzidas questões abertas visando identificar se existiriam preocupações mais importantes do que o ruído aeroportuário sob o ponto de vista dos usuários.

Da análise dos questionários pode-se constatar alguns aspectos importantes. Observa-se, inicialmente, que o nível intelectual dos alunos é muito inferior ao esperado de um aluno do nível médio. A preocupação com a merenda escolar, que não vem sendo fornecida, é preponderante. O conforto térmico é uma outra questão que os preocupa, pois não existem ventiladores nas salas de aula.

Segundo a direção e coordenação de ensino da escola, o ruído aeronáutico interfere no desempenho de atividades, porém alunos e professores apontam os ruídos internos, provenientes da indisciplina de alunos e da ausência de inspetores, como os que provocam maior incômodo e perturbam o desempenho

#### AO FECHAR A JANELA DIMINUI O RUÍDO EXTERNO?



**Figura 5.5.** Qualidade acústica da janela do Colégio Estadual Vicente *Jannuzzi*.

de atividades. Nenhum dos professores considerou que o ruído de aeronaves chegue a prejudicar o desempenho dos alunos. Como verifica-se na Figura 5.4, o ruído de aviões e helicópteros, respectivamente, provoca forte incômodo (muito e demais) em 17% e 16% dos alunos e ambos os tipos de aeronaves provocam algum nível de incômodo em 61% dos alunos.

O mesmo ocorreu em relação ao ruído de trânsito, visto que somente 14,85% o consideram muito e excessivamente incômodo.

No que diz respeito a qualidade acústica das janelas (do tipo basculante, muitas delas com vidros quebrados) observa-se que 34% dos alunos consideram que o ruído externo não diminui ao fechá-las, 20% consideram que diminui muito pouco, 21% consideram diminuir pouco e 16% diminuir moderadamente. Somente 9% consideram que ao fechar a janela existe uma forte redução de ruído (muito e demais) (Figura 5.5).

#### **5.1.3.1.b. Áreas Residenciais.**

A amostra selecionada na área residencial é constituída de pessoas com nível superior (médicos, advogados, analistas de sistemas, dentistas, arquitetos, professores e estudantes universitários), comerciantes e empresários que moram no local há mais de 6 meses. 70,7% da amostra residem no local há mais de dois anos.

A partir da análise das respostas tabuladas, observa-se que o ruído emitido por aviões e helicópteros interfere fortemente na comunicação ao telefone em 74% da amostra (muito e demais) e provoca forte incômodo ao assistir TV a 76%.

O ruído aeronáutico interfere significativamente no desempenho de atividades que requerem concentração (56%) e na leitura (44%). Os despertares noturnos são menos frequentes, afetando uma parcela menor da população entrevistada (18%), embora as dificuldades de adormecer e o despertar mais cedo atinjam uma parcela não desprezível da amostra (29% e 37%, respectivamente). (Figura 5.6)

Observe que, no aeroporto, existem poucos movimentos durante a madrugada e a maior parte dos movimentos noturnos não ultrapassa a meia noite. Todavia, foi observado numa manhã de sábado, no período das 7:30 às 7:45, o sobrevôo de 4 pequenos aviões a jato que se aproximavam do aeroporto para pouso, com intervalos inferiores a 5 minutos entre suas passagens. Das 8:00 as 10:00 horas, somente o sobrevo de pequenos aviões e helicópteros, tanto em regime de aproximação como de decolagem foi observado.



Foto 5.4. Sobrevôo de helicóptero sobre condomínio residencial.

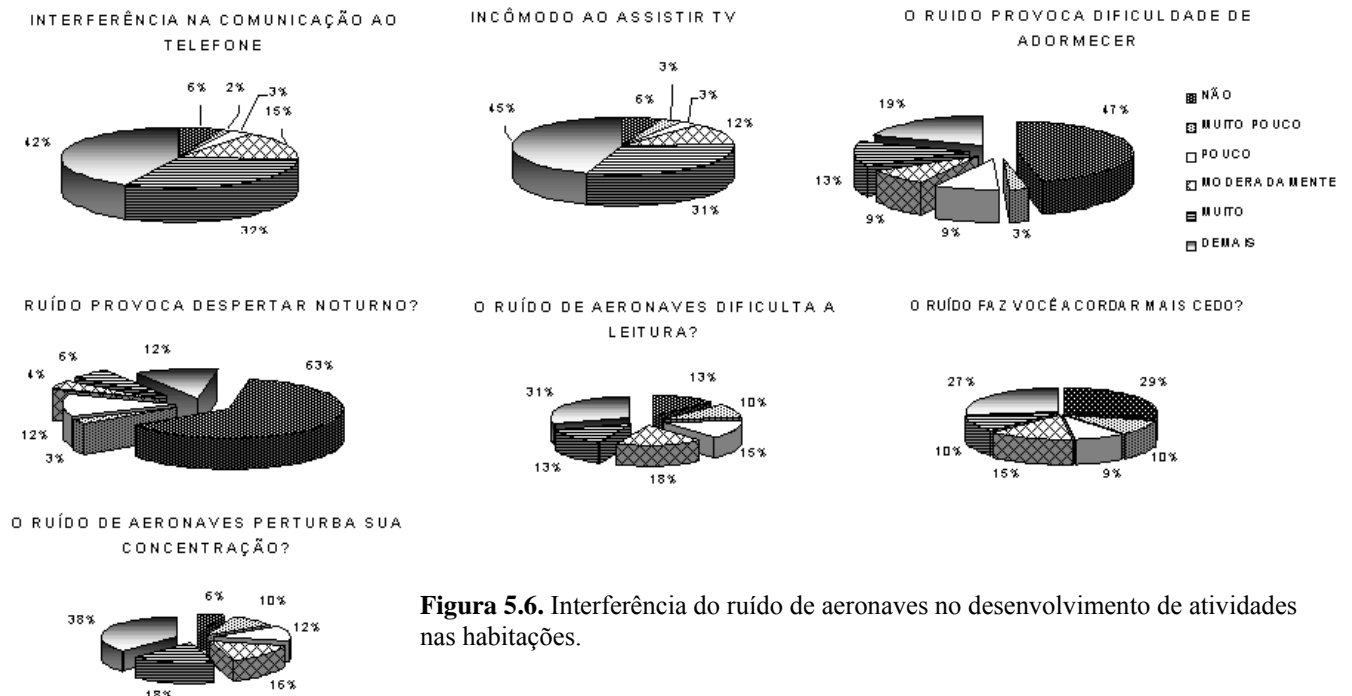


Figura 5.6. Interferência do ruído de aeronaves no desenvolvimento de atividades nas habitações.

Observa-se que, de modo geral, existe incômodo acentuado devido ao ruído de aviões e de helicópteros. O ruído emitido por aviões pequenos provoca forte incômodo (demais e muito) em 64% da amostra. O ruído emitido por aviões grandes provoca forte



incômodo em 33% (embora não haja aviões grandes) e o ruído emitido por helicópteros provoca forte incômodo em 70 % da amostra.(Figura 5.7).



Figura 5.7. Incômodo decorrente do ruído aeronáutico em residências.

Verifica-se que somente 17 % da amostra consideraram que ao fechar a janela existe uma forte redução do ruído externo (muito e demais), 30% consideraram esta redução moderada e 53% a consideraram fraca (variando de não a pouco) (Figura 5.8).

Ao questionar-se a opinião do usuário sobre as possíveis soluções para atenuar o ruído externo foram apontadas principalmente a mudança do aeroporto de lugar e a mudança da rota das aeronaves (Figura 5.9). Finalmente, pode-se constatar que para 91% da amostra a qualidade acústica seria um requisito de grande importância na aquisição de um imóvel no futuro (Figura 5.10).

AO FECHAR A JANELA DIMINUI O RUÍDO EXTERNO?

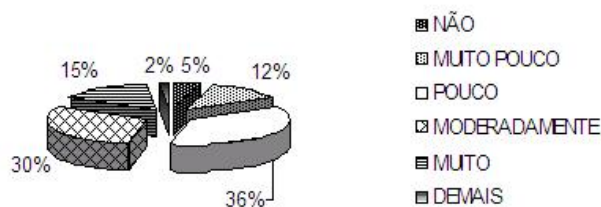


Figura 5.8. Qualidade acústica da janela

IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE ACÚSTICA NA AQUISIÇÃO DE IMÓVEL

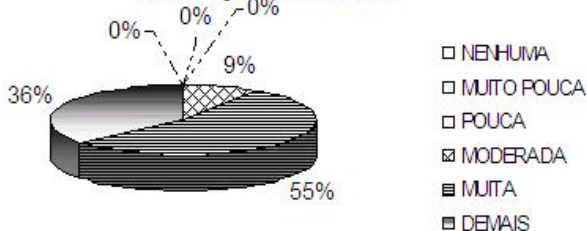


Figura 5.10. Importância da qualidade acústica.

SOLUÇÃO CONTRA O RUÍDO

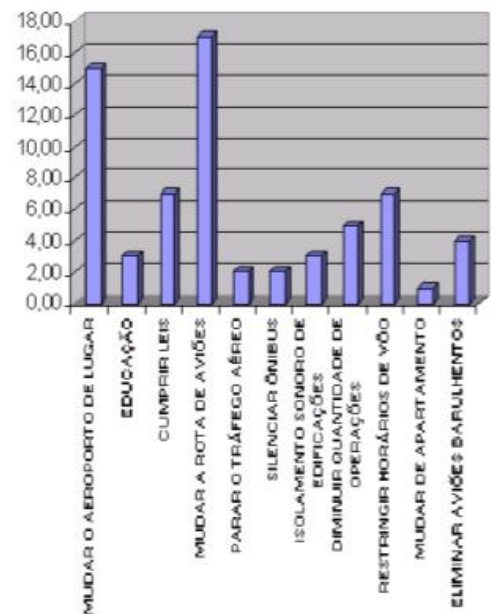


Figura 5.9. Solução contra ruído

### 5.1.3.1.c. Parque Arruda Câmara

O Parque Arruda Câmara é uma área de proteção ambiental localizada entre a Avenida das Américas e Ayrton Senna. É utilizado principalmente para a prática de esportes, por pessoas não residentes na Barra da Tijuca, que permanecem no local durante cerca de duas horas. Foram aplicados questionários a 61 destes freqüentadores e a cinco pessoas que exercem atividades profissionais no parque (biólogos, zeladores, vendedor de água de coco e guarda municipal), os quais permanecem no local por cerca de 8 horas diárias.

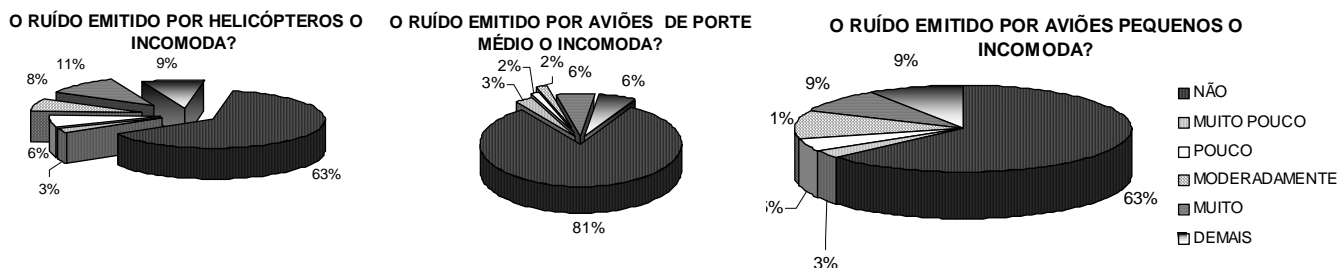


Figura 5.11. Incômodo devido ao ruído de aeronaves no Parque Arruda Câmara.

Constatou-se que os cinco trabalhadores sentem muito incômodo devido ao ruído de aeronaves. O incômodo devido ao ruído dos aviões pequenos é elevado para 18% dos entrevistados. Observa-se que o mesmo provoca incômodo em 37% (variando de muito pouco a demais). Já o ruído emitido por aviões de porte médio provoca forte incômodo a 12% da amostra, enquanto o emitido por helicópteros provoca forte incômodo a cerca de 19% da amostra (dentre os 37% que sentem algum grau de incômodo), conforme demonstra a Figura 5.11.

### 5.1.4. Avaliação do subsistema ambiente urbano

O nível de ruído resultante no ambiente externo depende das características das fontes de ruído (aeroporto, estradas, fontes fixas etc.), da existência de barreiras acústicas, da densidade de vegetação existente e das propriedades de absorção do solo (que pode ser desconsiderada numa abordagem simplificada). Por sua vez, no ambiente interno, o nível de ruído resultante depende do nível de ruído no ambiente externo e principalmente da qualidade acústica do envelope da edificação (vedações e da absorção sonora de materiais).

Assim sendo, procedeu-se à análise visual da área objeto de estudo a fim de definir as variáveis que iriam compor este subsistema e permitir obter o indicador de adequação mencionado anteriormente. Desse modo, pode-se verificar que, em geral, as edificações são executadas em tijolos cerâmicos, os quais apresentam CTSA (classe de transmissão sonora) em torno de 42 dB(A). BARING (1988, p.432) menciona que, para garantir uma privacidade satisfatória, a CTSA deve ser ao menos 50 dB(A).



Foto 5.5. Vista geral de um dos condomínios residenciais. Foto 5.6. Bosque da Barra – Vista interna (trilha)

O Colégio Estadual Vicente Jannuzzy tem como ponto fraco no isolamento sonoro as esquadrias compostas de vidro fino (cerca de 3 mm) e com vedações precárias. Ressalta-se que muitas janelas encontram-se com vidros quebrados proporcionando isolamento sonoro muito reduzido. Todavia, o mesmo está protegido do ruído rodoviário por um muro fechado que recobre quase toda a sua fachada.

A maior parte dos edifícios residenciais situados na área em questão apresenta janelas de correr, varandas com grandes portas de acesso envidraçadas e peitoris também em vidro. Salienta-se que os vidros de espessura em torno de 3mm, aliados à existência de aparelhos de ar condicionado de janela, contribuem para redução da qualidade acústica das fachadas.

A pavimentação das ruas é em asfalto e as calçadas apresentam-se parcialmente gramadas e pavimentadas em concreto ou pedra. Grandes extensões de gramíneas cercam os condomínios residenciais, contribuindo para a redução da reflexão sonora no solo.

O ruído aeroportuário emitido no solo por fontes fixas, tais como hangares e oficinas de manutenção de aeronaves, testes de motores de helicópteros e aeronaves, não chega a atingir a circunvizinhança, pois estas fontes sonoras estão voltadas para

áreas menos sensíveis ao ruído e alguns dos edifícios que fazem parte da própria infraestrutura do aeroporto servem como barreira acústica.

O Parque Arruda Câmara funciona como barreira acústica vegetal entre as áreas residenciais e o aeroporto, com uma extensão superior a 700 m, contribuindo para a absorção sonora. O mesmo ocorre com relação ao ruído rodoviário emitido na Av. Ayrton Senna, onde um galpão (sede de uma agência de automóveis), serve como barreira acústica entre a via e parte dos edifícios.



Foto 5.7. Administração do Bosque da Barra, situada junto ao acesso à Av. das Américas.

O Parque Arruda Câmara apresenta duas edificações térreas nas quais são desenvolvidas atividades de apoio ao parque: uma onde encontram-se os administradores e zeladores, situa-se próxima ao acesso principal ao parque (Foto

5.7), contígua à Av. das Américas. A outra, situada no interior do parque, abriga os biólogos que desenvolvem atividades de pesquisa. Ambas as edificações são muito permeáveis ao ruído. Inclusive, constata-se que dadas as características das atividades desenvolvidas, os usuários permanecem com as portas e janelas abertas, ficando sujeitos ao ruído produzido no ambiente externo.

### **5.1.5. Avaliação do Subsistema Funcional**

#### **5.1.5.1. Adequação da implantação da edificação em relação à trajetória de aeronaves de asa fixa**

Através das cartas de vôo verifica-se que as aeronaves deixam o aeroporto através do portão nº 2, em direção ao corredor bravo, o qual se encontra sobre o oceano. Entretanto, até atingir o mar, elas sobrevoam áreas residenciais e, também, o Bosque da Barra (Parque Arruda Câmara).

Conforme mencionado anteriormente, observações realizadas *in loco* indicaram que as áreas mais atingidas pelo ruído aeronáutico são o Bosque da Barra, uma escola da rede pública e os condomínios residenciais (edifícios multifamiliares) situados em direção à cabeceira 02 (sul). Este fato deve-se principalmente à realização de sobrevôos de aeronaves em treinamento da escola de aviação que funciona no aeroporto. As decolagens ocorrem na direção sul e as aeronaves fazem curva à esquerda sobre as residências mencionadas.

#### **5.1.5.2. Adequação da implantação da edificação em relação à trajetória de aeronaves de asa móvel (helicópteros)**

A partir da análise da carta de rotas especiais para helicópteros (REH) verifica-se que existe uma semicircunferência sobre o aeroporto e parte do bairro, da qual partem os portões de saída e entrada para as seguintes rotas: Madureira, Maracanã, Boa Vista e Praia.

Através da carta, constata-se que os helicópteros pousam e decolam principalmente em dois helipontos situados na cabeceira 02. Ao adotarem as rotas Madureira e Maracanã, dirigem-se a Jacarepaguá, bairro vizinho, situado a nordeste com altitude mínima de 500' (150 m), cujo impacto ambiental sonoro decorrente das operações de helicópteros poderia ser avaliado numa abordagem futura. Todavia, quando seguem as rotas Praia e Boa Vista, de modo similar às aeronaves de asa fixa, sobrevoam os condomínios residenciais situados ao sul, também com altitudes mínimas de 500', o que pelo observado no local, na maioria das vezes não é respeitado.

#### **5.1.5.3. Adequação da implantação das edificações em relação às vias de trânsito pesado.**

A Avenida das Américas é a via de trânsito mais intenso localizada na área onde se situam os condomínios residenciais selecionados como receptores críticos e a Escola Vicente Jannuzzy.

O Bosque da Barra apresenta uma trilha para caminhada em toda a sua periferia e outras mais internas que interligam os seus extremos. Uma vez que este parque encontra-se delimitado pela Avenida das Américas e pela Avenida Ayrton Senna, as pessoas que caminham nas trilhas periféricas são submetidas ao ruído decorrente do

trânsito pesado. Já nas trilhas interiores ao parque, o ruído ambiente é constituído pelos sons da natureza. O ruído de trânsito é ouvido em muito baixa intensidade. Assim sendo, em função da diferença entre o ruído de fundo e o ruído intrusivo, o ruído produzido pelo sobrevôo de aeronaves pode ser mais incômodo para quem caminha no interior do parque, do que para quem caminha em sua periferia.

O fato de o afastamento entre o edifício residencial mais próximo à Avenida das Américas e esta via ser de 84 m, aliado a existência de edifícios comerciais entre a via e os edifícios, contribui para a atenuação do ruído rodoviário, dados os efeitos da difração e do decaimento sonoro com a distância. Observa-se que o ruído de trânsito pode ser considerado uma fonte linear. Portanto, o decaimento sonoro é de 3 dB a cada duplicação da distância. O mesmo ocorre com relação ao Colégio Estadual Vicente Jannuzzy, o qual situa-se na Rua Carlos Oswald, via local que dista da Av. das Américas 97 m.

#### **5.1.5.4. Adequação do uso do solo**

Para avaliar a adequação do uso do solo procedeu-se da seguinte forma. Inicialmente, analisou-se o zoneamento urbano municipal e verificou-se a compatibilização do uso do solo existente com o permitido pela Legislação Aeronáutica (Portaria 1141/GM5). Então, foram realizadas as simulações com o INM e HNM a fim de obter as curvas de ruído em  $L_{DN}$  e  $L_{Aeq}$  e comparar os valores dados por essas curvas, respectivamente com o  $L_{DN} = 55\text{dB(A)}$  e com os níveis critérios determinados pelas normas pertinentes, conforme apresentado nas seções seguintes.

##### **5.1.5.4.a. O Zoneamento Urbano**

###### **Legislação Municipal**

A ocupação urbana no Município do Rio de Janeiro tem como principal instrumento regulador o Plano Urbanístico Básico da Cidade do Rio de Janeiro (PUB RIO). Contudo, na Barra da Tijuca, as diretrizes de uso do solo e parcelamento da terra também são determinadas pelo Decreto 3046, de 27 de abril de 1981, que regula a ocupação na Zona Especial 5 (ZE-5), objeto do Plano Diretor da Baixada de

Jacarepaguá. Na ZE-5, são definidas 46 subzonas. Entretanto, na área de próxima ao aeroporto se encontram as subzonas A-13, A-14, A17, A18 e A37.

Comparando-se o uso do solo permitido em cada uma destas subzonas com os níveis critério de avaliação recomendados pela Lei Municipal N° 3.268/2001, os quais são similares aos recomendados pela Legislação Federal (NBR 10151/2000), obtêm-se os níveis critérios adotados no presente trabalho e apresentados na tabela 5.1.

**Tabela 5.1** - Uso do solo permitido nas Subzonas da ZE 5 e os respectivos Níveis Critério de Avaliação – NCA.

Uso do solo permitido nas Subzonas da ZE 5		Nível de critério de avaliação para ambientes externos, de acordo com a NBR 10.151/2000 e zoneamento municipal por similaridade, em dB(A)		
Subzonas	Uso do solo	Tipos de áreas	Período diurno	Período noturno
A-14	Comercial; Cultural e Institucional.	Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
A17	Residencial uni e bifamiliar; residencial multifamiliar; comercial; uso especial de interesse social.	Área mista predominantemente residencial	55	50
A-13 e A-18	Residencial unifamiliar e multifamiliar; comercial., com hospitais e escolas	Área estritamente residencial urbana ou de hospitais e escolas	50	45
A37	Residencial multifamiliar; misto; comercial; turístico; cultural; financeiro e de serviços.	Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55

Visualizando-se a Figura 5.12, verifica-se que no entorno do Aeroporto de Jacarepaguá encontram-se:

- ✓ A subzona A-37, situada ao Norte, na qual se encontra a Lagoa de Jacarepaguá. Esta subzona é destinada à implantação do Centro Metropolitano, onde são permitidos os usos residencial, comercial, turístico, cultural, financeiro e de serviços.
- ✓ A subzona A-13, situada a Leste, onde se localizam os Hospitais Lourenço Jorge e áreas comerciais e onde são admitidos os usos residencial, comercial e de serviços (escolas e hospitais).
- ✓ As subzonas A-14B, A-14C, A-14D e A-18B, situadas ao Sul, onde são admitidos os usos cultural, institucional e comercial. Nestas subzonas, encontram-se na área patrimonial do aeroporto (A-14 A), a reserva biológica denominada Parque Arruda Câmara (popularmente conhecida como Bosque da Barra – A-14 B), um hospital da



rede particular (A-14 A), o Centro Administrativo da Barra (A-14 C) e uma escola da rede particular de ensino.



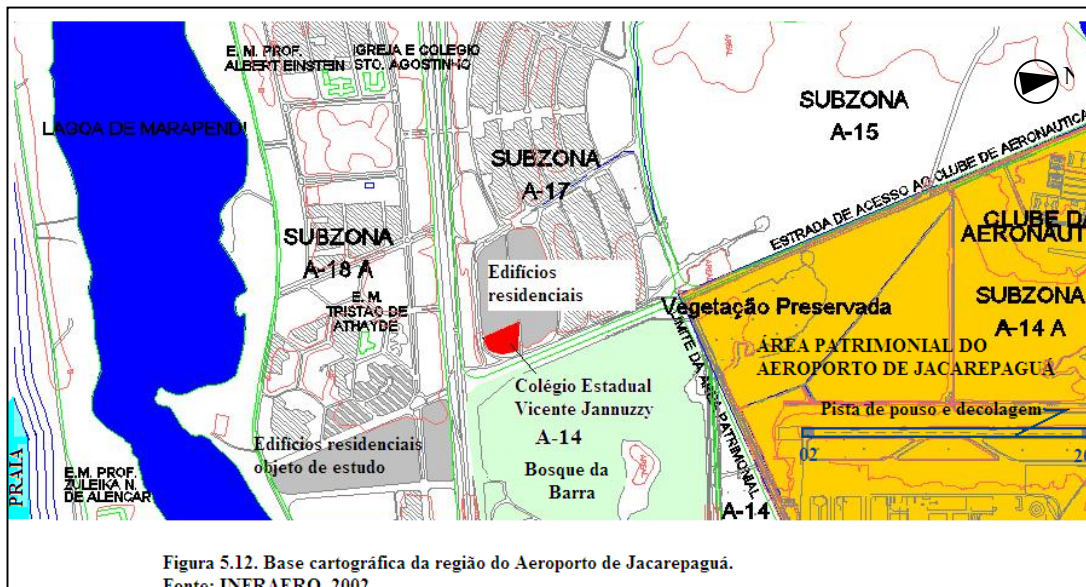
**Foto 5.8. Vista do Colégio Estadual Vicente Jannuzzy e das edificações residenciais situadas na Subzona A17.**



**Foto 5.9. Vista geral da Subzona A17 - Colégio Estadual Vicente Jannuzzy, condomínios residenciais e Av. das Américas.**

- ✓ As subzonas A-17 e A-18A, situadas a Sudoeste, nas quais se encontram diversos condomínios residenciais e quatro estabelecimentos de ensino, dentre os quais o





Colégio Estadual Vicente Jannuzzy (A -17) onde foram aplicados questionários, e a Escola Municipal Tristão de Athayde (A-18A), onde foram realizadas medições de nível sonoro. Observa-se que nestas subzonas são permitidos os usos residencial, comercial, de especial interesse social (assistência médica, estabelecimentos de ensino, creches, teatros etc) e o uso público de recreação e lazer. Pela subzona A-15, situada a Oeste, a qual atualmente está ocupada apenas por um campo de pouso e decolagem de ultraleves.

### Legislação aeronáutica

O Aeroporto SBJR não apresenta plano específico de zoneamento de ruído, portanto, a área a ele circunvizinha está sujeita a restrições ao uso e ocupação do solo, incluídas no Plano Básico de Zoneamento de Ruído (Portaria 1141/GM5) e pelo Plano Específico da Zona de Proteção do Aeroporto de Jacarepaguá, aprovado pela Portaria Nº 903/GM5, de 21 de outubro de 1986, que estabelece o gabarito das edificações em locais que possam interferir nas operações aeroportuárias, de modo a assegurar a não existência de obstáculos físicos.

Observa-se que, o Plano Básico de Zoneamento de Ruído determina que as curvas apresentadas na Figura 5.13 delimitam as áreas nas quais a Portaria 1141/GM5 impõe as seguintes restrições ao uso e ocupação do solo:

Na área I ( $L_{DN} > 75\text{dB(A)}$ ) são permitidas as seguintes atividades: produção e extração de recursos naturais, serviços públicos ou de utilidade pública (estação de tratamento de esgoto, reservatório de água ou cemitérios), comercial, recreação e lazer ao ar livre, transporte e indústrias.

Na II  $65\text{dB(A)} < L_{\text{DN}} < 75\text{dB(A)}$  são proibidos o uso residencial, educacional, serviços públicos ou de utilização pública (hotel, motel, edificações para atividades religiosas, centros comunitários e profissionalizantes) e cultural (biblioteca, auditório, cinema e teatro).

Todavia, o parágrafo único do Art.70 do Plano de Zoneamento de Ruído determina que mediante a aprovação do Departamento de Aviação Civil, na curva II, podem ser autorizadas as atividades mencionadas. O Art.71 determina que eventuais restrições ao uso do solo, na zona III, serão estabelecidas em Plano Específico de Zoneamento de Ruído.

#### ***5.1.5.4.b. Adequação do uso do solo em relação à Portaria 1141-GM 5/1987 (Plano Básico).***

Uma vez que o Aeroporto de Jacarepaguá não apresenta plano específico de zoneamento de ruído, a caracterização das áreas sujeitas aos possíveis impactos ambientais decorrentes do ruído aeroportuário é realizada mediante a utilização da curva apresentada na Figura 5.13. Essa curva é traçada considerando a categoria da pista, conforme determinações da Portaria 1141/GM5. Com base na Figura 5.13, verifica-se que existe uma área residencial situada nos limites da curva 2, a qual delimita áreas sujeitas ao  $L_{\text{DN}} \leq 65\text{dB(A)}$ , correspondente a área III, definida pelo plano básico. Todavia, observa-se que o Colégio Estadual Vicente Jannuzzy e outras edificações residenciais encontram-se situadas entre as curvas 1 e 2 (entre os níveis  $L_{\text{DN}} 65 \text{ dB(A)}$  e  $L_{\text{DN}}=75 \text{ dB(A)}$ , correspondentes à Área II definida pelo plano básico).

Isso significa que o colégio estadual se encontra em área proibida pelo plano básico de zoneamento de ruído, mas permitida pelo zoneamento municipal. Verifica-se, portanto, uma incompatibilidade entre ambas legislações. De outro modo, uma pequena parte do condomínio residencial em avaliação situa-se no interior da curva 2. Assim sendo, a maior parte desses edifícios não estaria submetida a restrições por estar situada nos limites na área III, mas a outra parcela também seria alvo da incompatibilidade entre o plano básico e o zoneamento municipal.



#### 5.1.5.4.c. Adequação do uso do solo em relação ao $L_{DN}$ 55 dB (A).

Com os *softwares* de acústica previsional *Integrated Noise Model* (INM - versão 6.0) e *Heliport Noise Model* (versão 2.2.), ambos da *Federal Aviation Administration* (U.S. FAA) foram traçadas as curvas de ruído projetadas em torno das pistas de pouso e decolagem, visando identificar as áreas inseridas na curva de ruído traçada para um  $L_{DN} = 55$  dB(A) e confrontar se o uso do solo é adequado, tendo em vista as reações geradas na comunidade, segundo os conceitos desenvolvidos por SCHULLER *et al* (1981), conforme modelo proposto posteriormente na Seção 5.2.1.4, subseção IV.1.2.

Para o traçado das curvas é necessário conhecer o número de pousos e decolagens diárias, bem como o *mix* de aeronaves. Estes dados, em geral, são encontrados em diversas publicações. No caso deste aeroporto, obteve-se junto a INFRAERO informações relacionadas às condições de operação, tais como trajetórias de aeronaves e helicópteros, tipos de aeronaves operantes, movimentos diários, bem como parâmetros de operação de vôo e de utilização de pistas de pouso e decolagem.

A Tabela 5.2 apresenta as aeronaves de asa fixa que operam no aeroporto de Jacarapaguá, devendo ser consideradas na simulação:

**Tabela 5.2** – Tipos de aeronaves de asa fixa que operam no aeroporto e o movimento correspondente.

AERONAVE DE ASA FIXA	MOVIMENTOS DIURNOS
AC50	02
DHC6	02
BEC58P	06
CNA 170	22
CNA 172	22
CNA 177	02
CNA 180	02
CNA 182	16
CNA 210	02
CNA 310	04
CNA 550	10
CNA 560	06
EMB 110	02
EMB 120	02
PA18	02
GASEPF	14
PA31	06
<b>TOTAL</b>	<b>122</b>

Para essas aeronaves, foi considerada apenas uma rota de saída e de chegada em cada uma das cabeceiras, todas em linha reta e uma percentagem de utilização de 23% para a cabeceira 02 e de 77% para a cabeceira 20.

A Tabela 5.3 apresenta as aeronaves de asa móvel que operam no aeroporto consideradas na simulação (abreviações tal como utilizadas no HNM 2.2), bem como o número de movimentos por elas realizado. Algumas aeronaves não puderam ser encontradas na base de dados do INM, sendo substituídas por aeronaves com características semelhantes.

**Tabela 5.3.** Tipos de aeronaves de asa móvel que operam no aeroporto e o movimento diário correspondente.

Tipo de aeronave	Número de movimentos diurnos
HUGUES 500D	59.32
BELL 206L	59.32
SIKORSKY S76	59.32

Para as aeronaves contidas na Tabela 5.3, foram consideradas rotas de subida em todas as direções ao redor dos helipontos. Com base nos dados fornecidos pela torre de controle do aeroporto, estimou-se para o movimento noturno 10% dos movimentos diurnos.

As curvas isofônicas foram geradas em cada um dos programas descritos anteriormente, considerando-se o movimento de aeronaves de asa fixa e o de asa móvel descritos nas Tabelas 5.2 e 5.3, foram elaboradas as curvas de  $L_{DN} = 55$  a  $65$  dB(A) no programa INM 6.0 c. Ressalta-se que as curvas  $L_{DN} = 65$  e  $75$  delimitariam, respectivamente, a Área 2 e a Área 1, definidas na Portaria 1141-GM5/1987, caso houvesse um Plano Específico de Zoneamento de Ruído. A área delimitada pela curva  $L_{DN} = 55$  dB(A) é considerada neste estudo como a Área de influência acústica direta do aeroporto, na qual se encontram os receptores críticos.

Observando-se na Figura 5.14 as curvas isofônicas (traçadas segundo os critérios apresentados anteriormente, considerando o fluxo de aviões e helicópteros), verifica-se que a curva correspondente ao  $L_{DN}=65$  dB(A) é a curva mais interna (verde claro) situada na área patrimonial do aeroporto. Assim, no caso da existência de um Plano Específico, toda a área onde se situam hospitais, residências e escolas estaria inserida em área permitida segundo a legislação aeronáutica.



A partir das Figuras 5.12 e 5.14, verifica-se que a curva equivalente a um  $L_{DN}=55$  dB(A) abrange parte da subzona A18a e A17, nas quais o Plano Diretor da Baixada de Jacarepaguá prevê o uso residencial, de especial interesse social e comercial. Assim sendo, estas subzonas estariam submetidas a níveis sonoros ( $L_{DN}$ ), variando entre 55 e 58 dB(A). A subzona A13, onde se localiza o Hospital Lourenço Jorge, também é atingida por níveis sonoros variando entre  $L_{DN}= 55$  dB(A) e  $L_{DN}=58$  dB(A).



**Foto 5.10.** Vista de residências situadas na rota de pouso e decolagem de aeronaves.



**Figura 5.11.** Vista de edificações residenciais situadas na direção da pista de pousos e decolagens.

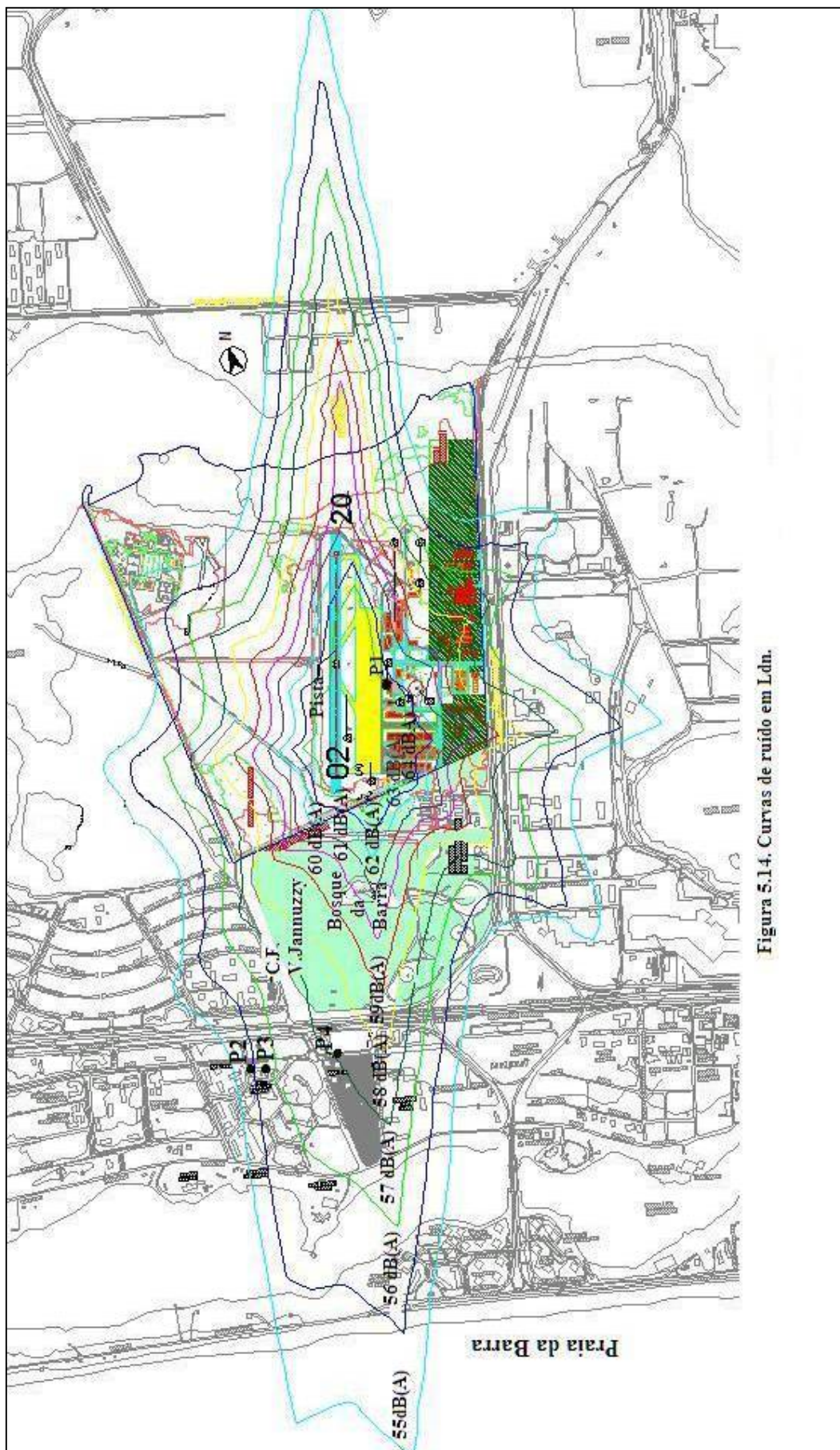


Figura 5.14. Curvas de ruído em Ldn.

***5.1.5.4d. Adequação do uso do solo em relação à Legislação Federal (Resolução Conama 01/1990, que remete a NBR 10151/2000) e Municipal.***

Adicionalmente, as curvas de  $L_{Aeq}=55\text{dB(A)}$  a  $L_{Aeq}=60\text{dB(A)}$  foram projetadas no INM, visando compará-las com os níveis critérios de avaliação no período diurno e noturno para ambientes externos situados nas subzonas circunvizinhas ao aeroporto apresentadas na Tabela 5.1.

A partir das figuras 5.12 e 5.15, constata-se que as subzonas A14, A17, A18A e A13 encontram-se no interior da curva de ruído  $L_{Aeq}=55\text{ dB(A)}$ .

Com base na Tabela 5.1, considerando que nestas áreas existem residências, escolas e hospitais, o nível critério adotado pela NBR 10.151/2000 e pela Resolução da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC) nº198, de 22 de fevereiro de 2002, em áreas de hospitais é  $50\text{dB(A)}$ , para o período diurno, e  $45\text{dB(A)}$ , para o período noturno. Em áreas residenciais mistas o nível critério para o período diurno é  $55\text{ dB(A)}$  e  $50\text{dB(A)}$ , durante o período noturno.

Verifica-se, portanto, que estas áreas estão sujeitas a níveis sonoros superiores aos estabelecidos pela NBR 10151/2000 e pela Legislação Municipal, nos períodos diurno e noturno.



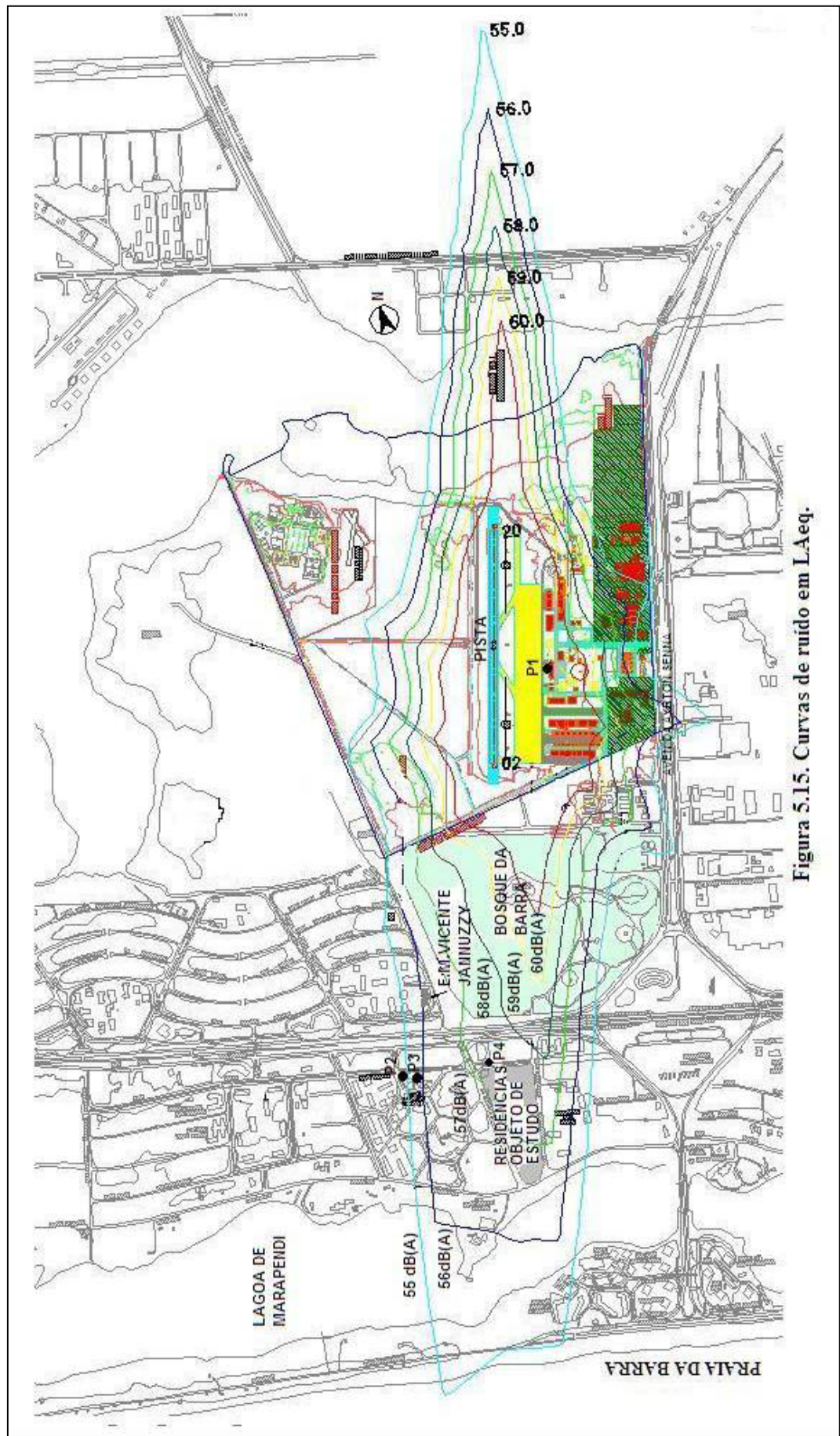


Figura 5.15. Curvas de ruído em L<sub>Aeq</sub>.

### 5.1.6. Avaliação do subsistema físico

Estima-se que, na área residencial selecionada como amostra, cerca de 1200 pessoas estão expostas ao ruído aeronáutico. Por esse motivo, na avaliação deste subsistema, procurou-se relacionar os níveis de ruído em receptores críticos, medidos na presença e ausência de movimentos de aeronaves, com o tipo de uso do solo. Este procedimento visou verificar se há adequação entre a atividade aeroportuária e o tipo de atividade desenvolvida no entorno do aeroporto, utilizando as seguintes variáveis de entrada:

- “Nível de adequação do ruído intrusivo, devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação à atividade desenvolvida”, o qual teve como critério a comparação dos níveis sonoros medidos no exterior, em  $L_{Aeq}$ , durante o sobrevôo de aeronaves, com os níveis critérios estabelecidos pela NBR 12314/1997 da ABNT (Critérios de ruído para recintos internos das edificações submetidas ao ruído aeronáutico), sendo aplicada uma correção de 10dB(A) correspondente a uma situação em que a janela está aberta;
- “Nível de adequação do ruído ambiente medido *in loco*, em relação à atividade desenvolvida”, que teve como critério a comparação do nível de ruído ambiente (medido no exterior das edificações, em  $L_{Aeq}$ , na ausência de movimentos de aeronaves), com o nível critério estabelecido pela NBR 12314/1997 da ABNT. Neste caso também se aplicou uma correção de 10 dB(A) correspondente a situação em que a janela está aberta;
- “Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente”, o qual se fundamenta nos níveis critérios estabelecidos pela NBR 10151/1987 da ABNT (Avaliação de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade).
- Nível de adequação do vento dominante em relação aos receptores críticos, a qual se baseou na verificação em planta das condições em que o vento está mais ou menos favorável à propagação do som.

As medições de ruído que serviram de base para a avaliação desse subsistema foram realizadas conforme descrito na seção 5.1.6.1 e a análise das condições do vento pode ser visualizada na seção 5.1.6.2. Os procedimentos para obter cada nível de adequação acima mencionado, serão descritos com maiores detalhes na seção 5.2.

Conforme mencionado no Capítulo 2, além dos níveis de ruído medidos, existem outras características do ruído que podem influenciar na sua percepção pelos usuários, as quais são relacionadas com a psicoacústica. Assim sendo, outra importante variável de entrada consiste na adequação do campo sonoro. Basicamente, esta adequação deve-se ao campo sonoro relativo às atividades aeronáuticas e às atividades cotidianas, as quais geram o ruído ambiente.

Observa-se que existe uma relação entre a adequação do campo sonoro, a densidade de edificações e a altura das edificações. Considerar esta variável implicaria um estudo profundo, buscando definir uma métrica mais apropriada e criar os sistemas de inferência a ela associados, o que requer tempo.

Chegou-se a fazer algumas reflexões sobre o campo sonoro local, mas considerou-se mais prudente excluir esta variável no presente trabalho. Ressalta-se, entretanto, a importância de considerá-la futuramente, tendo em vista as seguintes observações:

- O campo sonoro relativo ao ruído emitido pelas atividades aeroportuárias desenvolvidas no solo pode ser considerado parcialmente difuso, pois embora o ambiente seja aberto, a energia sonora se difrata e reverbera ao encontrar as edificações que compõem a infra-estrutura aeroportuária.

- O campo sonoro relativo ao ruído emitido pelo sobrevôo de aeronaves pode ser representado por uma onda plana e o relativo ao ruído ambiente é parcialmente difuso, pois, entre as edificações, as ondas sonoras tendem a encontrar as fachadas dos edifícios vizinhos e refletirem. Nas ruas internas aos condomínios, o ruído rodoviário, ao se chocar contra as superfícies das fachadas, encontra as superfícies refletoras das casas situadas do outro lado da rua, a cerca de 21 m de distância. Considerando o conceito de campo sonoro parcialmente difuso apresentado no Capítulo 2:

Se  $\frac{H1}{L} \geq 0,2$ , o campo reverberante é parcialmente difuso: Rua em “U”,

Então, sendo a altura dos edifícios aproximadamente 22,00 m, a altura média das casas 9,00 m e a distância entre as edificações 25,00m:

$$\frac{H1}{L} = \frac{9}{27} = 0,33$$

Portanto, o campo sonoro é parcialmente difuso.

### 5.1.6.1. Medições de Nível Sonoro

Tendo em vista as dificuldades de medir o nível sonoro no entorno do aeroporto, bem como os custos envolvidos na realização de medições por períodos extensos, as medições foram realizadas em 4 pontos situados no entorno do Aeroporto de Jacarepaguá, com o objetivo de auxiliar na caracterização do ambiente sonoro local. As medições ocorreram durante duas manhãs de sábado, dia em que há maior fluxo de aeronaves, segundo informado pela INFRAERO.

Na primeira manhã realizaram-se medições próximas à pista de pouso e decolagem (ponto 1). Na outra, as medições de nível sonoro foram realizadas em pontos localizados no exterior ao limite da propriedade do aeroporto, sendo selecionados pontos próximos a edificações residenciais e à Escola Municipal Tristão de Athayde. A seguir são descritos os pontos de medição:

**Ponto 1:** Área externa ao terminal de passageiros, situado a 210 m do eixo da pista de pouso e decolagem.

**Ponto 2:** Condomínio Mandala, na Praça, em frente a um edifício residencial, situado a 1270 m do eixo da cabeceira 02.



Foto 12. Ponto de medição 2.



Foto 13. Ponto de medição 3.



Foto 14. Ponto de medição 4

**Ponto 3:** Condomínio Mandala, na Praça, em frente a Escola Municipal Tristão de Athayde, situado a 1260 m do eixo da cabeceira 02.

**Ponto 4:** Condomínio residencial, próximo à quadra de tênis, situado a 1140 m do eixo da cabeceira 02.

No **ponto 1**, foram medidos os níveis máximos ( $LA_{max}$ ) de ruído ponderados na escala “A” e o nível de pressão sonora equivalente, também ponderado em “A” ( $LA_{eq}$ ), considerando-se o sobrevôo de aeronaves.

No **ponto 2**, foram medidos os níveis máximos ( $LA_{max}$ ) de ruído ponderados em “A” e o nível de ruído ambiente ( $L_{ra}$ ) - nível de pressão sonora equivalente ponderado "A", no local e horário considerados, na ausência do ruído gerado pela fonte sonora em questão (aeronaves) .

No **ponto 3**, foram medidos os níveis máximos ( $LA_{max}$ ) de ruído ponderados em “A”, o nível de ruído ambiente ( $L_{ra}$ ) - nível de pressão sonora equivalente ponderado "A", no local e horário considerados, na ausência do ruído gerado pela fonte sonora em questão (aeronaves) e o nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A” ( $LA_{eq}$ ) durante a passagem de aeronaves. Observa-se que neste ponto foram realizadas duas medições: a primeira na ausência de aeronaves e a segunda durante a passagem de aeronaves.

No **ponto 4**, foram medidos os níveis máximos ( $LA_{max}$ ) de ruído ponderados em “A” e o nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A” ( $LA_{eq}$ ), considerando-se a passagem de aeronaves.

As medições foram realizadas utilizando-se o medidor de nível sonoro Larson Davis 814, em resposta rápida, disposto em um tripé, a cerca de 1,20m do solo. Os resultados encontram-se na Tabela 3.

A caracterização do ambiente sonoro em cada período de medição e em cada um dos pontos supracitados é apresentada na Tabela 5.4.

Observa-se que nesta campanha de medições, o nível máximo ( $LA_{max}$ ) foi considerado de grande importância, por ser uma métrica que permite avaliar principalmente as perturbações do sono produzidas por ruídos intermitentes. Esta métrica vem sendo utilizada em países como a Noruega, Dinamarca e França, para o

controle da poluição sonora no entorno de aeroportos (FLINDELL, 2000). Na França, a *Autorité de Controle des Nuisances Sonores Aeroportuaires (ACNUSA)* recomenda que o  $L_{A_{max}}$  no período noturno seja inferior a 85 dB(A) (<http://www.acnusa.fr>. Acesso em 2003). Na Dinamarca, este valor deve ser inferior a 70 dB(A) em áreas residenciais situadas próximas a aeroportos comerciais. (FLINDELL, 2000).

No Brasil, considerando as diferenças climáticas, este valor deve ser da ordem de 70 dB(A), pois é necessário prever a permanência de janelas abertas. Assim sendo, procurou-se separar os níveis máximos de ruído ( $L_{A_{max}}$ ) medidos durante a passagem de aeronaves em duas categorias: superior a 70dB(A) e inferior a 70dB(A). Os níveis máximos de ruído medidos superiores a 70dB(A) e 80 dB(A) estão destacados nas Tabelas 5.4 e 5.5.

**Tabela 5.4.** Medições de ruído realizadas no local.

Ponto	Dia	Hora	Duração	$L_{max}$	Leq (dB)
1	04/05	11:50	28 seg	82,7	75,1
1	04/05	11:53	28 seg	80,3	74,8
1	04/05	11:56	19 seg	74,9	68,7
1	04/05	12:00	26 seg	79,7	75,4
1	04/05	12:02	20 seg	76,9	69,8
2	11/05	10:05	10 min	81,9	55,2
3	11/05	10:15	10 min	63,9	51,2
3	11/05	10:40	10 min	64,1	-
4	11/05	11:07	-	65,4	57,8
4	11/05	11:10	-	80,5	-
4	11/05	11:11	25 seg	83,4	-
4	11/05	11:15	1min20 seg	81,1	-
4	11/05	11:17	30 seg	81,7	72,8
4	11/05	11:18	54 seg	84,5	74
4	11/05	11:20	12 min	84,7	63
4	11/05	11:35	-	61,6	-
4	11/05	11:37	-	78,3	-

Deste modo, considerando-se uma atenuação de 10 a 15 dB(A) relativa às janelas e fachadas, reduzindo-se o valor do nível máximo para 70 dB(A), são alcançados níveis próximos a 55dB(A), que já provocam interferência no sono. Considerando o valor de  $L_{A_{max}}$  80 dB(A) e a mesma atenuação de 15 dB(A), obtém-se um nível sonoro de 65 dB(A) que poderá provocar interferência na fala.

**Tabela 5.5.** Caracterização do ambiente sonoro nos pontos em cada período de medição.

Ponto	Dia	Hora	Ambiente Sonoro	Condições do tempo	Observações
1	04/05	11:50	Helicóptero Sk76, decolagem cabeceira 02	Céu claro	LAMAX > 80dB(A)
1	04/05	11:53	Helicóptero Sk76, decolagem cabeceira 02	Céu claro	LAMAX > 80dB(A)
1	04/05	11:56	Avião pequeno, decolagem cabeceira 02	Céu claro	LAMAX > 70dB(A)
1	04/05	12:00	Helicóptero decolagem cabeceira 20 + sobrevôo de ultraleve originado do aeroclube.	Céu claro	LAMAX > 70dB(A)
1	04/05	12:02	Avião pequeno, decolagem cabeceira 20	Céu claro	LAMAX > 70dB(A)
2	11/05	10:05	Lra: Buzina de carro + trânsito na Avenida das Américas + trânsito de veículos no interior do condomínio. A medição foi interrompida a cada passagem de aeronaves (dois helicópteros passaram).	Céu claro	LAMAX > 80dB(A).
3	11/05	10:15	Lra: trânsito na Avenida das Américas + trânsito de veículos no interior do condomínio. A medição foi interrompida a cada passagem de aeronaves (três helicópteros e três aviões pequenos).	Céu claro	
3	11/05	10:40	Ruído de Aeronaves + Ruído de Fundo (trânsito na Avenida das Américas + trânsito de veículos no interior do condomínio). Passagem de avião na Rota Praia, avião na direção sudeste, avião de propaganda, transportando faixa (tempo de passagem : 1min)	Céu parcialmente nublado	Redução do movimento de aeronaves, pois o tempo ficou nublado.
4	11/05	11:07	Tráfego na Av. das Américas + avião pequeno + helicóptero pequeno (longe)	Céu claro	
4	11/05	11:10	Passagem de avião pequeno	Céu claro	Curva sobre o Condomínio Barra Deck LAMAX > 80dB(A)
4	11/05	11:11	Passagem de helicóptero grande.	Céu claro	Passagem próxima ao Condomínio Barra Deck LA <sub>MAX</sub> > 80dB(A)
4	11/05	11:15	Passagem de avião pequeno	Céu claro	Curva sobre o Condomínio Barra Deck LA <sub>MAX</sub> > 80dB(A)
4	11/05	11:17	Passagem de avião pequeno	Céu claro	Curva sobre o Condomínio Barra Deck LA <sub>MAX</sub> > 80dB(A)
4	11/05	11:18	Passagem de avião pequeno	Céu claro	Curva sobre o Condomínio Barra Deck LA <sub>MAX</sub> > 80dB(A)
4	11/05	11:20	Ruído de Aeronaves + Ruído de Fundo (trânsito na Avenida das Américas) Passagem de avião distante + três helicópteros pequenos longe.	Céu nublado	Redução de vãos quando o tempo ficou nublado LA <sub>MAX</sub> > 80dB(A)
4	11/05	11:35	Passagem de helicóptero pequeno longe.	Céu parcialmente nublado	-
4	11/05	11:37	Passagem de avião pequeno, vôo mais alto que os demais.	Céu parcialmente nublado	Curva sobre o Condomínio Barra Deck LA <sub>MAS</sub> >. 70 dB(A)



Tomando por base as áreas residenciais, a partir do aerofotogramétrico, verifica-se que o ponto de medição 3 está mais afastado da cabeceira 02 que o ponto 4. Além disso, constata-se que o ponto 4 encontra-se em direção à cabeceira 02 e que os níveis sonoros medidos no ponto 4 são superiores aos medidos no ponto 3.

Assim sendo, em função da lei do decaimento sonoro com a distância mencionada no Capítulo 2, os efeitos do ruído podem ser maiores ou menores, dependendo da localização das edificações em relação às rotas dos aviões. Considera-se, portanto, que as unidades residenciais situadas próximas ao ponto 4 devem sofrer maior incômodo sonoro do que aquelas situadas junto ao ponto 3, sendo também por este motivo selecionadas para a aplicação de questionários.

Adotando-se os valores mínimos obtidos nas medições de  $L_{ra}$  e  $L_{Aeq}$ , respectivamente 51,2 dB(A) e 57,8 dB(A), o ruído intrusivo ultrapassa o  $L_{ra}$  em 6,6 dB(A) podendo gerar queixas comunitárias. Caso considere o  $L_{Aeq}$  máximo medido no ponto 4, o qual corresponde a 74 dB(A), o ruído intrusivo ultrapassa o  $L_{ra}$  em 22,8 dB(A). Observe que estes dados serão utilizados posteriormente na análise mediante o emprego da Teoria de Sistemas Nebulosos.

### 5.1.6.2. Adequação do vento dominante em relação aos receptores críticos.

No anemograma apresentado na Figura 5.16., verifica-se que os ventos dominantes provêm da direção sudeste (predominando 14,59%) e sudoeste (predominando 12,79%), podendo atingir velocidades de 14,8 Km/h (ou 4,11 m/s) e 25,9 (ou 7,19 m/s), respectivamente. Todavia, podem existir fortes ventos (com 44,4 Km/h de velocidade), provenientes da

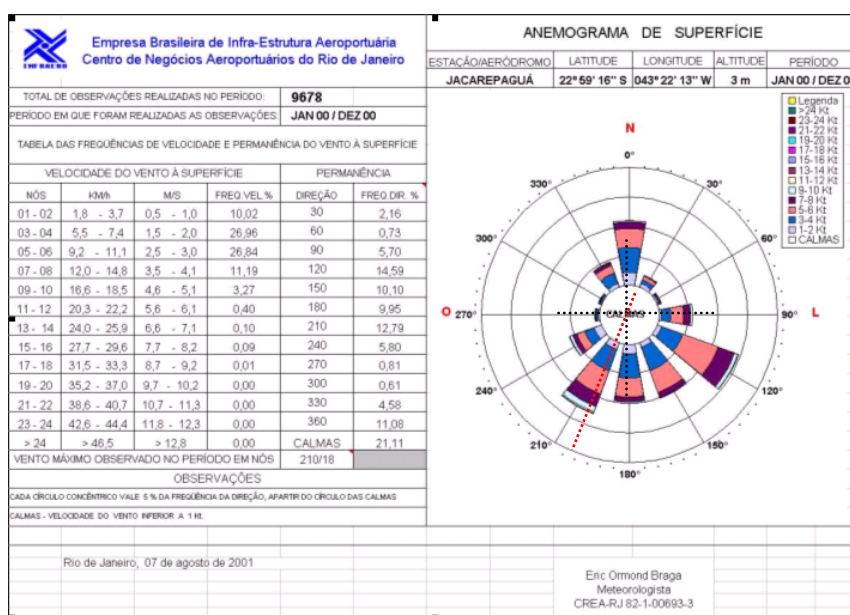


Figura 5.16. Anemograma de superfície do Aeroporto de Jacarepaguá  
Fonte: Infraero, 2002.



direção norte (predominado 11,08%). A linha tracejada vermelha indica a direção da pista do aeroporto e do condomínio residencial em avaliação.

No primeiro caso, a direção do vento (sudeste) contribui para que o ruído emitido tanto pelo sobrevôo de aeronaves, como pelo pouso e decolagem siga em direção às áreas residenciais que não fizeram parte da amostra selecionada. No último caso, a direção do vento (norte) poderá ser favorável à dissipação do ruído em direção às áreas residenciais mais afastadas da rota de aeronaves.

Quando a direção do vento é sudoeste, o ruído decorrente de pousos e decolagens de aeronaves segue em direção oposta ao condomínio em avaliação, com velocidade de até 25,9 Km/h (o que na escala de Beaufort representa incidência de vento moderado e poderia ter como efeitos levantar poeira, papéis e folhas (ADAS, M., 1980). Somente o ruído proveniente do sobrevôo de aeronaves que já se encontram em maiores altitudes, seguindo em direção ao oceano, já afastadas do condomínio, poderia ser conduzido pelo vento.

Conforme mencionado no Capítulo 2, uma vez que velocidade do som é de 360 m/s, a velocidade do vento somente poderia interferir na propagação do som na presença do gradiente do vento. Todavia, avaliar esta questão requer um estudo profundo. Neste trabalho, dada a baixa percentagem de incidência e velocidade do vento, considera-se que os efeitos do vento sobre a propagação do ruído aeronáutico são muito pequenos. Todavia, em outras situações estes efeitos podem merecer a realização de um estudo específico.

## **5.2. Análise dos resultados através da Lógica “Fuzzy”**

A modelagem dos *fuzzy* foi realizada com o auxílio da caixa de ferramentas do *software Matlab*, versão 6.5. Para isso, foram utilizados os subsistemas e variáveis lingüísticas apresentados no Capítulo 4. Todavia, conforme verifica-se a seguir, alguns subsistemas foram subdivididos em novos subsistemas, pois quando se trabalha com mais de duas variáveis de entrada e várias funções de pertinência, torna-se difícil definir as regras de inferência na caixa de ferramentas *fuzzy* do Matlab, já que se tornam muitas as regras possíveis, podendo-se incorrer em erros. Para facilitar o trabalho procurou-se agrupar as variáveis de entrada em duplas.

Conforme abordado anteriormente, foram selecionados no *Matlab* o método de inferência de Mandani, o método de desfuzificação centróide e a função de pertinência do tipo triangular.

### **5.2.1 Avaliação considerando as edificações residenciais multifamiliares situadas na direção da pista de pouso e decolagem (cabeceira 02)**

Tendo em vista os dados resultantes da APO Acústica realizada, como poderia ser qualificado o ambiente sonoro nos condomínios residenciais localizados no entorno do Aeroporto SBJR, dado um número de 0 a 10 que representa um Indicador global de adequação acústica do Sistema ambiente sonoro? Para obter esse número, é preciso inicialmente atribuir às variáveis de entrada dos quatro subsistemas propostos, funções de pertinência e valores lingüísticos, para então, criar regras de inferência e, a partir da desfuzificação, obter um valor “crisp” que representa a adequação acústica do ambiente.

Nas seções seguintes, inicialmente são apresentados os algoritmos desenvolvidos para obter as variáveis  $I_1$  (Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema ambiente urbano),  $I_2$  (Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema comportamental),  $I_3$  (Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema físico) e  $I_4$  (Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema funcional).

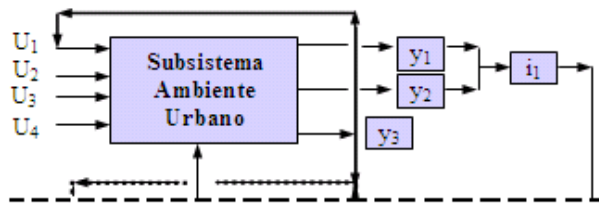
Posteriormente, é realizada a combinação das variáveis  $I_1$  e  $I_2$ , resultando  $I_{1,2}$  e de  $I_3$  e  $I_4$ , resultando  $I_{3,4}$ . Finalmente, as variáveis  $I_{1,2}$  e  $I_{3,4}$  são combinadas resultando  $I_g$  (Indicador de adequação global do sistema ambiente sonoro)

#### **5.2.1.1. Subsistema ambiente urbano (Subsistema construtivo)**

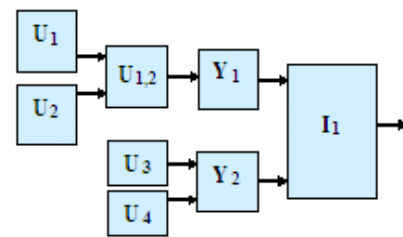
A fim de obter Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do Subsistema Ambiente Urbano ( $I_1$ ), este subsistema foi decomposto em vários outros. Os fluxogramas seguintes representam esses subsistemas.

O fluxograma 5.1. apresenta uma visão geral do Subsistema Ambiente Urbano, podendo ser adaptado a diversas situações. O fluxograma 5.2. representa a situação objeto de estudo, a qual consiste em um detalhamento do fluxograma 5.1.

A seguir, são descritos os algoritmos desenvolvidos para obter as variáveis de entrada de cada subsistema que compõe  $I_1$ .



Fluxograma 5.1.



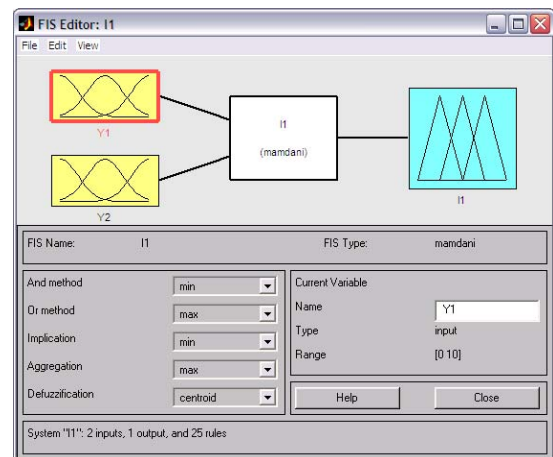
Fluxograma 5.2.

### I. Algoritmo do Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do Subsistema Ambiente Urbano ( $I_1$ )

Este indicador resulta das variáveis de entrada  $Y_1$  e  $Y_2$ , as quais consistem, respectivamente, nos indicadores de adequação acústica do ambiente interno e de adequação acústica do ambiente externo, relativos à avaliação do subsistema ambiente urbano. As variáveis de entrada  $Y_1$  e  $Y_2$  e a de saída  $I_1$  assumem os valores lingüísticos Muito Fraco (MF), Fraco (F), Moderado (MO), Bom (B) e Muito Bom (MB).

A Figura I.1. apresenta o sistema de inferência desenvolvido para  $I_1$  e a Figura I.2. as funções de pertinência desenvolvidas para  $Y_1$ ,  $Y_2$  e  $I_1$ . Considera-se que  $Y_1$ ,  $Y_2$  e  $I_1$  se encontram no universo do discurso  $[0,10]$ .

A Figura I.3 permite visualizar as regras de inferência editadas no *Matlab* a partir da Tabela de decisão 1, a qual resume as regras de inferência esboçadas para se obter o Indicador de Adequação Acústica do Subsistema Ambiente Urbano.



**Figura I.1** Sistema de inferência desenvolvido para obter o Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do Subsistema Ambiente Urbano.

**TABELA DE DECISÃO 1** : Indicador de Adequação acústica do ambiente urbano ( $I_1$ )

Y1 \ Y2	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

REGRA : Se “ $Y_1$ ” (Indicador de adequação acústica do ambiente interno) é ... E “ $Y_2$ ”(Indicador de adequação acústica do ambiente externo) é ..., então  $I_1$  (Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema Ambiente Urbano) é...

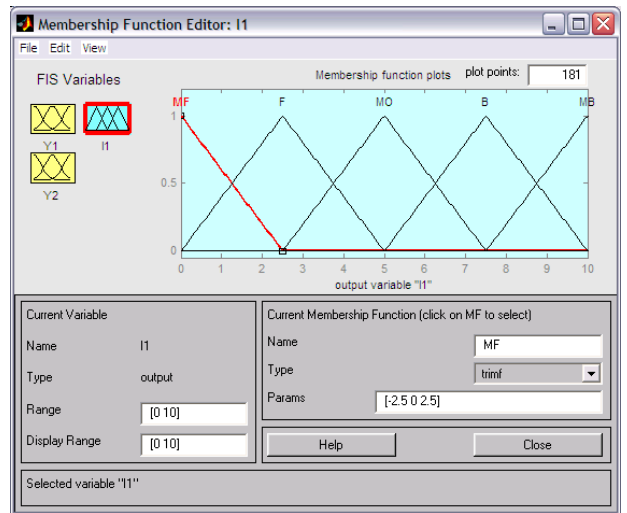
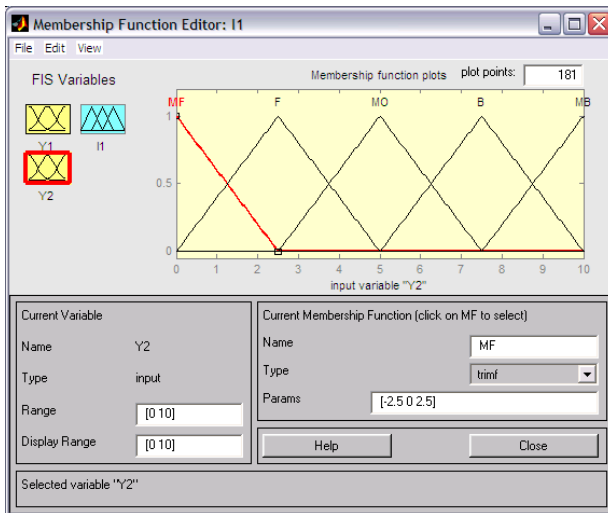
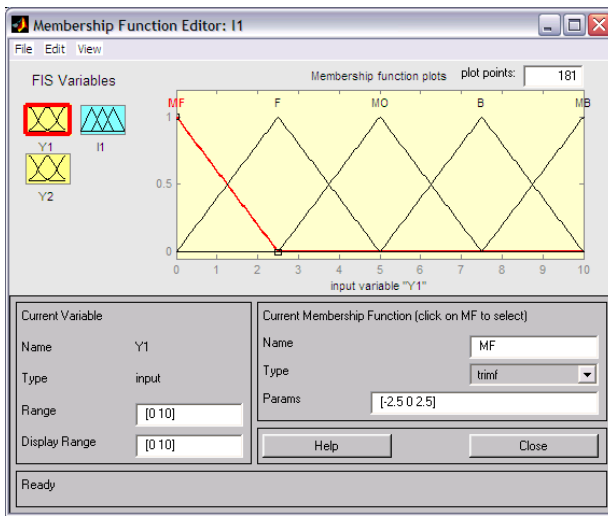


Figura I.2. Funções de pertinência desenvolvidas para  $Y_1$ ,  $Y_2$  e  $I_1$ .

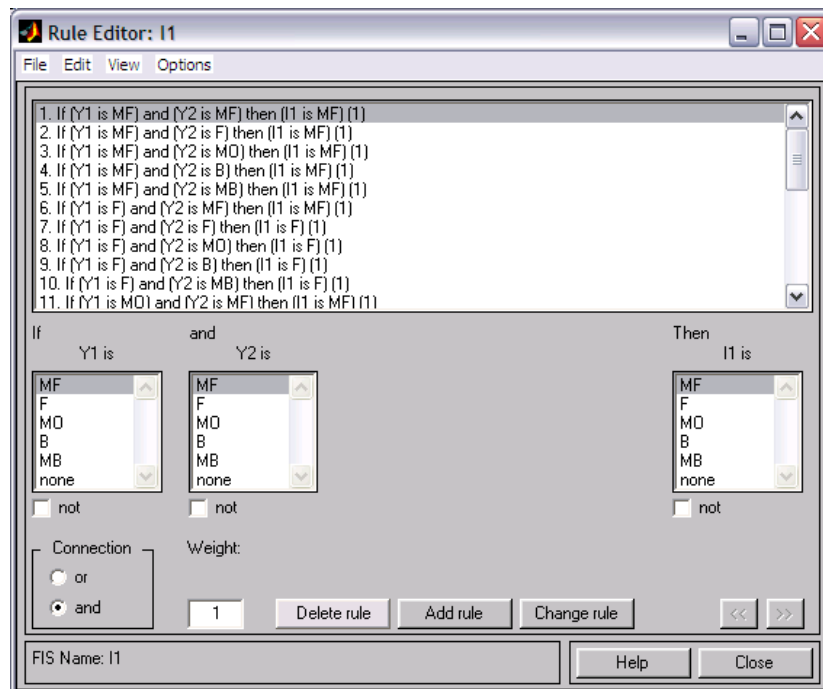


Figura I.3. Edição das regras de inferência.

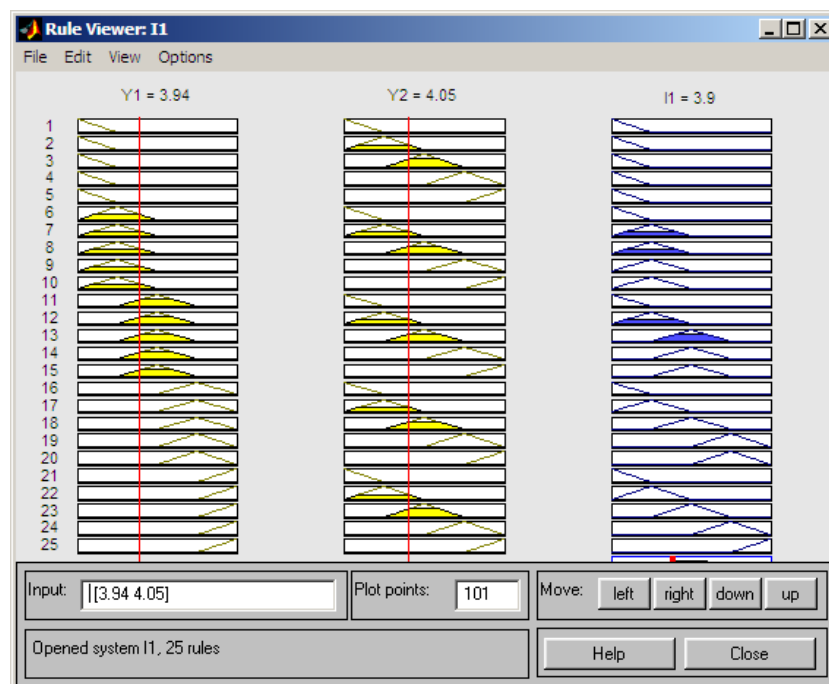
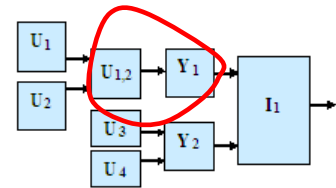


Figura I.4. Desfuzificação, resultando um valor “crisp” para  $I_1$  igual a 3,9.

No visor de regras do *Matlab* (Figura I.4) foram atribuídos os valores de  $Y_1$  e  $Y_2$  encontrados, respectivamente, nos itens I.1 e I.2, obtendo-se um valor “crisp” 3,9 para  $I_1$ . A seguir são descritos os procedimentos para obter as variáveis  $Y_1, Y_2$  e suas entradas  $U_1, U_2, U_{1,2}, U_3$  e  $U_4$ .

**I.1) Algoritmo do Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do subsistema ambiente urbano. (Y<sub>1</sub>)**

Observa-se que este subsistema tem como variável de entrada a Qualidade Acústica do Envelope da Edificação, segundo o ponto de vista do usuário e do avaliador (U<sub>1,2</sub>). Na verdade, Y<sub>1</sub> é igual a U<sub>1,2</sub> e serve de entrada para o subsistema I<sub>1</sub>.



“Reprint” do fluxograma 5.2.

A variável lingüística de entrada U<sub>1,2</sub> e a variável de saída Y<sub>1</sub> (Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do ambiente urbano), assumiram os valores lingüísticos Muito Fraco (MF), Fraco (F), MOderado (MO), Bom (B) e Muito Bom (MB), sendo adotado um universo do discurso situado no intervalo [0,10], conforme descrito na seção I.1.1, a seguir:

***I.1.1) Algoritmo da Qualidade acústica do envelope da edificação segundo o ponto de vista do usuário e do avaliador (U<sub>1,2</sub> = Y<sub>1</sub>).***

Esta variável lingüística recebeu como entrada as variáveis U<sub>1</sub> (qualidade acústica das janelas, obtida através da opinião dos usuários das edificações residenciais receptoras críticas, considerando a capacidade do envelope da edificação atenuar o ruído externo, ao fechar a janela) e U<sub>2</sub> (Qualidade Acústica do Envelope, segundo o ponto de vista do avaliador, quando a janela está fechada).

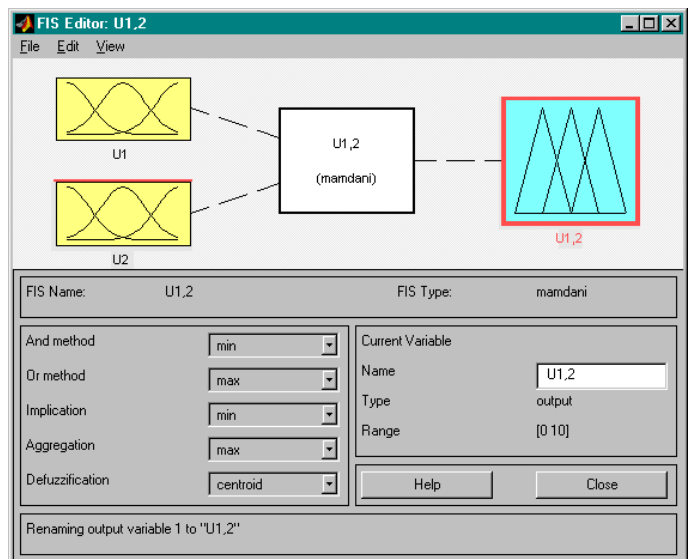


Figura I.1.1.1. Sistema de inferência fuzzy.

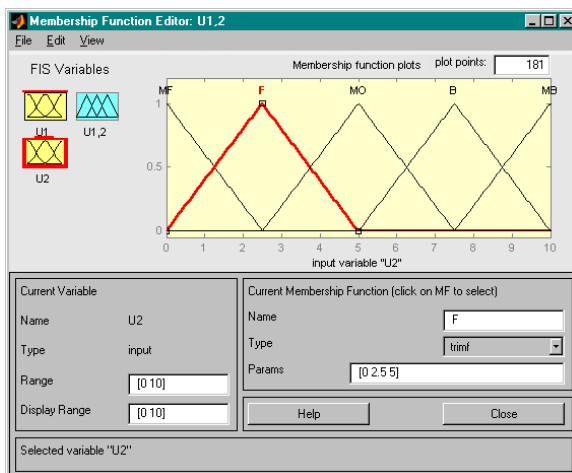
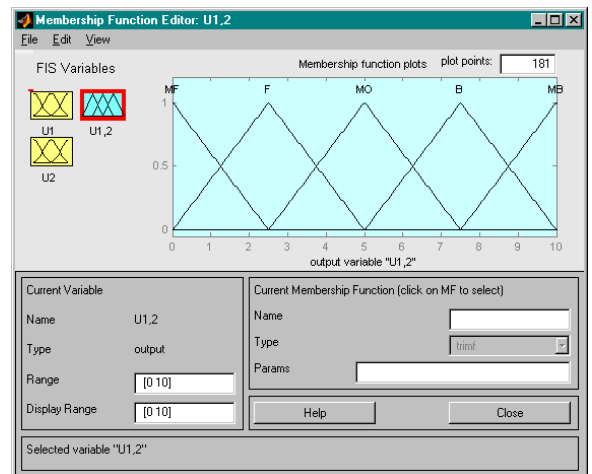
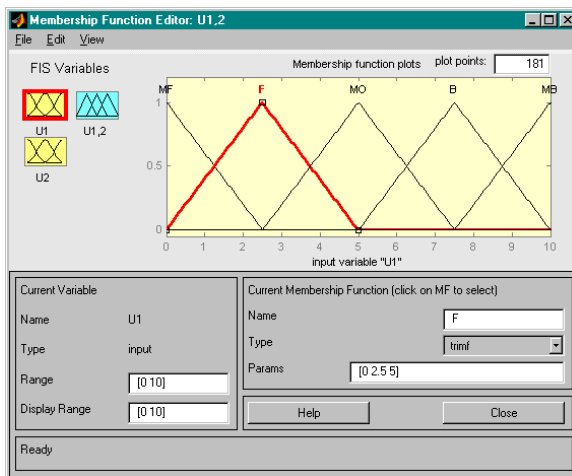
Observe que, de modo geral, a janela é o elemento mais fraco no que se refere ao isolamento sonoro proporcionado por uma fachada. (MEISSER, 1974, BEREND, 1976, CATED, 1987). Por esse motivo, considerou-se que a Qualidade Acústica do Envelope do ponto de vista do usuário poderia ser dada em função da sua opinião em relação à qualidade acústica da janela.

A Tabela de Decisão 2 sintetiza as regras de inferência que originaram  $U_{1,2}$ , tomando como base as variáveis de entrada  $U_1$  e  $U_2$ . As variáveis de entrada e de saída foram associadas aos valores lingüísticos Muito Fraca (MF), Fraca (F), MOderada (MO), Boa (B) e Muito Boa (B).

**TABELA DE DECISÃO 2 : Qualidade Acústica do Envelope da Edificação, segundo o ponto de vista do usuário e do avaliador ( $U_{1,2}=Y_1$ ).**

U2 \ U1	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

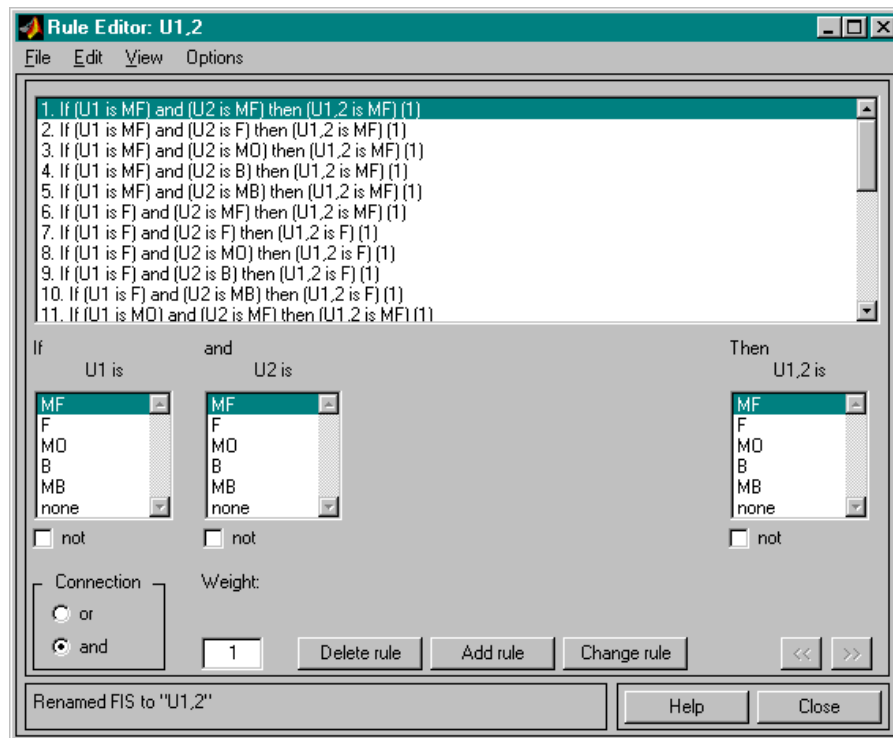
REGRA: Se “ $U_1$ ” (Qualidade acústica das janelas, obtida através da opinião dos usuários das edificações residenciais receptoras críticas ( $U_1 = QAJ_{ij}$ ) é .. E “ $U_2$ ” (Qualidade Acústica do Envelope da Edificação, segundo o ponto de vista do avaliador) é ..., Então  $U_{1,2}$  (Qualidade Acústica do Envelope da Edificação, segundo o ponto de vista do usuário e do avaliador) é...



**Figura I.1.1.2.** Funções de pertinência de  $U_1$ ,  $U_2$  e  $U_{1,2}$ .

A Figura I.1.1.1 apresenta o sistema de inferência fuzzy desenvolvido para descrever a Qualidade acústica do envelope da edificação segundo o ponto de vista do usuário e do avaliador ( $U_{1,2} = Y_1$ ). Na Figura I.1.1.2. pode-se visualizar as funções de pertinência relativas a  $U_1$ ,  $U_2$  e  $U_{1,2}=Y_1$ .

A Figura I.1.1.3 ilustra as regras de inferência desenvolvidas para atingir  $U_{1,2}=Y_1$  e a Figura I.1.1.4 consiste na desfuzificação, com base nos valores de  $U_1$  e  $U_2$  extraídos dos itens  $a$  e  $b$ , respectivamente. Dessa forma, considerando  $U_1= 4,31$  e  $U_2=3,98$ , obteve-se  $Y_1= 3,94$ .



**Figura I.1.1.3.** Regras de inferência, considerando as variáveis de entrada  $U_1$  e  $U_2$  e as variáveis de saída  $U_{1,2}$ .



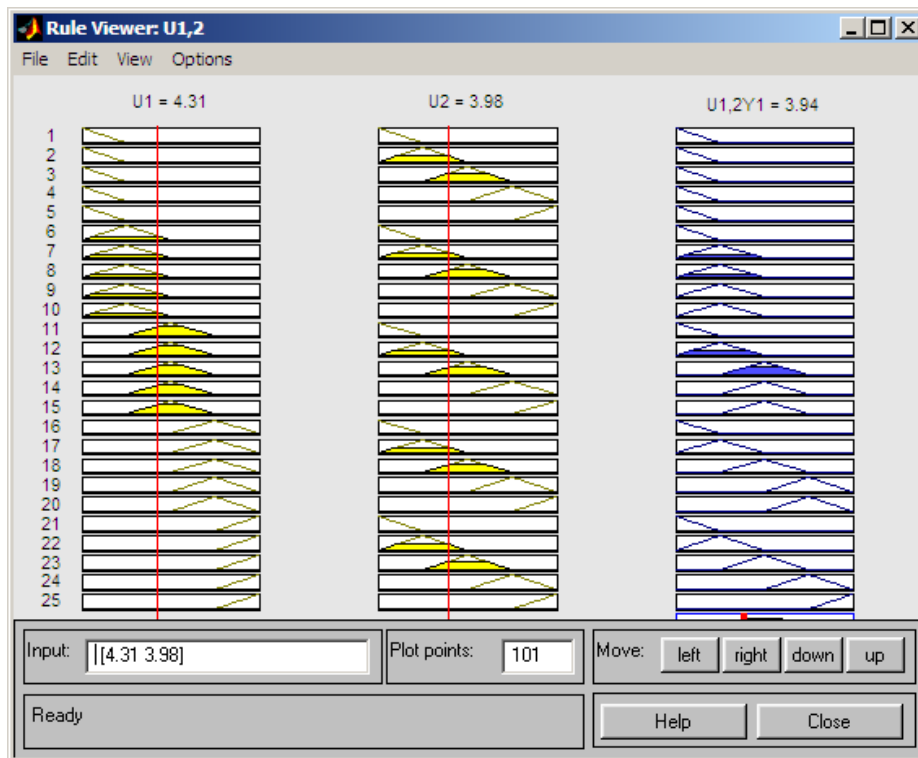


Figura I.1.1.4.. Desfuzificação, resultando  $U_{1,2}=Y_1= 3,94$ .

a) Algoritmo para obter a Qualidade Acústica da Janela, obtida através da opinião dos usuários das edificações residenciais receptoras críticas ( $U_1 = QAJ_u$ )

Este subsistema tem origem no sistema comportamental. Ele representa a

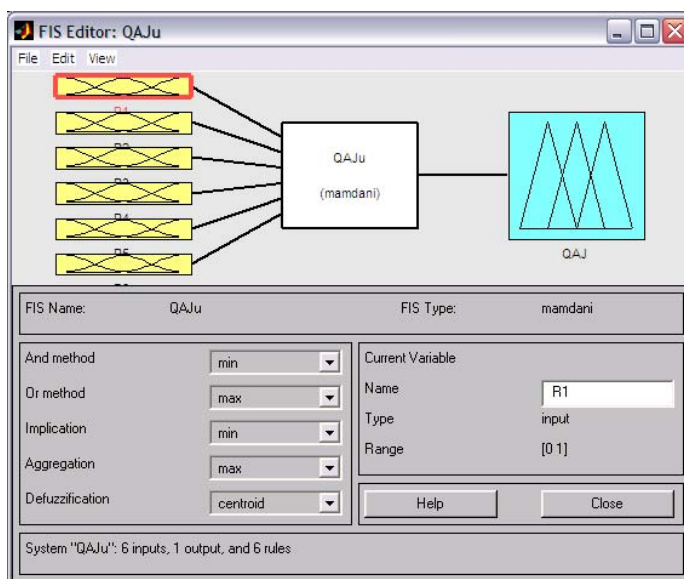


Figura a.1. Sistema de inferência fuzzy- Qualidade acústica das janelas, segundo a opinião dos usuários.

qualidade acústica das janelas, obtida através da opinião dos usuários das edificações residenciais receptoras críticas ( $U_1 = QAJ_u$ ), nas quais foram aplicados os questionários.

Neste caso, considera-se que a capacidade do envelope da edificação atenuar o ruído externo, ao fechar a janela está associada à qualidade acústica da janela, pois, a janela é o

ponto mais fraco no isolamento sonoro de uma fachada. (MEISSER, 1974, BERENDT, 1976, CATED, 1987)

As seis possibilidades de respostas, entre as opções apresentadas na Questão 4 (“ao fechar a janela diminui o ruído externo?”) do questionário aplicado aos residentes nas áreas receptoras críticas, foram adotadas como variáveis de entrada, isto é: (R1, R2, R3, R4, R5 e R6.

Estas respostas assumiram os valores lingüísticos Não, Muito Pouco, Pouco, Moderadamente, Muito e Demais, nas percentagens descritas no item 5.4.1.1.b deste capítulo (respectivamente: 5%, 12%, 36%, 30%, 15% e 2%).

Deste modo, as possibilidades de respostas obtidas nesta questão foram adotadas como entradas. A Figura a.1. apresenta o subsistema de inferência *fuzzy* que representa a “Qualidade Acústica da Janela, segundo a opinião dos usuários”.

Conforme verifica-se na Figura a.2, criou-se para cada entrada apenas uma função de pertinência (Figura a.2.), sendo considerado o intervalo do discurso variando de 0 a 1. A Qualidade acústica da janela foi associada a cinco valores lingüísticos (Muito Fraca, Fraca, Moderada, Boa e Muito Boa (Figura a.3), os quais se encontram no universo do discurso situado no intervalo [0,10].

Além disso, foram criadas seis regras de inferência (Figura a.4.). Na edição das regras, as respostas Não e Muito Pouco foram consideradas como resultando uma qualidade acústica Muito Fraca. Este procedimento possibilitou utilizar os mesmos valores lingüísticos utilizados em  $U_{1,2}$ . Uma vez introduzidas as percentagens no visor de regras do Matlab (Figura a.5), através da desfuzificação, obteve-se como resultado final de  $U_1$  o valor 4,31.

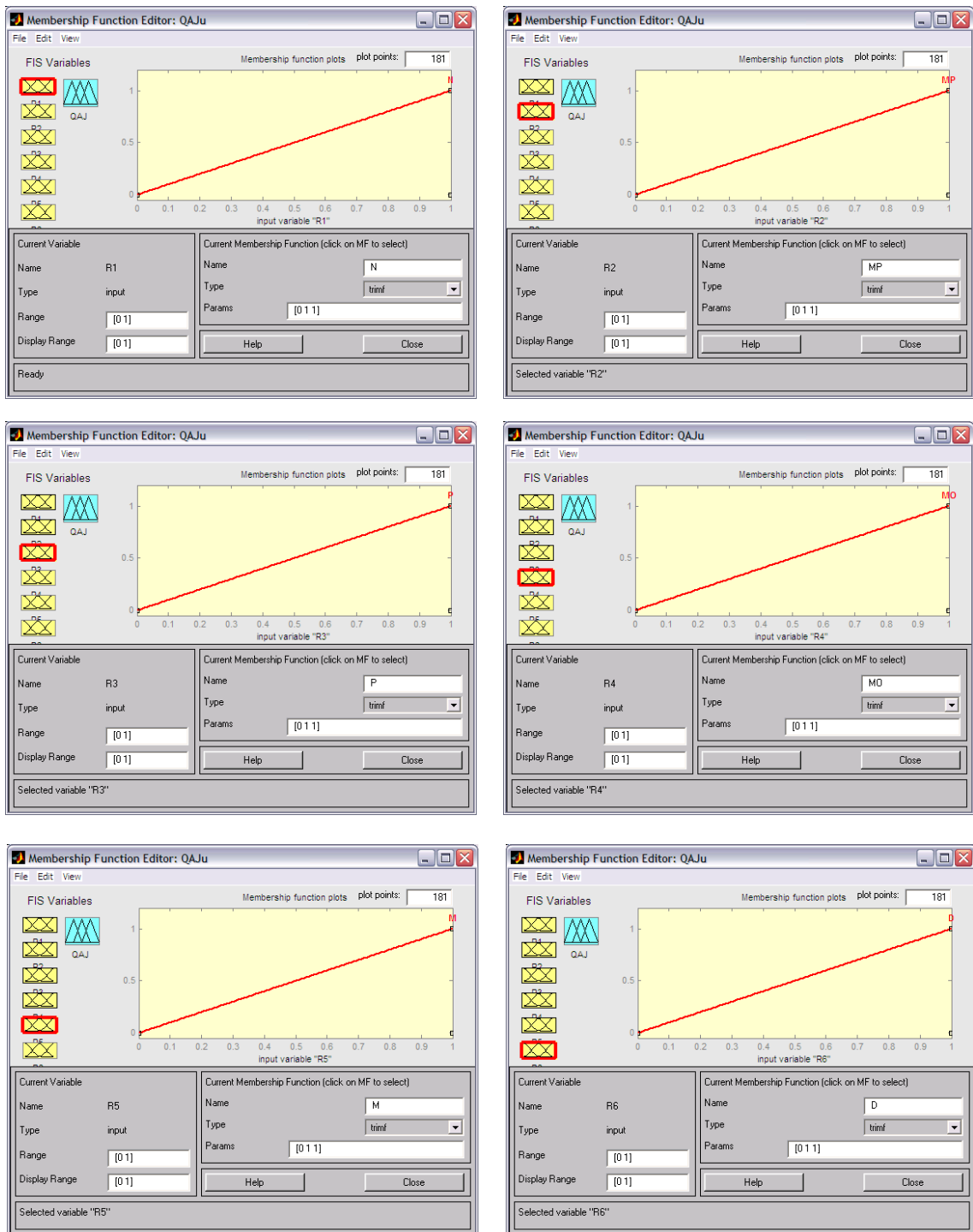
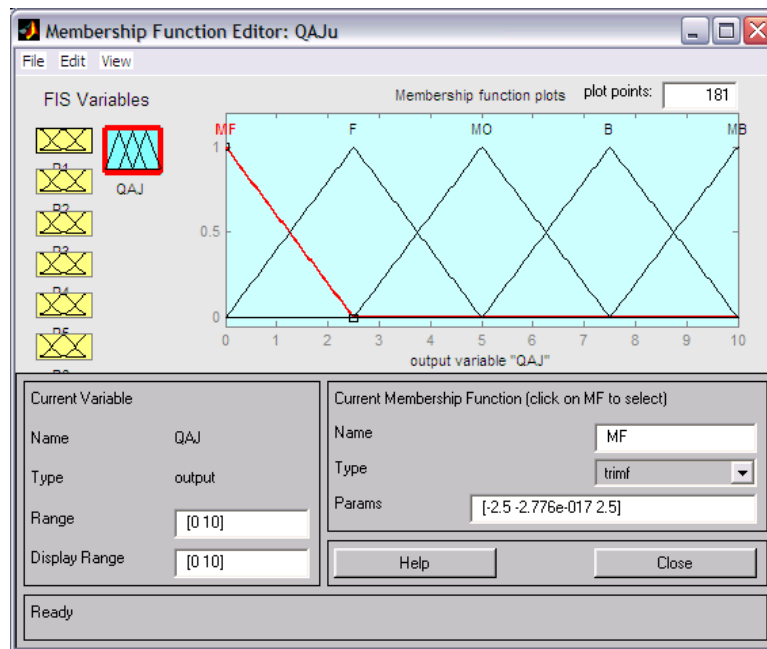
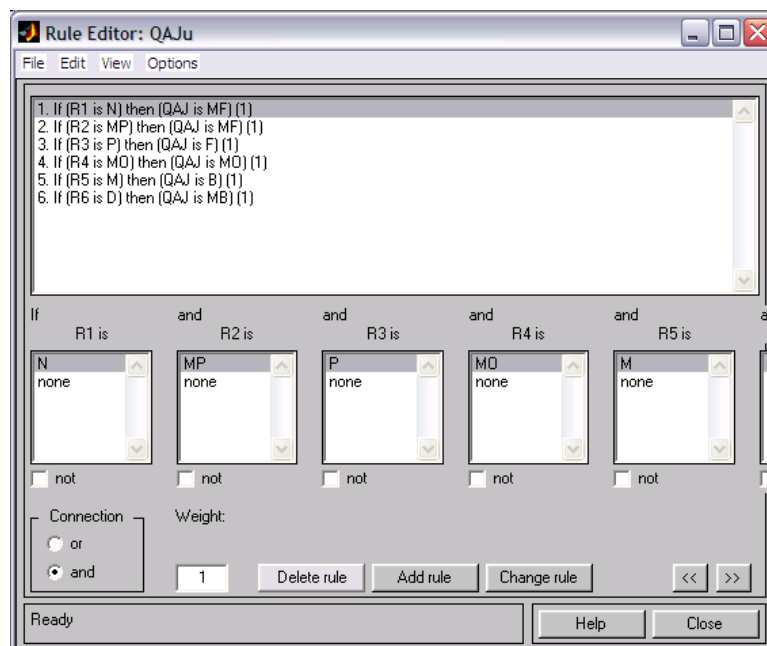


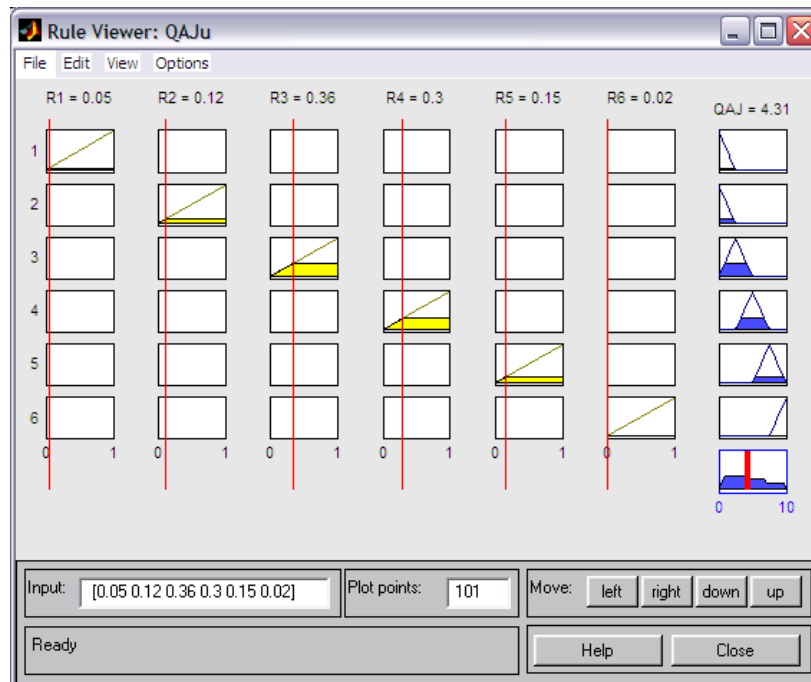
Figura a.2. Função de pertinência de cada variável de entrada : R1, R2, R3, R4 R5 e R6.



**Figura a.3.** Funções de pertinência da variável de saída QAJ.



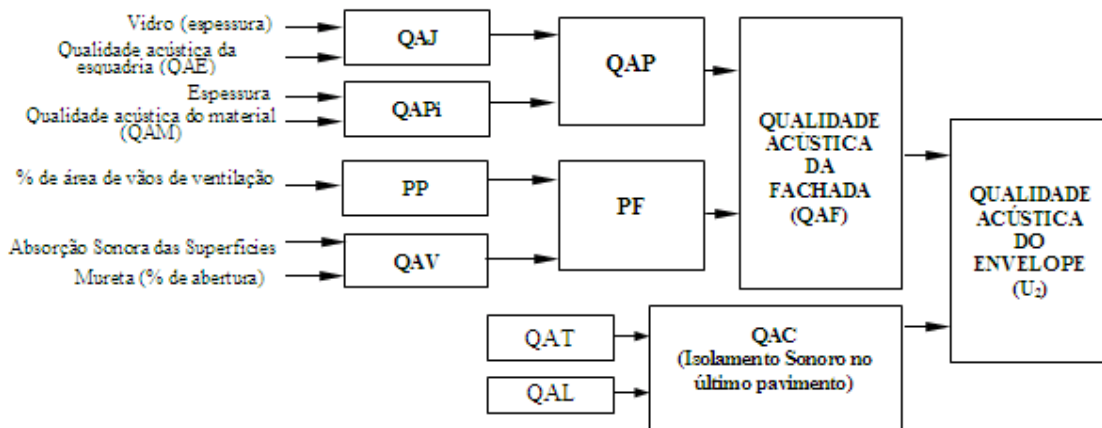
**Figura a.4.** Regra de inferência



**Figura a.5.** Visor de regras: Desfuzificação. A Qualidade acústica das janelas, segundo a opinião de usuários (QAJ) recebe a nota 4,31.

**b. Algoritmo da Qualidade Acústica do Envelope, segundo o ponto de vista do Avaliador ( $U_2$ ),**

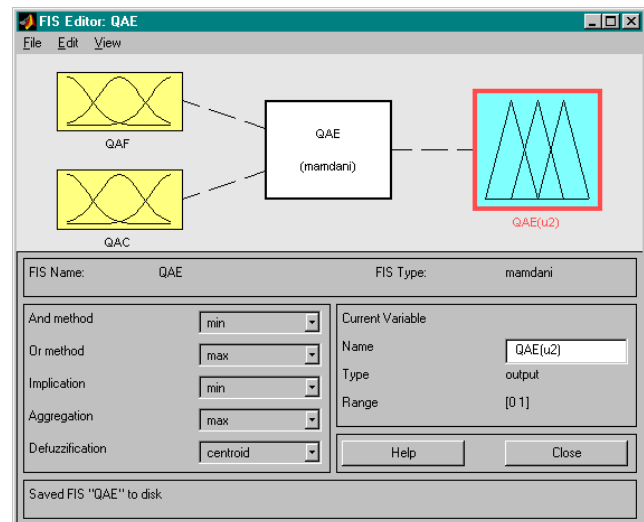
De modo geral, a qualidade acústica do envelope da edificação resulta, basicamente, da qualidade acústica das janelas, varandas, paredes e cobertura. (CETUR, 1981, MEISSER, 1974, BERENDT, 1976, CATED, 1987). Assim sendo, a proposição do algoritmo relativo à qualidade acústica do envelope da edificação, segundo o ponto de vista do avaliador ( $U_2$ ), baseou-se na decomposição deste este subsistema ( $U_2$ ) nos



**Fluxograma 5.3.**

subsistemas: Qualidade Acústica da Fachada (QAF) e Qualidade Acústica da Cobertura (QAC). (Fluxograma 5.3)

Neste trabalho, o subsistema Qualidade Acústica da Fachada (QAF) será decomposto em: Qualidade Acústica das Paredes (QAP) e Permeabilidade da Fachada (PF). O subsistema Qualidade Acústica da Cobertura (QAC) irá variar em função do tipo de recobrimento da cobertura (tipo de telha, existência de forro ou laje, ser ou não a laje recoberta por telhado etc.) Considerando as características das edificações avaliadas, neste trabalho, iremos considerar que o subsistema QAC tem como variáveis de entrada a Qualidade Acústica da Laje (QAL) e da Telha (QAT).



**Figura b.1.** Sistema de inferência “fuzzy” elaborado para a Qualidade Acústica do Envelope da Edificação.

O subsistema Qualidade Acústica das Paredes (QAP) poderá ser decomposto em: Qualidade Acústica das Janelas (QAJ) e Qualidade Acústica da Paredes, sem considerar as janelas (QAPi).

Do mesmo modo, o subsistema Permeabilidade da Fachada (PF) poderá ser decomposto em Permeabilidade das Paredes (PP) e Qualidade Acústica das Varandas (QAV).

A seguir, inicialmente serão descritos os procedimentos adotados na definição do algoritmo da Qualidade Acústica do Envelope, segundo o ponto de vista do avaliador, e de cada um dos subconjuntos mencionados.

- **Definição do Algoritmo da Qualidade Acústica do Envelope, segundo o ponto de vista do Avaliador ( $U_2$ ),**

Para definir o algoritmo da Qualidade Acústica do Envelope segundo o ponto de vista do avaliador ( $U_2$ ), considerou-se que a Qualidade Acústica da Fachada (QAF) e a Qualidade Acústica da cobertura (QAC) assumem os valores lingüísticos Muito Fraca

(MF), Fraca (F), Moderada (MO), Boa (B) e Muito Boa (MB), adotando-se um universo do discurso situado no intervalo [0,10].

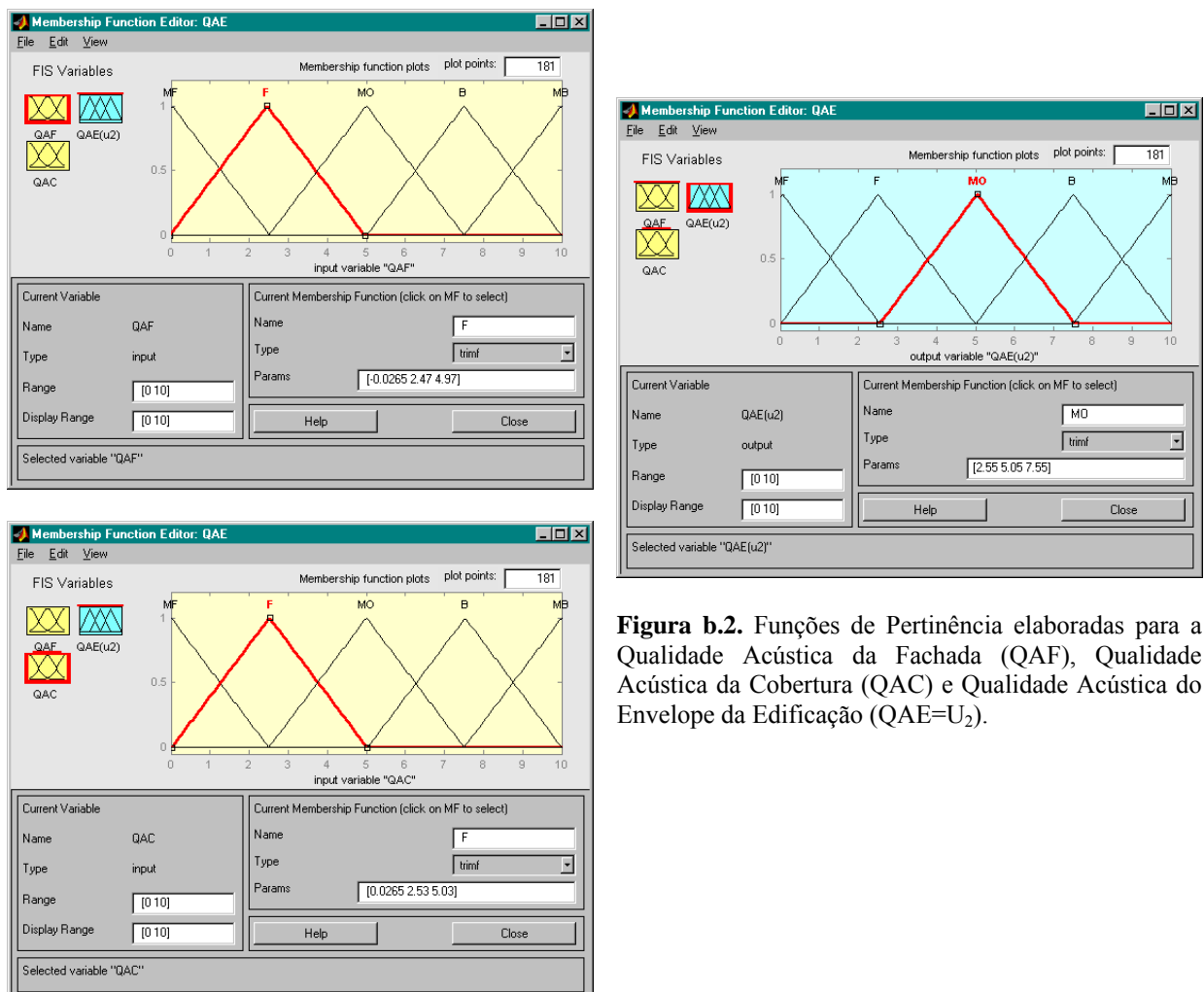
A princípio elaborou-se a Tabela de decisão 3, na qual foram sintetizadas as regras de inferência. A seguir, criou-se no Matlab o sistema de inferência “fuzzy”, considerando as entradas QAF e QAC e a saída QAE = U2 (Figura b.1).

**TABELA DE DECISÃO 3: Qualidade Acústica do Envelope da Edificação segundo o ponto de vista do avaliador (QAE=U<sub>2</sub>)**

QAF \ QAC	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

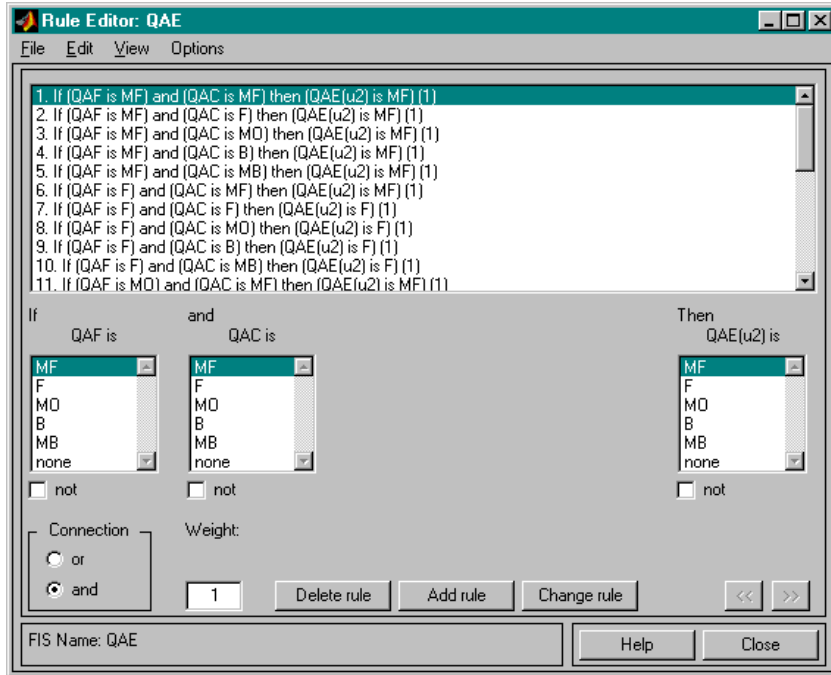
REGRA: Se “Qualidade acústica da fachada (QAF)” é ... E “(Qualidade acústica da Cobertura (QAC)” é ..., então “Qualidade Acústica do Envelope (QAE = U<sub>2</sub>)”é...

Então, criaram-se funções de pertinência para cada variável de entrada (QAF e QAC) e para a variável de saída (QAE) (Figura b.2).

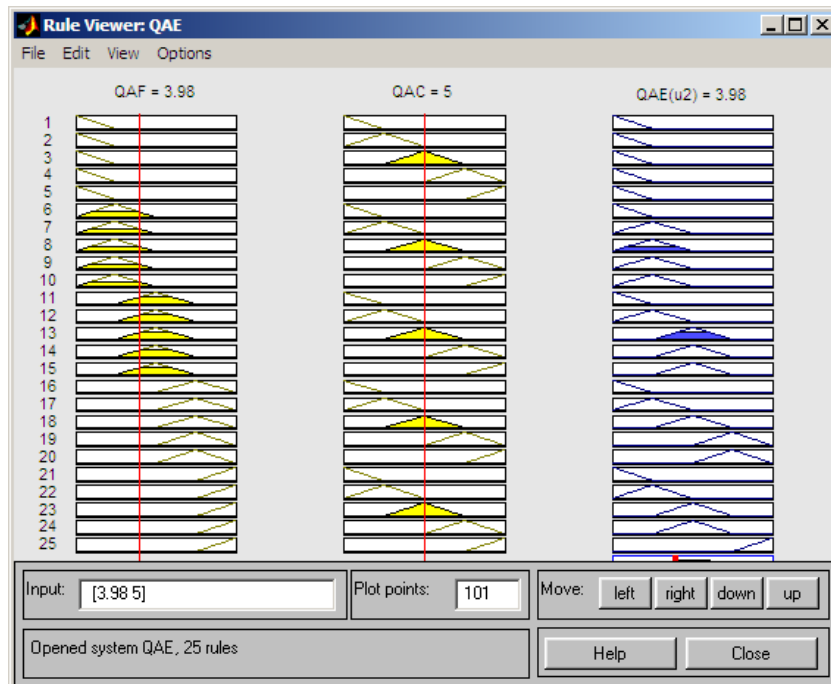


**Figura b.2.** Funções de Pertinência elaboradas para a Qualidade Acústica da Fachada (QAF), Qualidade Acústica da Cobertura (QAC) e Qualidade Acústica do Envelope da Edificação (QAE=U<sub>2</sub>).

Finalmente, criaram-se as regras de inferência no Matlab (Figura b.3), permitindo ao programa realizar a desfuzificação. Uma vez inseridos os resultados das desfuzificações realizadas, respectivamente, em b.1 e b.2 , obteve-se o valor crisp  $QAE=U_2= "3,98"$  (Figura b.4).



**Figura b.3.** Regras de Inferência criadas para a Qualidade Acústica do Envelope da Edificação, segundo o ponto de vista do avaliador ( $QAE = U_2$ ).



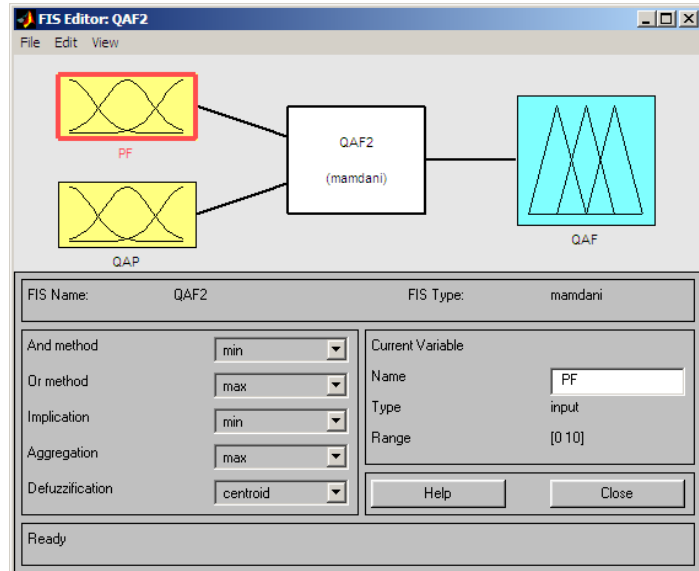
**Figura b.4.** Desfuzificação considerando as variáveis de entrada Qualidade Acústica da Fachada e Qualidade Acústica da Cobertura da Edificação, e a variável de saída Qualidade Acústica do Envelope da Edificação, segundo o ponto de vista do avaliador ( $QAE = U_2$ ).



### b.1. Algoritmo da Qualidade Acústica da Fachada (QAF)

A Figura b.1.1. apresenta o sistema de inferência “fuzzy” elaborado para a Qualidade Acústica da Fachada (QAF).

A partir do fluxograma 5.3, verifica-se que este subsistema tem como entrada a Permeabilidade da Fachada (PF) e a Qualidade acústica das Paredes (QAP).



Com base na Tabela de decisão 4, foram criadas funções de pertinência (Figura b.1.2.) e **Figura b.1.1** Sistema “Fuzzy” Qualidade Acústica da Fachada. regras de inferência (Figura b.1.3), as quais foram introduzidas no editor de regras do *Matlab*.

**TABELA DE DECISÃO 4: Qualidade Acústica da Fachada (QAF)**

QAP \ PF	MG	G	MO	P	MP
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

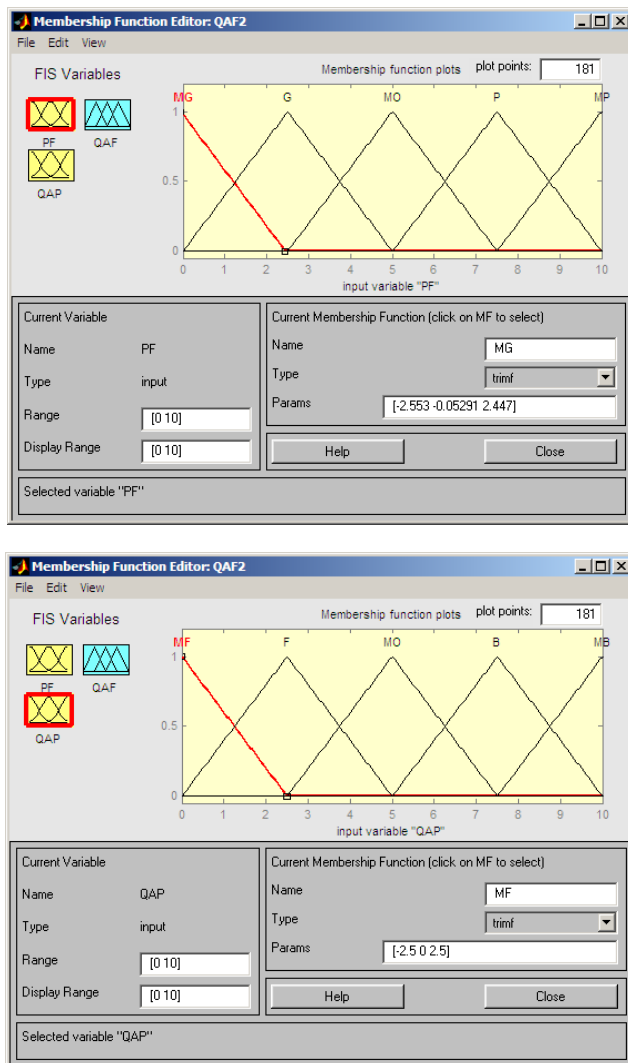
REGRA : Se “ Qualidade Acústica da Parede (**QAP**)” é ... E “ Permeabilidade da Fachada (**PF**)”é ..., então Qualidade Acústica da Fachada (**QAF**) é...

À Permeabilidade da Fachada (PF) foram associados os valores lingüísticos Muito Pequena (MP), Pequena (P), Moderada (MO), Grande (G) e Muito Grande (MG) e adotado como universo do discurso o intervalo [0,10]. À Qualidade Acústica das Paredes (QAP) e da Fachada (QAF) foram associados os valores lingüísticos Muito Fraca (MF), Fraca (F), Moderada (MO), Boa (B) e Muito Boa (MB).

Foi considerado um universo do discurso variando de 0 a 10 para as variáveis de entrada e de saída. Para a Qualidade Acústica da Parede adotou-se o valor resultante da

desfuzificação realizada na seção b.1.1, assim como para a Permeabilidade da Fachada e o valor obtido na seção b.1.2.

O resultado final da desfuzificação, quando se adota uma permeabilidade da fachada de 7,52 (ver seção b.1.2) e a Qualidade Acústica da Parede (QAP) 4,04 (ver seção b.1.1), é o valor “crisp” 3,98.( Figura b.1.4)



**Figura b.1.2.** Funções de pertinência criadas para PF, QAP e QAF.

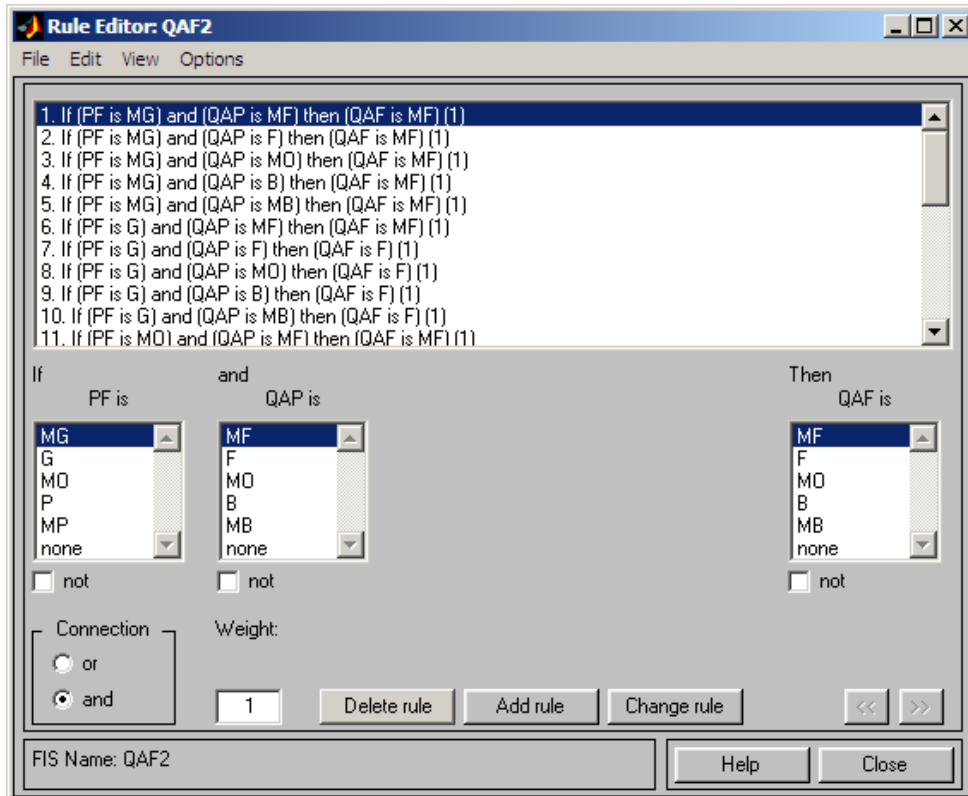


Figura b.1.3. Regras de inferência elaboradas para a Qualidade Acústica da Fachada (QAF).

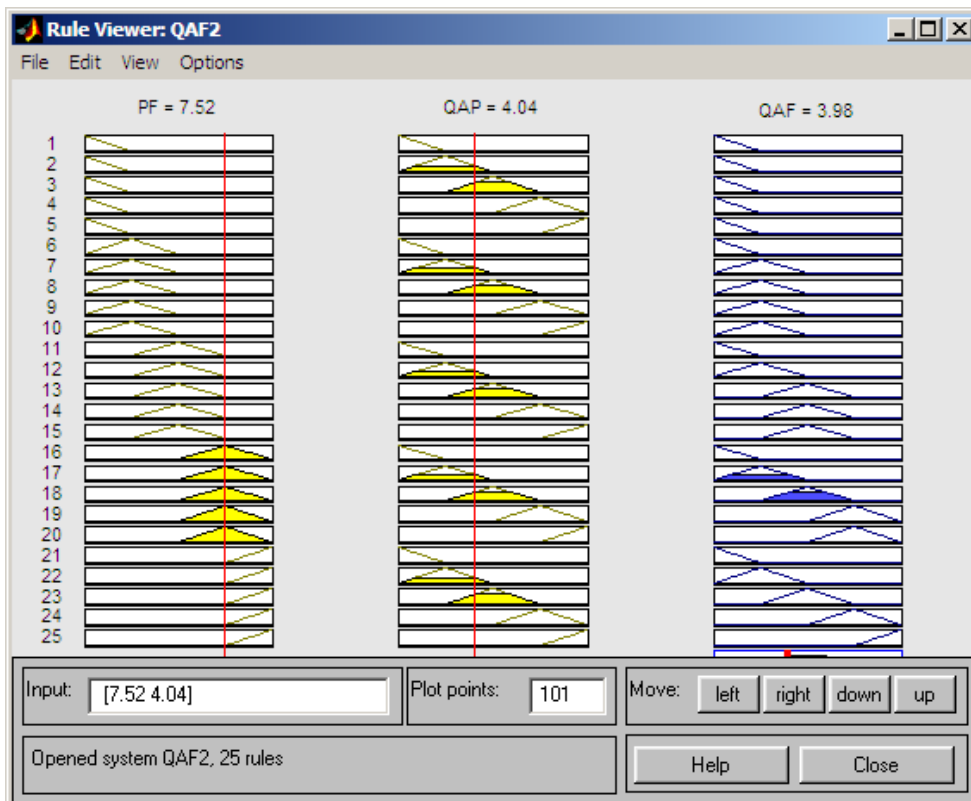
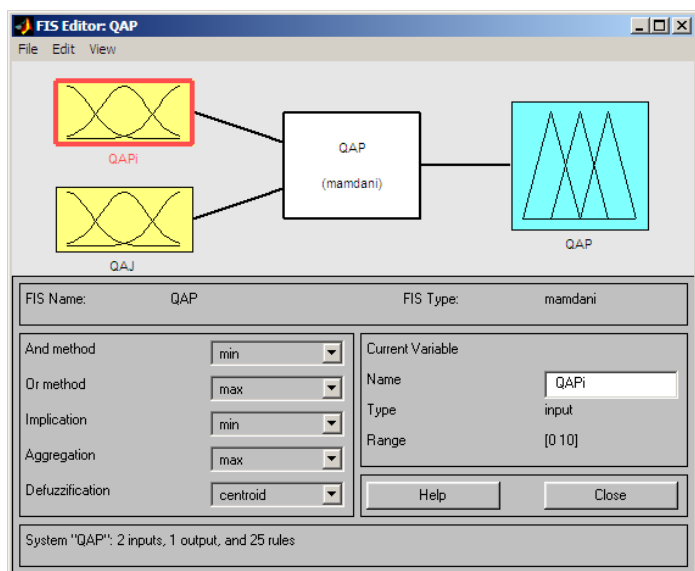


Figura b.1.4. Desfuzificação, resultando um valor “crisp” correspondente a 3,98 para QAF.

*b.1.1. Algoritmo da Qualidade Acústica das Paredes (QAP)*

A Qualidade Acústica das Paredes (QAP) é dada em função das variáveis de entrada: Qualidade Acústica das Janelas (QAJ) e da Qualidade Acústica das Paredes Isoladas (QAPi), sem considerar as Janelas.



Neste caso, os seguintes valores lingüísticos foram adotados para QAP: Muito Fraca, Fraca, Moderada, Boa e Muito Boa. Os mesmos valores foram adotados para a QAPi e para QAJ (Tabela de decisão 5).

O universo do discurso considerado para QAJ, QAPi e QAP foi o intervalo [0,10].

**Figura b.1.1.1.** Sistema de inferência *fuzzy*

**TABELA DE DECISÃO 5: Qualidade Acústica das Paredes.**

QAJ \ QAPi	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	MB	MB

REGRA: Se “Qualidade Acústica da Parede Isolada, sem considerar janelas (QAPi)” é ... E “Qualidade acústica da Janela (QAJ)” é ..., ENTÃO “Qualidade Acústica das Paredes (QAP)” é ...

Introduzindo-se no quadro visor de regras do Matlab os valores “crisp” 4,11 e 4,95 obtidos, respectivamente, no item b.1.1.1 e b.1.1.2., através da desfuzzificação, obtém-se o valor 4,04 , o qual corresponde à Qualidade Acústica da Parede (QAP).

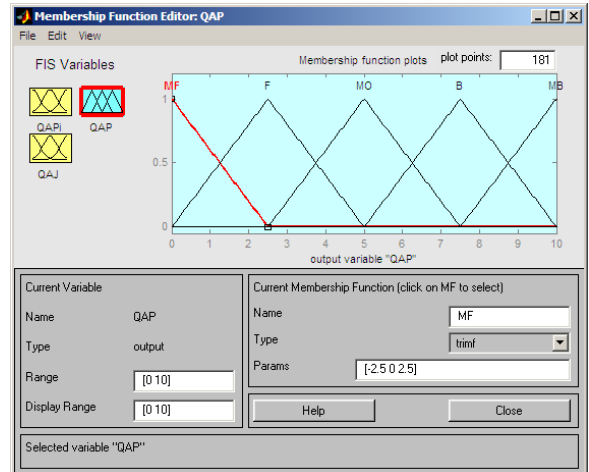
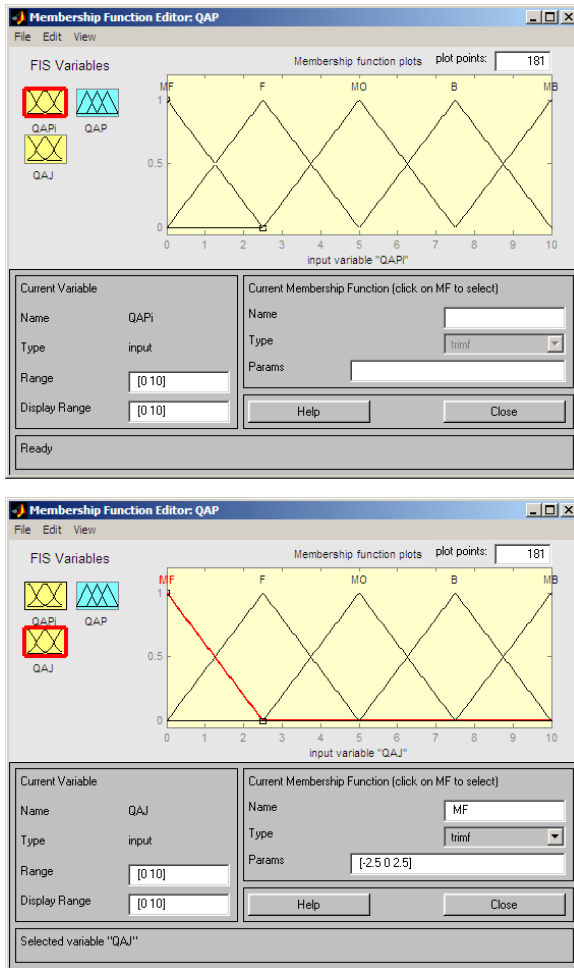


Figura b.1.1.2. Funções de pertinência criadas para a QAPi, QAJ e QAP.

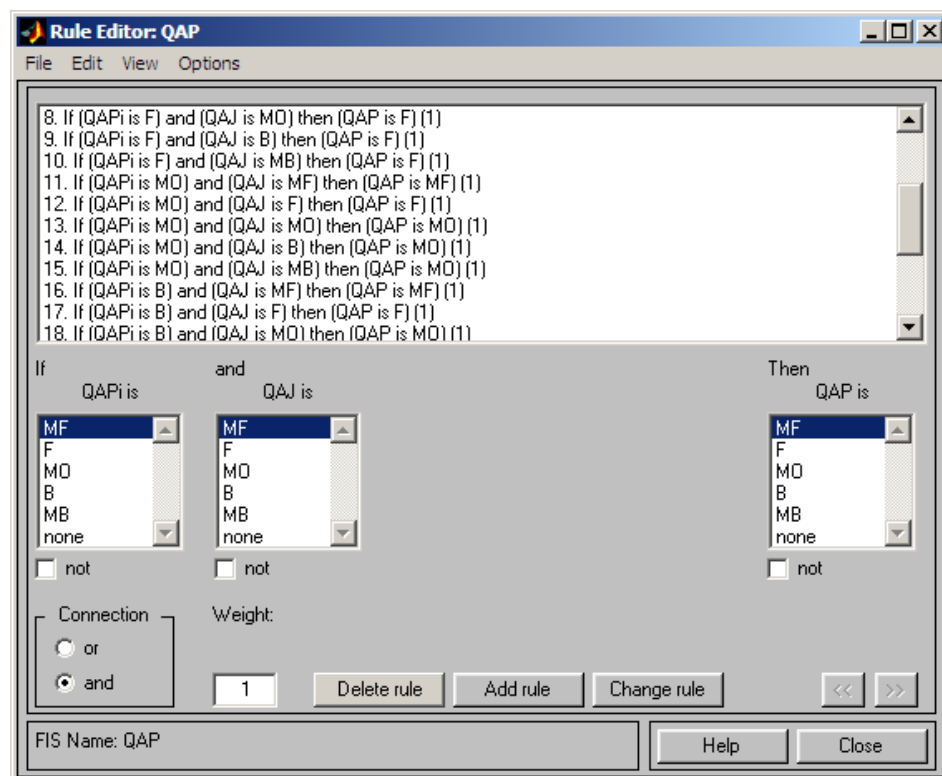
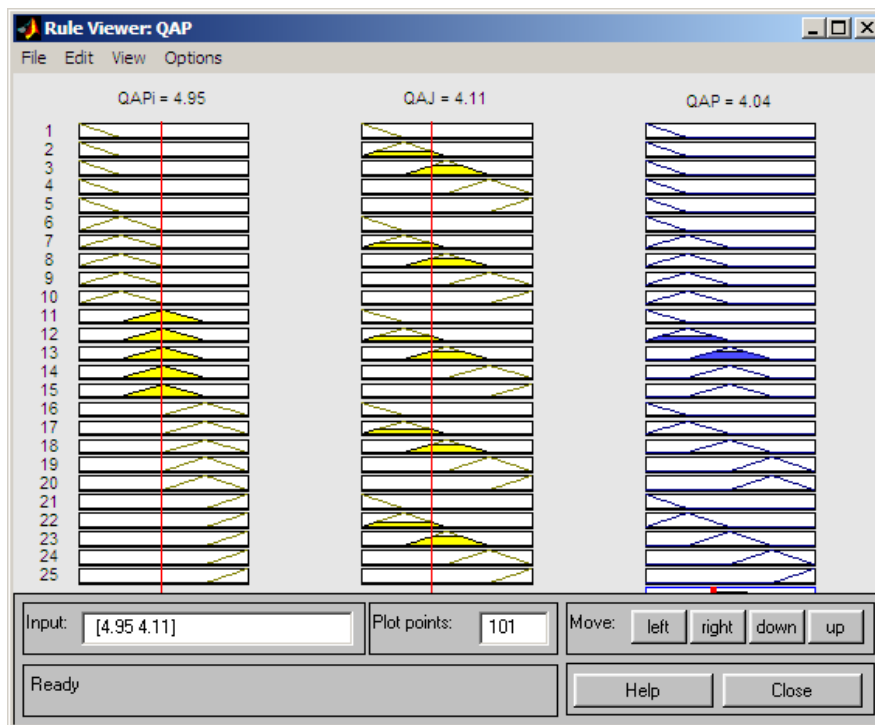


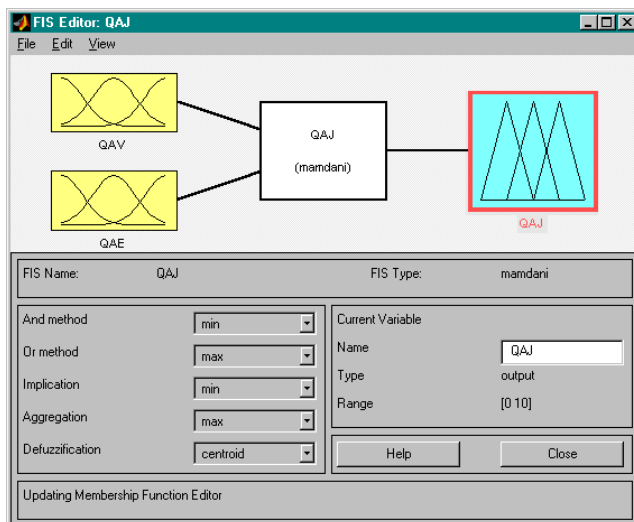
Figura b.1.1.3. Regras de inferência traçadas para a Qualidade Acústica das Paredes (QAP).



**Figura b.1.1.4.** Desfuzificação tendo como variáveis de entrada a Qualidade Acústica das Janelas (QAJ) e Qualidade Acústica das Paredes Isoladas, sem considerar as janelas (QAPi) e como variável de saída a Qualidade Acústica das Paredes (QAP).

#### b.1.1.1. Algoritmo da Qualidade Acústica da Janela (QAJ)

A qualidade acústica de uma janela depende de vários fatores ligados a sua



**Figura b.1.1.1.1.** Sistema “fuzzy” que representa a Qualidade Acústica da Janela (QAJ).

concepção, à natureza da fabricação dos caixilhos e aos tipos de vidro empregados (CATED, 1987). Neste trabalho, considerou-se que a Qualidade Acústica da Janela (QAJ) é, basicamente, resultado da qualidade acústica do vidro (QAV) e da esquadria (QAE).

A Figura b.1.1.1.1 apresenta o sistema de inferência *fuzzy* proposto para obter a qualidade acústica da Janela (QAJ). Observa-se que a

espessura do vidro é o principal fator que interfere na qualidade acústica da janela, já

que o vidro obedece a lei da massa<sup>45</sup>. (CATED, 1987). Uma vez que nas edificações objeto de avaliação é empregado unicamente vidro simples, no subsistema proposto, a Qualidade Acústica do Vidro (QAV) é representada por sua espessura, resultando um isolamento sonoro para o qual foram atribuídos os valores lingüísticos Muito Fraco (MF), Fraco (F), Moderado(MO), Bom (B) e Muito Bom (MB), quando se adotam espessuras de 0 a 10 mm<sup>46</sup>.

Para a Qualidade Acústica da Esquadria (QAE) foram considerados os seguintes valores lingüísticos: Muito Fraca (MF), Fraca (F) MOderada (MO), Boa (B), Muito Boa (MB), adotando-se notas que variam entre 0 e 10, segundo o ponto de vista do avaliador. Observa-se que na Qualidade Acústica da Esquadria está incluída a qualidade das vedações, já que estas são essenciais ao bom isolamento sonoro das janelas.

**TABELA DE DECISÃO 6. Qualidade Acústica da Janela (QAJ)**

QAE \ QAV	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

REGRA : Se “ Qualidade acústica da varanda (QAV)” é ... E “Qualidade Acústica da Esquadria (QAE)” é ..., então Qualidade Acústica da Janela (QAJ) é...

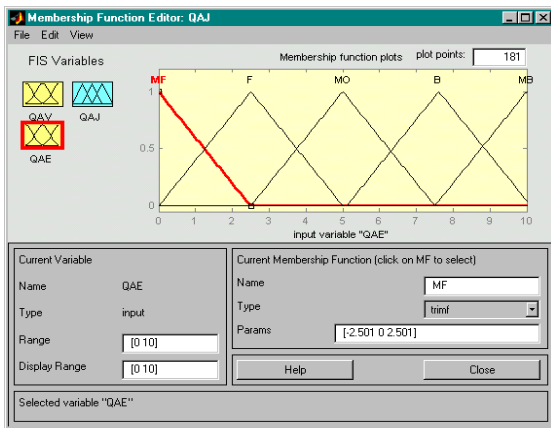
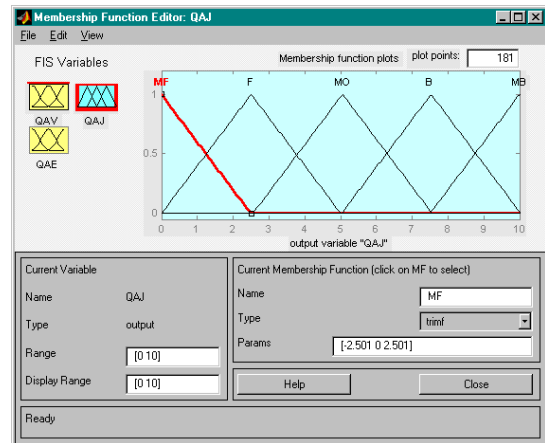
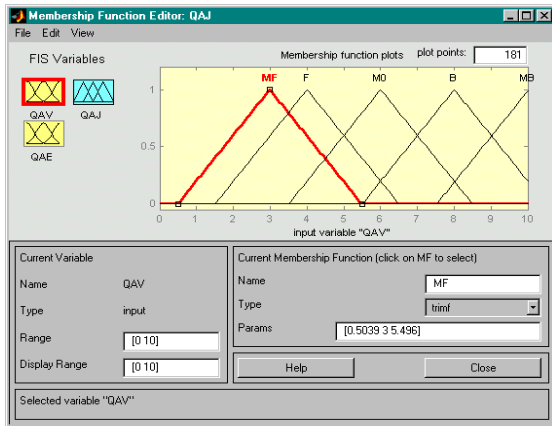
Para Qualidade Acústica da Janela (QAJ) foram considerados os valores ligüísticos Muito Fraca (MF), Fraca (F) MOderada (MO), Boa (B), Muito Boa (MB), assumindo-se valores correspondentes a um universo do discurso variando entre 0 e 10.

A Figura b.1.1.1.2. representa as funções de pertinência adotadas paras as variáveis QAV, QAE e QAJ. A Figura b.1.1.1.3 apresenta as regras de inferência criadas. A Tabela de decisão 6 sintetiza as regras de inferência adotadas na Figura b.1.1.1. 3. No *Matlab*, através da desfuzificação, obtem-se o valor “crisp” 4,11, quando

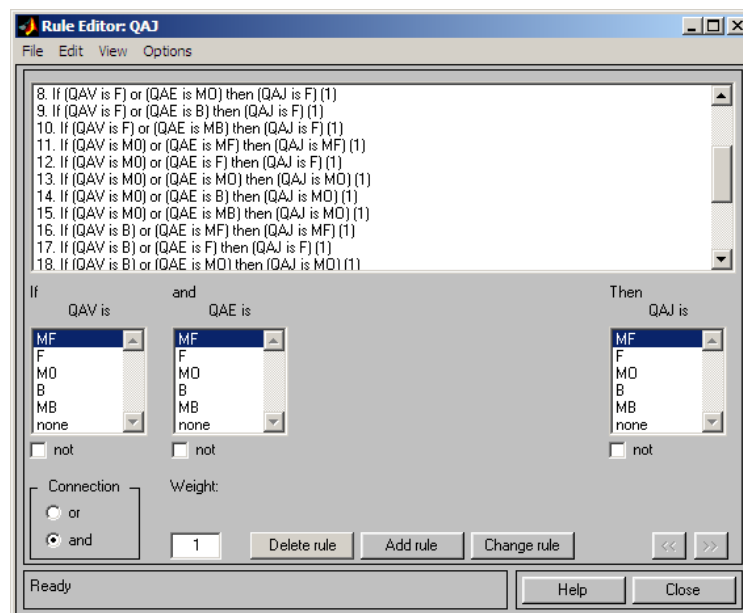
<sup>45</sup> Segundo a Lei da Massa “Teórica”, a perda de transmissão sonora cresce na razão de 6 dB por oitava a cada vez que é dobrada a densidade superficial. Porém somente os sons situados numa determinada faixa de frequência são controlados por essa lei. (GINN, K.B, 1978)

<sup>46</sup> O valor “zero” aqui caracteriza uma janela sem vidro ou com vidro quebrado, sendo totalmente permeável à propagação sonora. Observe que se a esquadria fosse constituída por vidro duplo ou laminado, o sistema proposto deveria sofrer adaptações.

se considera um vidro de 3 mm, uma esquadria com qualidade representada pelo valor 6 e as funções de pertinência estabelecidas na Figura b.1.1.1.4).

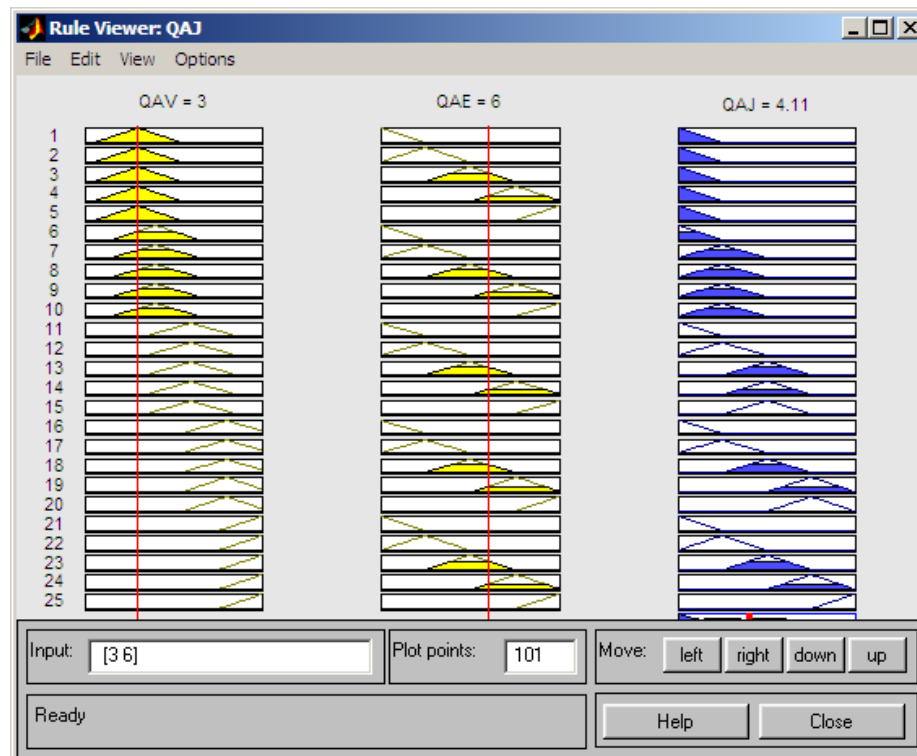


**Figura b.1.1.1.2.** Funções de pertinência adotadas para a Qualidade Acústica do Vidro (QAV), Qualidade Acústica da Esquadria (QAE) e Qualidade Acústica da Janela (QAJ)



**Figura b.1.1.1.3.** Regras de inferência adotadas com base na Tabela de decisão 6.

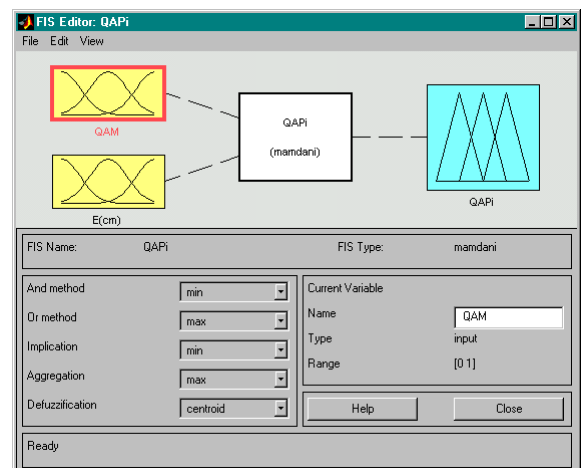




**Figura b.1.1.1.4.** Desfuzificação considerando as variáveis de entrada: vidro de 3mm, qualidade acústica da esquadria nota 6 e a variável de saída Qualidade Acústica da Janela (QAJ), recebendo um valor “crisp” 4,11.

#### *b.1.1.2. Algoritmo da Qualidade Acústica da Parede Isolada, sem considerar as janelas (QAPi)*

A Qualidade Acústica da Parede Isolada, sem considerar as janelas (QAPi) depende basicamente da qualidade acústica dos materiais (QAM) que a constituem e da sua espessura (E), pois a parede, a exemplo do vidro simples, obedece à “lei da massa teórica”. Com base nestes parâmetros de entrada, foi elaborada a Tabela de decisão 7 que orientou na definição das funções de pertinência apresentadas na Figura b.1.1.2.2. e das regras de inferência apresentadas na Figura b.1.1.2.3. A Figura b.1.1.2.1 apresenta o sistema *fuzzy* elaborado para QAPi.

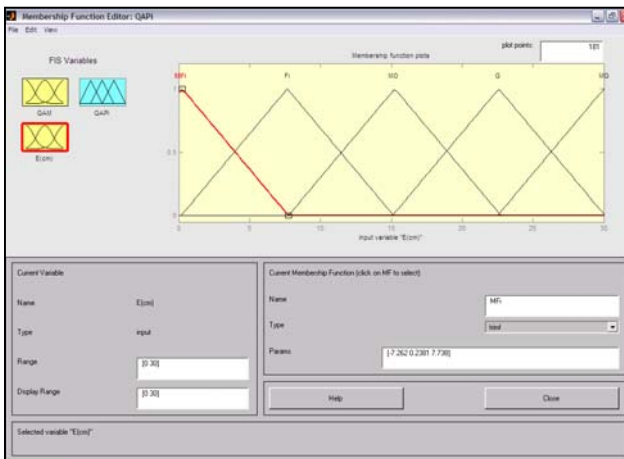
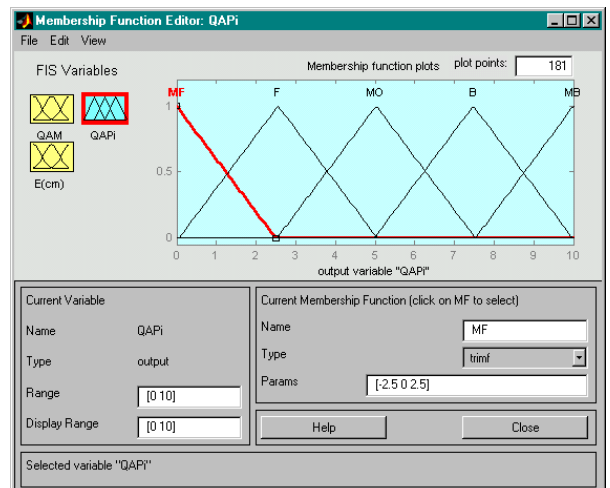
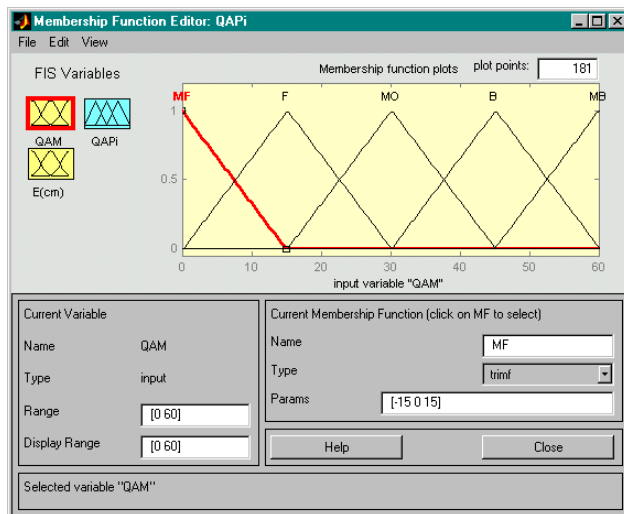


**Figura b.1.1.2.1.** Subsistema representando a Qualidade Acústica da Parede Isolada, sem considerar as janelas (QAPi)

**TABELA DE DECISÃO 7: Qualidade Acústica da Parede Isolada**

QAM \ E	Mfi	Fi	MO	G	MG
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

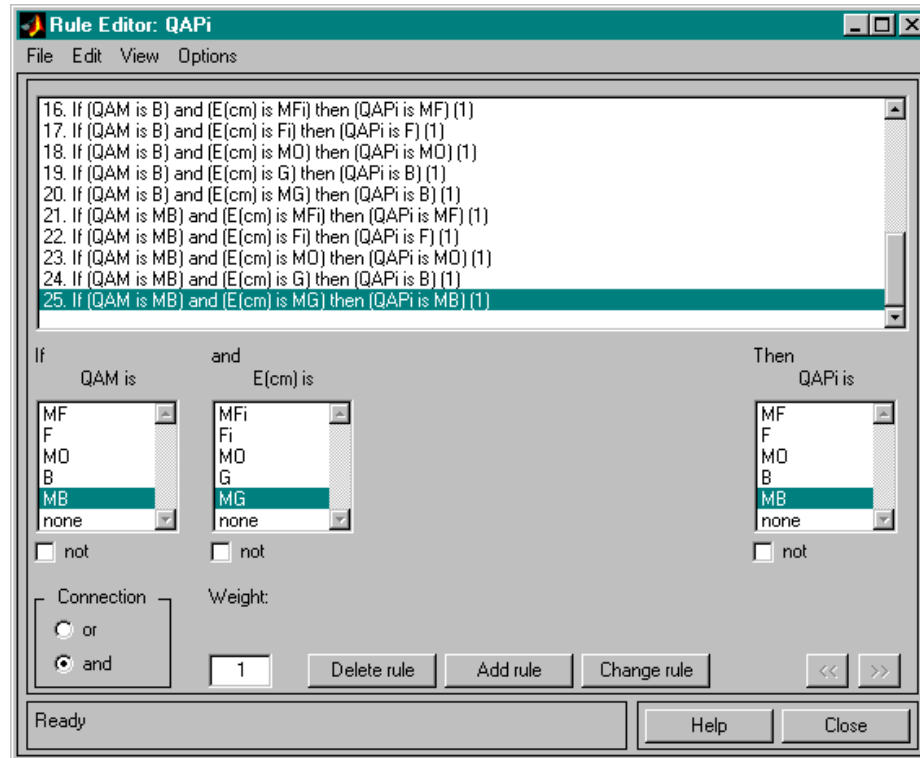
REGRA - Se “Qualidade Acústica dos Materiais (QAM)” é ... E “Espessura das Paredes (E)” é ..., então Qualidade Acústica da Parede isolada, sem considerar as janelas (QAPi) é...



**Figura b.1.1.2.2.** Funções de pertinência elaboradas para a Qualidade Acústica dos Materiais (QAM), Espessura das Paredes (E) e Qualidade Acústica da Parede Isolada (QAPi).

À Qualidade Acústica da Parede Isolada (QAPi) foram associados os valores lingüísticos Muito Fraca (MF), Fraca (F), Moderada (MO), Boa (B) e Muito Boa (MB), aos quais correspondem notas que variam entre 0 e 10. Foram associados à qualidade acústica dos materiais (QAM) os valores lingüísticos Muito Fraco (MF), Fraco (F), Moderado, Bom e Muito Bom, sendo considerado um universo do discurso variando

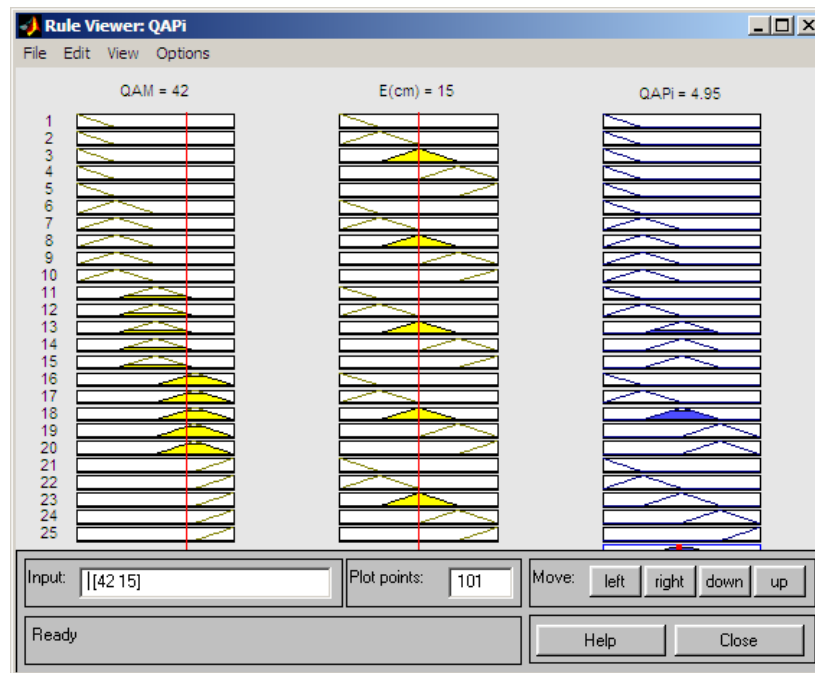
entre 0 e 60 dB(A), correspondente ao isolamento sonoro proporcionado. Do mesmo modo, foram associados à espessura da parede (E) os valores lingüísticos Muito Fina (MFi), Fina (Fi), Moderada (MO), Grossa (G) e Muito Grossa (MG), sendo considerado



**Figura b.1.1.2.3.** Regras de Inferência elaboradas considerando as variáveis de entrada Qualidade Acústica dos Materiais (QAM) e Espessura (E).

um universo do discurso variando entre 0 e 30 cm.

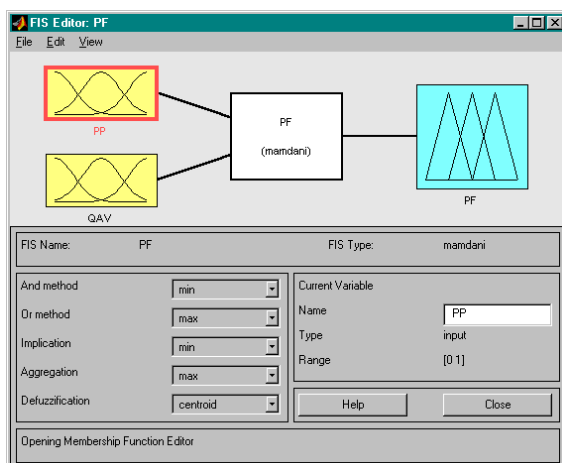
A partir da Figura b.1.1.2.4., verifica-se que quando adotado um isolamento sonoro proporcionado pela fachada correspondente a 42 dB(A) e um valor de 15 cm para a espessura da parede, a qualidade acústica da parede isolada, após a desfuzificação, recebe uma nota 4,95.



**Figura b.1.1.2.4.** Desfuzificação, considerando as variáveis de entrada Qualidade Acústica dos Materiais (QAM) e a Espessura (E).

### b.1.2. Algoritmo da Permeabilidade da Fachada (PF)

A Permeabilidade da Fachada resulta da Permeabilidade da Parede (PP) e da Qualidade Acústica da Varanda (QAVa), conforme verifica-se no sistema de inferência “fuzzy” apresentado na figura b.1.2.1.



**Figura b.1.2.1.** Sistema de inferência “fuzzy” elaborado para a Permeabilidade da Fachada.

Neste trabalho, considera-se que a Permeabilidade das Paredes (PP) assume os seguintes valores lingüísticos: Muito Grande (MG), Grande (G), Moderada (MO), Pequena (P) e Muito Pequena (MP), adotando-se um universo do discurso situado no intervalo  $[0,1]$ .

Para a Qualidade Acústica da Varanda (QAVa) foram empregados os seguintes valores lingüísticos: Muito Fraca (MF), Fraca (F) MODerada (MO), Boa (B), Muito Boa (MB), sendo adotado um valor no intervalo  $[0,10]$  como universo do discurso.

A Permeabilidade da Fachada (PF) assume os valores lingüísticos Muito Grande (MG), Grande (G), Moderada (MO), Pequena (P) e Muito Pequena (MP), estando

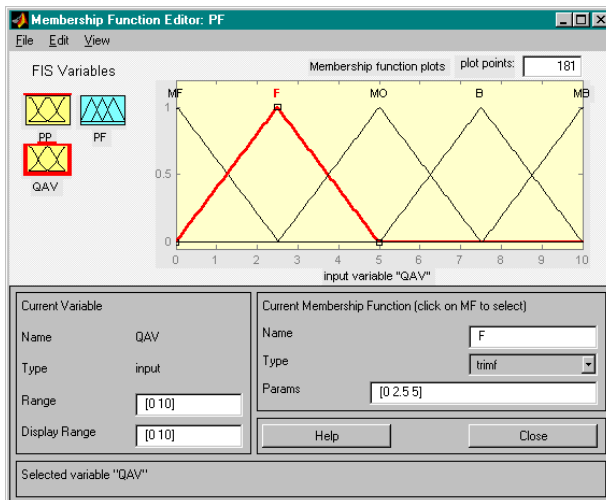
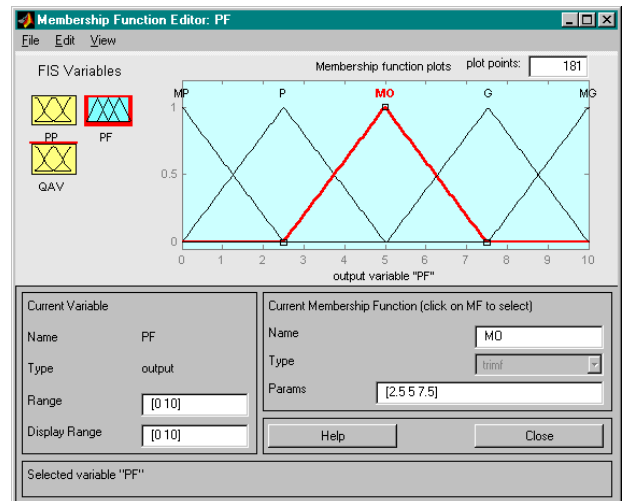
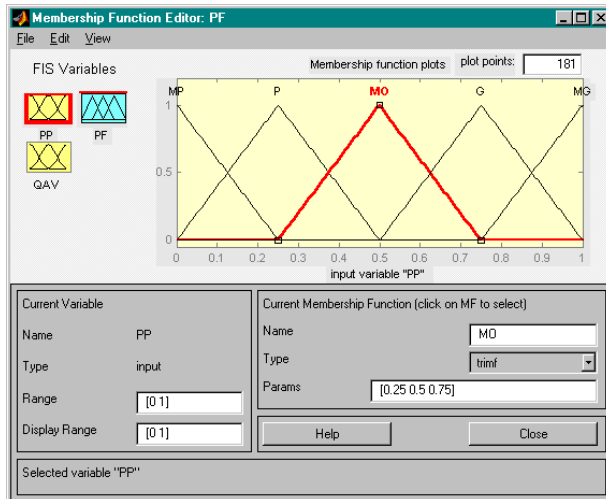
compreendida no intervalo [0,10]. A Tabela de decisão 8, sintetiza as regras de inferência adotadas.

**TABELA DE DECISÃO 8: Permeabilidade da Fachada.**

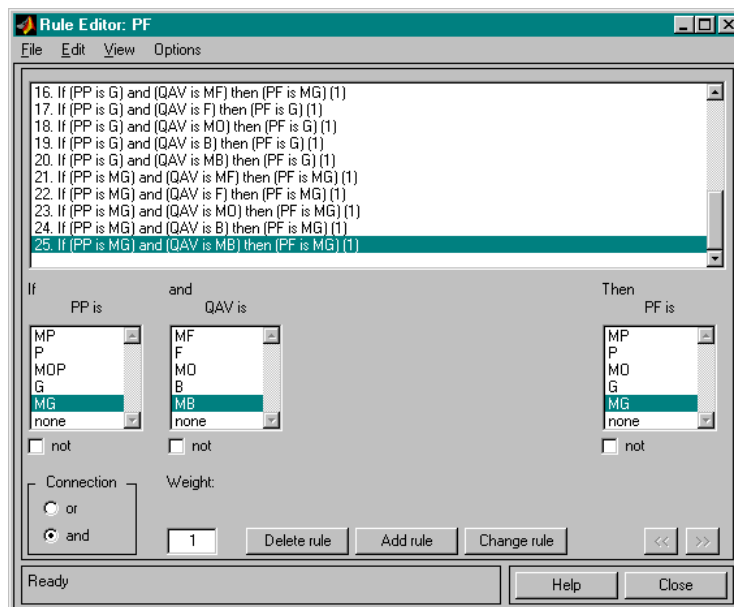
PP \ QAVa	MG	G	MO	P	MP
MF	MG	MG	MG	MG	MG
F	MG	G	G	G	G
MO	MG	G	MO	MO	MO
B	MG	G	MO	P	P
MB	MG	G	MO	P	MP

REGRA: Se “PP” é ... E “QAV” é ..., ENTÃO “PF” é ...

As funções de pertinência desenvolvidas para a Permeabilidade da Parede (PP), a Qualidade Acústica da Varanda (QAVa) e para a Permeabilidade da Fachada (PF) são apresentadas na figura b.1.2.2.

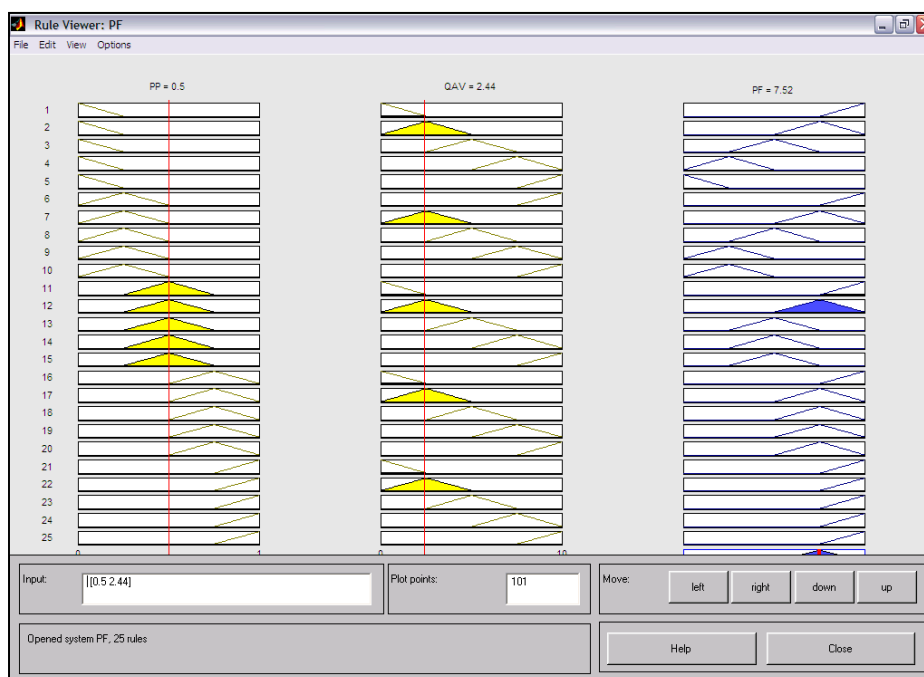


**Figura b.1.2.2.** Funções de pertinência elaboradas para PP, QAVa e PF.



**Figura b.1.2.3.** Regras de inferência.

Uma vez editadas as regras (Figura b.1.2.3) e introduzidos os valores relativos à Permeabilidade da Parede (PP) e à Qualidade Acústica da Varanda (QAVa) obtidos, respectivamente, em b.1.2.1 e b.1.2.2, a desfuzificação fornece o valor “crisp” 7,52 para a Permeabilidade da Fachada (PF) (Figura b.1.2.4).

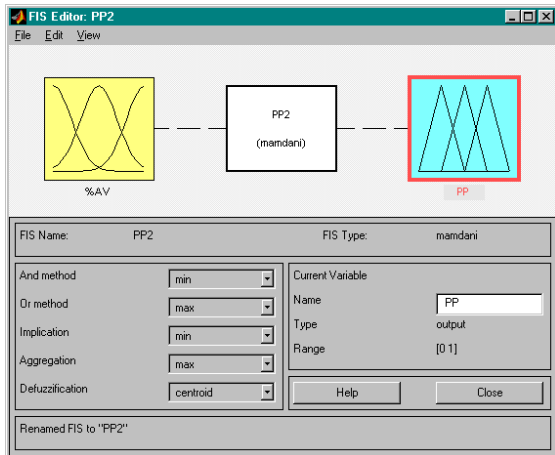


**Figura b.1.2.4.** Desfuzificação: PF = “7.52”

*b.1.2.1. Algoritmo da Permeabilidade da Parede (PP)*

A Permeabilidade da Parede (PP) é dada em função da percentagem de área de vãos de ventilação em relação a área de superfície de parede fechada, sem elementos vazados.

Este subsistema apresenta uma única entrada e uma única saída. Observa-se que



**Figura b.1.2.1.1.** Sistema de inferência “fuzzy” elaborado para a Permeabilidade da Parede.

a Permeabilidade das Paredes (PP) assume os mesmos valores lingüísticos acima mencionados (Muito Grande (MG), Grande (G), Moderada (MO), Pequena (P) e Muito Pequena (MP)).

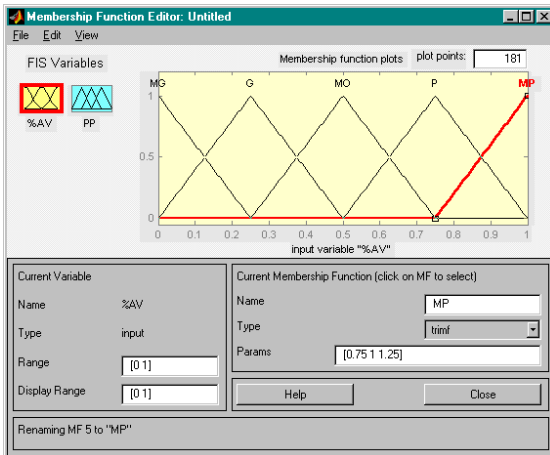
A Percentagem de Área de Ventilação (% AV), assume os mesmos valores lingüísticos. Neste caso, conforme verifica-se a seguir, a tabela de decisão é muito simples (Tabela de decisão 9).

**TABELA DE DECISÃO 9 – Permeabilidade da Parede.**

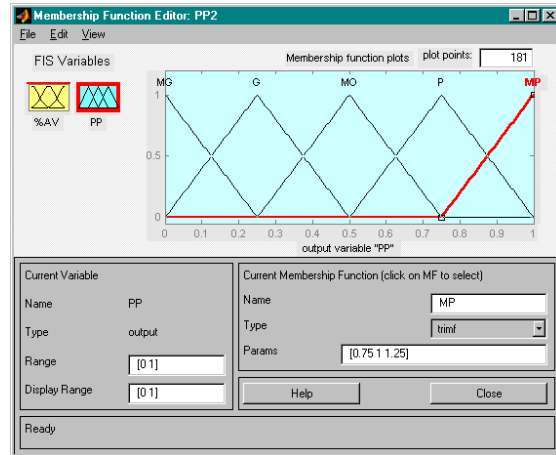
% AV	PP
MG	MG
G	G
MO	MO
P	P
MP	MP

**REGRA:** Se % de Área de Ventilação (% AV) é..., então Permeabilidade da Parede (PP) é...

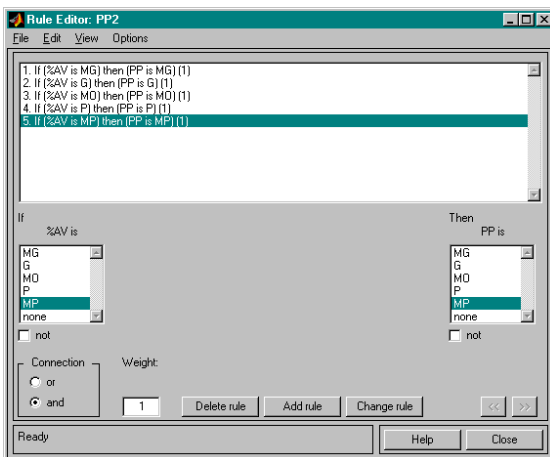
O universo do discurso considerado tanto para percentagem de área de vãos de ventilação, como para a permeabilidade da parede corresponde ao intervalo [0,1]. Assumindo-se um valor igual a 0,5 para a percentagem de área de vãos de ventilação, a permeabilidade da parede será 0,5, conforme apresentado na Figura b.1.2.1.5.



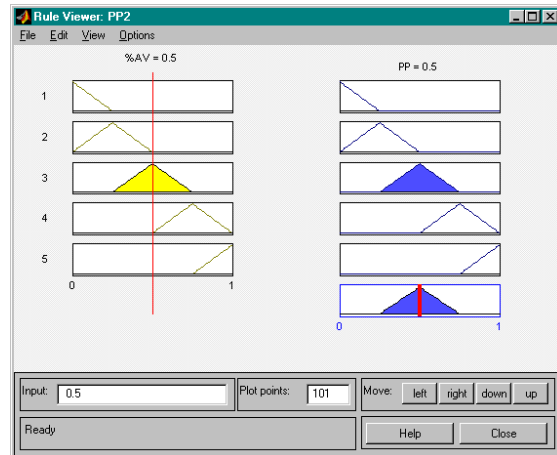
**Figura b.1.2.1.2.** Função de pertinência elaborada para a percentagem de área de vãos de ventilação.



**Figura b.1.2.1.3.** Função de pertinência elaborada para a Permeabilidade das Paredes.



**Figura b.1.2.1.4.** Regras de inferência.



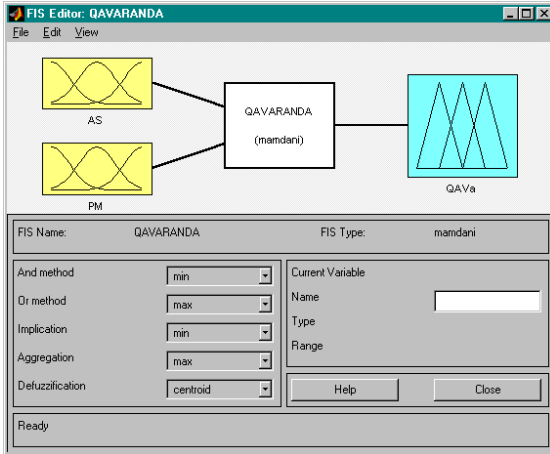
**Figura b.1.2.1.5.** Desfuzificação resultando a permeabilidade da parede.

Verifica-se a partir do fluxograma 5.3 que a Permeabilidade da Parede (PP), serve como variável de entrada para o subsistema Permeabilidade da Fachada (PF), juntamente com o subsistema Qualidade Acústica da Varanda (QAVa), o qual é apresentado a seguir.



### b.1.2.2. Algoritmo da Qualidade Acústica da Varanda (QAVa)

Dado um número entre 0 e 1 que representa a absorção sonora dos materiais de



**Figura b.1.2.2.1.** Sistema de Inferência “Fuzzy” elaborado para a Qualidade Acústica da Varanda.

revestimento de uma varanda, como seria a qualidade acústica dessa varanda, ou seja, como essa varanda contribuiria para atenuar o ruído que é transmitido para o interior da edificação?

Inicialmente, verifica-se a absorção sonora das superfícies de portas, paredes, tetos e piso e calcula-se a absorção sonora média<sup>47</sup>. No presente trabalho esse valor foi estimado, mas

poderia ter sido calculado conforme descrevem SILVA (1971), MEISSER (1974), MENDEZ (1994).

Todavia, a mureta também poderá proporcionar uma maior ou menor atenuação do ruído transmitido para o interior da edificação, em função da porcentagem de elementos vazados que a constituem. (CETUR, 1981)

**TABELA DE DECISÃO 10. Qualidade Acústica da Varanda (QAVa).**

PM \ AS	MF	F	MO	B	MB
TV	MF	MF	MF	MF	MF
MV	MF	F	F	F	F
MOV	MF	F	MO	MO	MO
MF	MF	F	MO	B	B
TF	MF	F	MO	B	MB

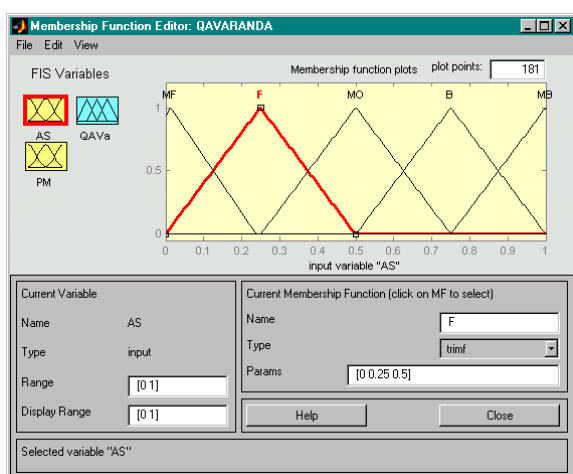
REGRA : Se Permeabilidade da Mureta (PM) é... e a Absorção Sonora das Superfícies (AS) é... , então Permeabilidade da Mureta (PM) é...

Assim sendo, para que se escrevam as regras de inferência para a qualidade acústica da varanda (Tabela de decisão 10), é necessário atribuir valores lingüísticos às variáveis de entrada permeabilidade das muretas das edificações avaliadas e a absorção sonora média das superfícies .

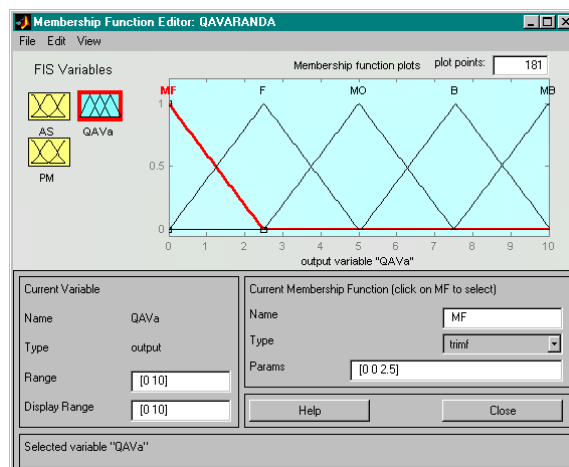
<sup>47</sup> No presente trabalho esse valor foi estimado, mas poderia ter sido calculado conforme descreve uma vasta bibliografia na área de acústica arquitetônica. Em português, uma revisão sobre o assunto pode ser obtida em SILVA (1971)

À Qualidade Acústica da Varanda e à Absorção Sonora média das superfícies (AS) foram associados os valores linguísticos: Muito Fraca (MF), Fraca (F) MOderada (MO), Boa (B), Muito Boa (MB). Para a absorção sonora média das superfícies (AS), adotou-se o intervalo  $[0,1]$  como universo do discurso e para a Qualidade Acústica da Varanda (QAVa) empregou-se o intervalo  $[0,10]$ .

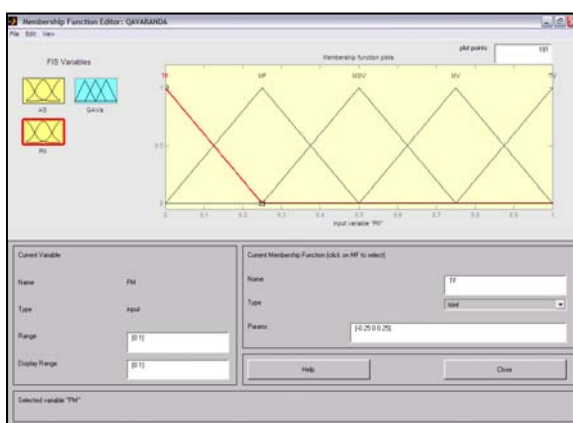
Para representar a permeabilidade das muretas (PM) foram considerados os seguintes valores linguísticos: Totalmente Vazada (TV), Muito Vazada (MV), MOderadamente Vazada (MOV), Muito Fechada (MF) e Totalmente Fechada (TF), adotando-se um universo do discurso entre 0 e 1.



**Figura b.1.2.2.2** Funções de pertinência relativas à Absorção Sonora das superfícies das varandas.



**Figura b.1.2.2.3.** Funções de pertinência relativas à Qualidade Acústica das Varandas.



**Figura b.1.2.2.4.** Funções de pertinência relativas à Permeabilidade das Muretas.

As Figuras b.1.2.2.2., b.1.2.2.3 e b.1.2.2.4 apresentam as funções de pertinência criadas para as variáveis de entrada AS e PM e para a variável de saída QAVa. As regras de inferência elaboradas estão sintetizadas na Tabela de decisão 10, sendo introduzidas no editor de regras do *Matlab*, conforme apresentado na Figura b.1.2.2.5.

O resultado da desfuzificação é dado na Figura b.1.2.2.6. Observa-se que foi encontrado o valor 2,44 para a Qualidade Acústica da Varanda, após considerar-se os valores de entrada 0,25 para a Absorção Sonora (AS) e 0,8 para a Permeabilidade da Mureta (PM).

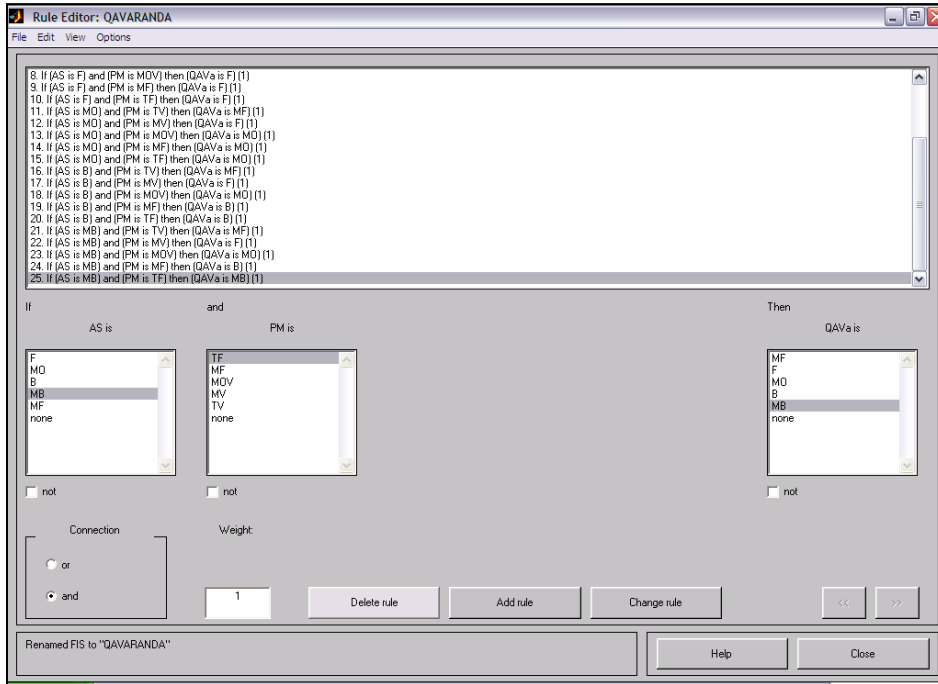


Figura b.1.2.2.5. Editor de Regras de Inferência.

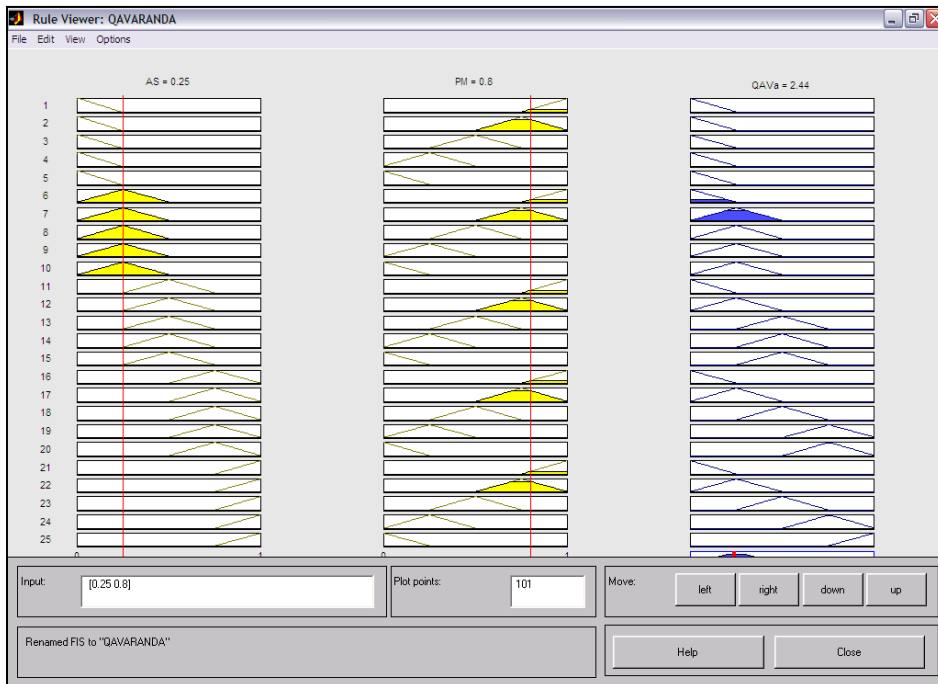


Figura b.1.2.2.6. Desfuzificação, considerando as variáveis de entrada Absorção Sonora (AS) e Permeabilidade da Mureta (PM) e a variável de saída Qualidade Acústica da Varanda (QAVa).

## b.2. Algoritmo da Qualidade Acústica da Cobertura (QAC)

A Qualidade Acústica da Cobertura (QAC) é uma função da Qualidade Acústica da Laje de Cobertura (QAL) (ou do Forro (QAF)) e das Telhas (QAT). Caso não haja forro, nem laje, a qualidade acústica da cobertura dependerá unicamente da telha.

No caso em questão, considera-se que a Qualidade Acústica da Cobertura irá depender basicamente do tipo de telha e de laje. Assim sendo, trata-se de um subsistema com duas entradas (QAL e QAT) e uma saída (QAC) (Figura b.2.1). A Tabela de decisão 11 sintetiza as regras de inferência definidas e introduzidas no editor de regras do *Matlab* (Figura b.2.3).

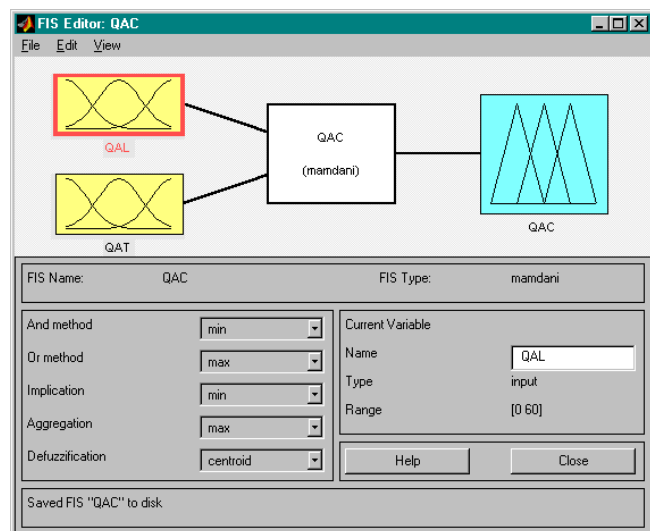
**TABELA DE DECISÃO 11 : Qualidade Acústica da Cobertura (QAC)**

QAT \ QAL	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

REGRA : Se “ Qualidade acústica da laje (QAL)” é ... E “ Qualidade Acústica da Telha (QAT)” é ..., então “Qualidade Acústica da Cobertura (QAC) é...”

A Qualidade Acústica das Telhas (QAT) e da Laje será caracterizada por um isolamento sonoro situado no intervalo [0,60], resultando uma Qualidade Acústica da Cobertura (QAC) respresentada por uma nota variando de 0 a 10.

As funções de pertinência elaboradas para cada variável são apresentadas na Figura b.2.2. A figura b.2.4 apresenta a desfuzificação quando se adota um valor correspondente a um isolamento de 30 dB(A) proporcionado pelas telhas e de 42 dB(A) fornecido pelas lajes do último piso. O resultado da



**Figura b.2.1.** Sistema de inferência “fuzzy”.

desfuzificação é o valor “crisp”5 da Qualidade Acústica da Cobertura (QAC=5).

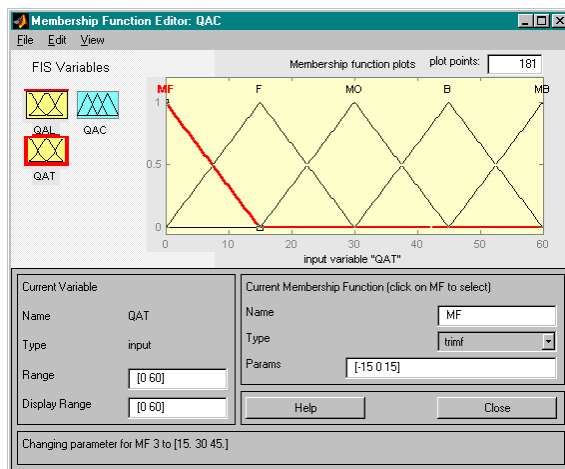
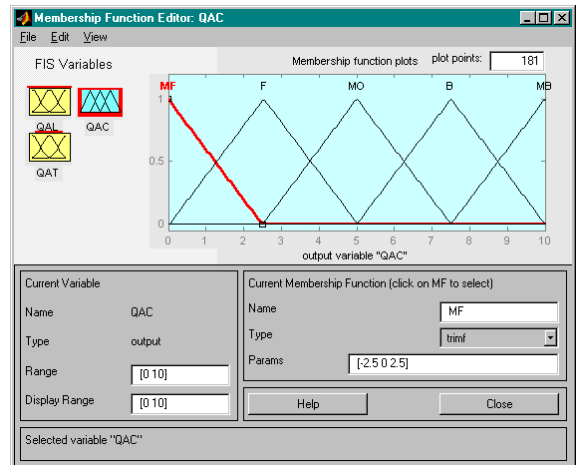
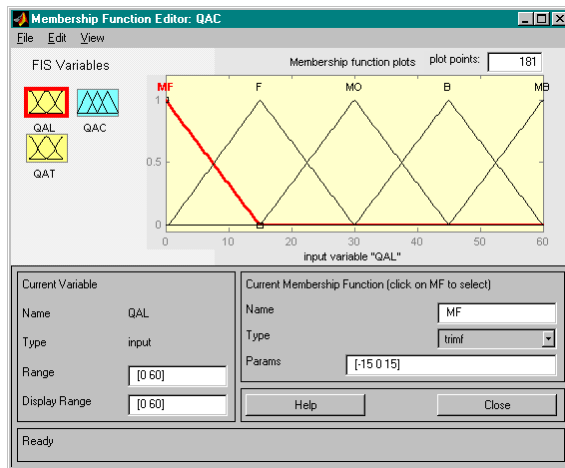


Figura b.2.2. Funções de pertinência elaboradas para a Qualidade Acústica da Laje (QAL), da Telha (QAT) e da Cobertura (QAC).

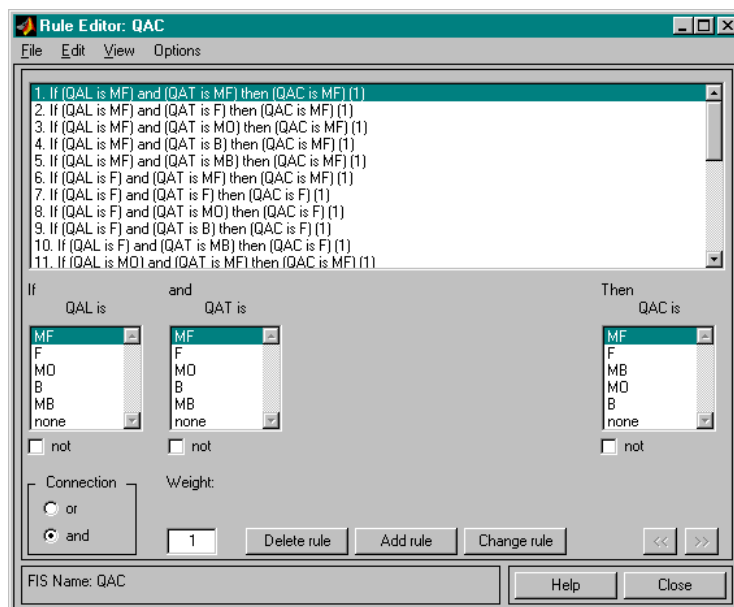


Figura b.2.3. Regras de inferência .

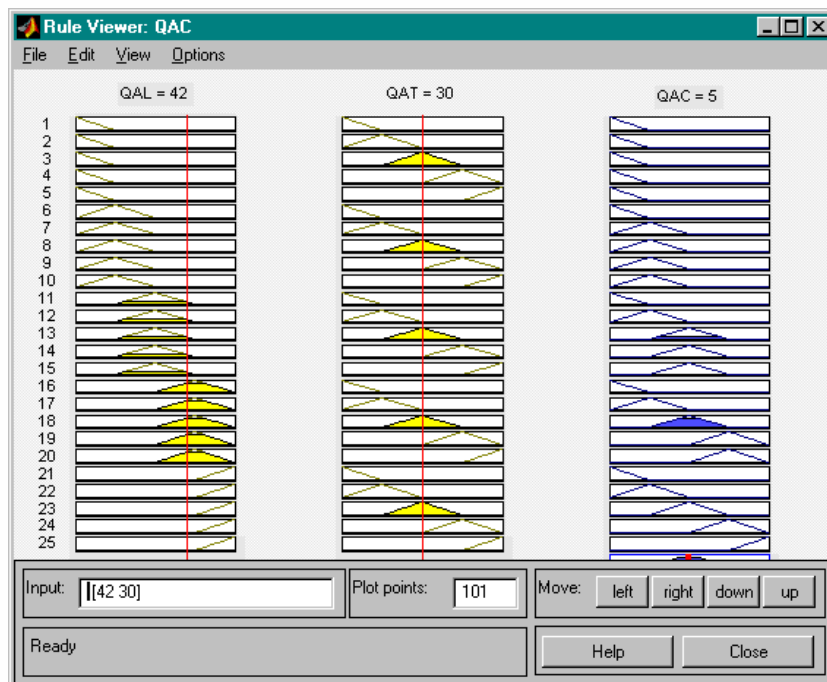
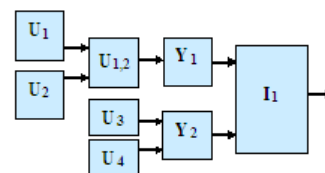


Figura b.2.4. Desfuzificação, resultando o valor “crisp” QAC=5.

## I.2) Algoritmo do Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo ao subsistema ambiente urbano $Y_2$

Este subsistema tem como entradas a atenuação proporcionada pelas barreiras acústicas ( $U_3$ ) e a Absorção sonora proporcionada em função da densidade de vegetação ( $U_4$ ). A Tabela de decisão 12 resume as regras de inferência elaboradas para representar a Adequação acústica do ambiente externo, relativa a Avaliação do sistema ambiente urbano ( $Y_2$ )



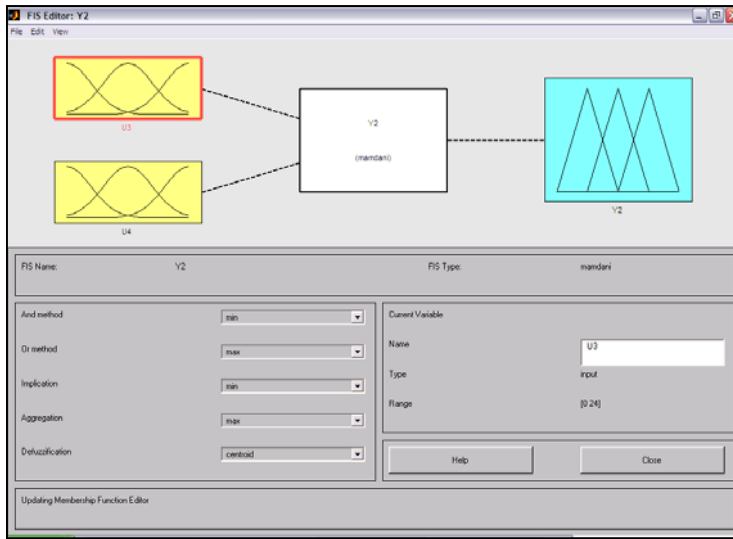
“Reprint”do fluxograma 2.

**TABELA DE DECISÃO 12 : Indicador de Adequação acústica do Ambiente Externo, relativo a Avaliação do sistema ambiente urbano ( $Y_2$ )**

U4 \ U3	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

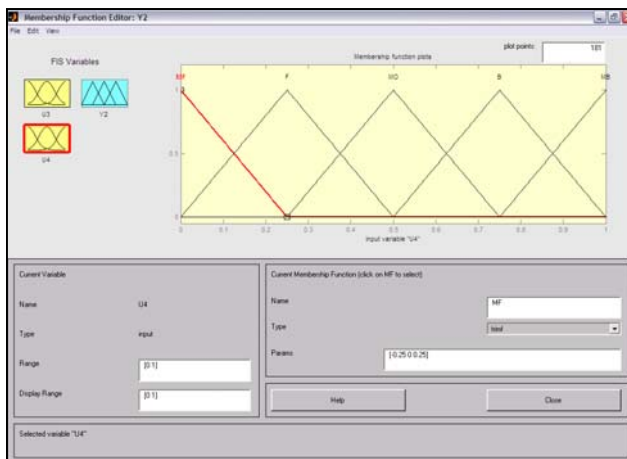
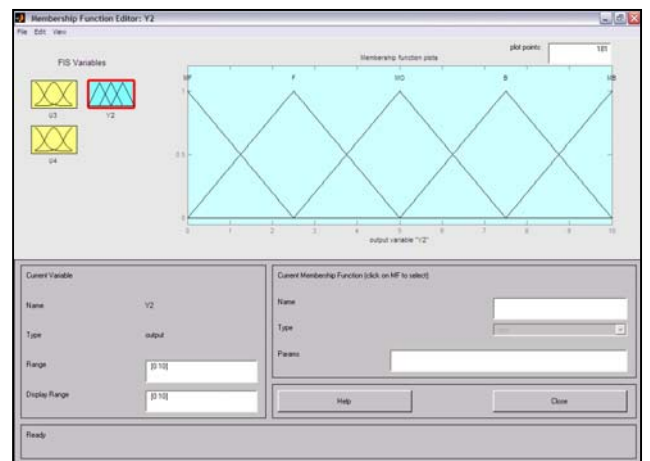
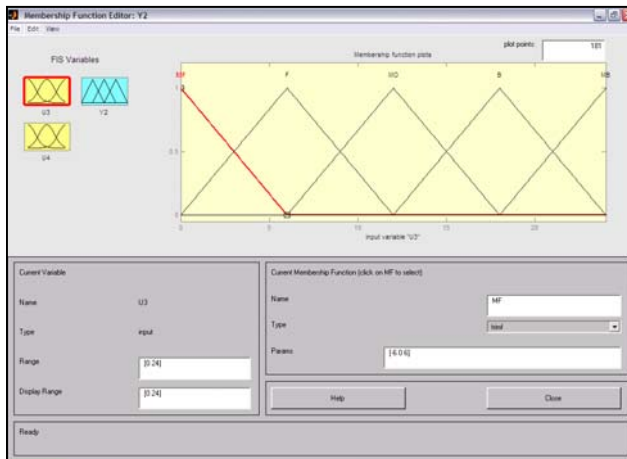
REGRA: Se “ $U_3$ ”(atenuação proporcionada pelas barreiras acústicas) é ... E “ $U_4$ ” (Absorção sonora proporcionada em função da densidade de vegetação) é ..., então  $Y_2$  (Indicador de Adequação acústica do Ambiente Externo, relativo a Avaliação do sistema ambiente urbano) é ...

A Figura I.2.1. apresenta o sistema *fuzzy* criado para representar  $Y_2$  e a Figura I.2.2. exhibe as funções de pertinência elaboradas para  $U_3$ ,  $U_4$  e  $Y_2$ .



**Figura I.2.1.** Sistema de inferência *fuzzy* desenvolvido para representar a adequação acústica do ambiente externo. A atenuação sonora máxima obtida através da utilização de barreiras acústicas é de 24 dB(A), conforme mencionado no Capítulo 2. O universo do discurso atribuído à  $U_4$  encontra-se no intervalo  $[0,1]$ , correspondendo à percentagem de área ocupada por

Às variáveis de entrada  $U_3$  e  $U_4$  e a variável de saída  $Y_2$  foram atribuídos os valores lingüísticos Muito Fraco, Fraco, Moderado, Bom e Muito Bom. O universo do discurso considerado para  $U_3$  corresponde ao intervalo situado entre 0 e 24 dB(A), já que a



**Figura I.2.2.** Funções de pertinência das variáveis de entrada e saída elaboradas a fim de obter a adequação acústica do ambiente externo ( $Y_2$ ).

vegetação e, portanto, não edificada. A variável de saída  $Y_2$  encontra-se no intervalo  $[0,10]$ , a partir do qual é obtida uma nota para adequação acústica do ambiente externo.

Após a edição das regras de inferência no *Matlab* (Figura I.2.3), o valor 10 dB(A) foi atribuído a  $U_3$  e o valor 0,6 a  $U_4$ , resultando um valor “crisp” 4,05 para  $Y_2$ .

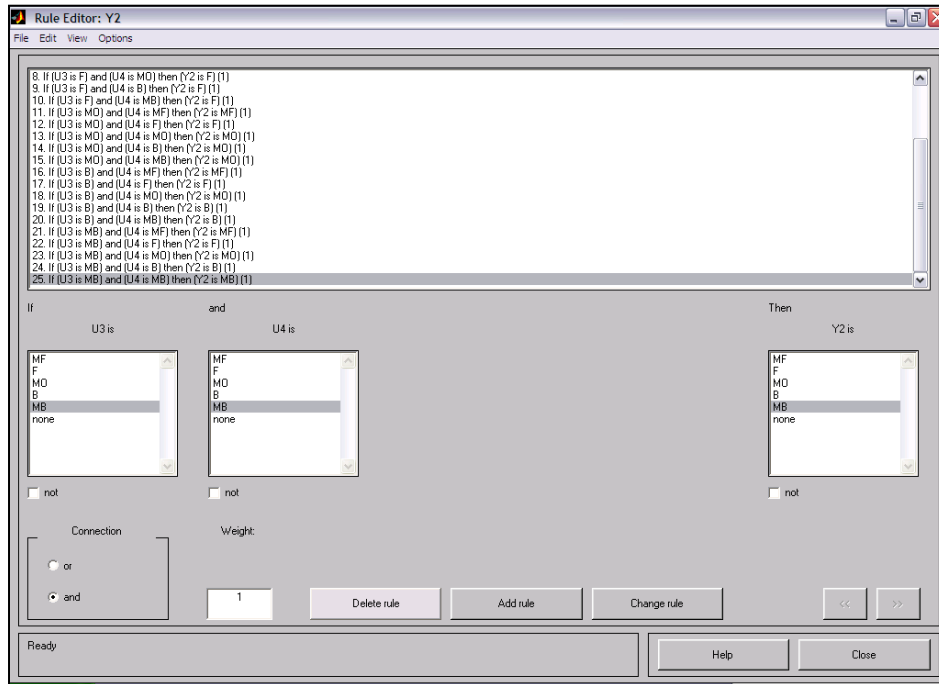


Figura I.2.3. Regras de inferência.

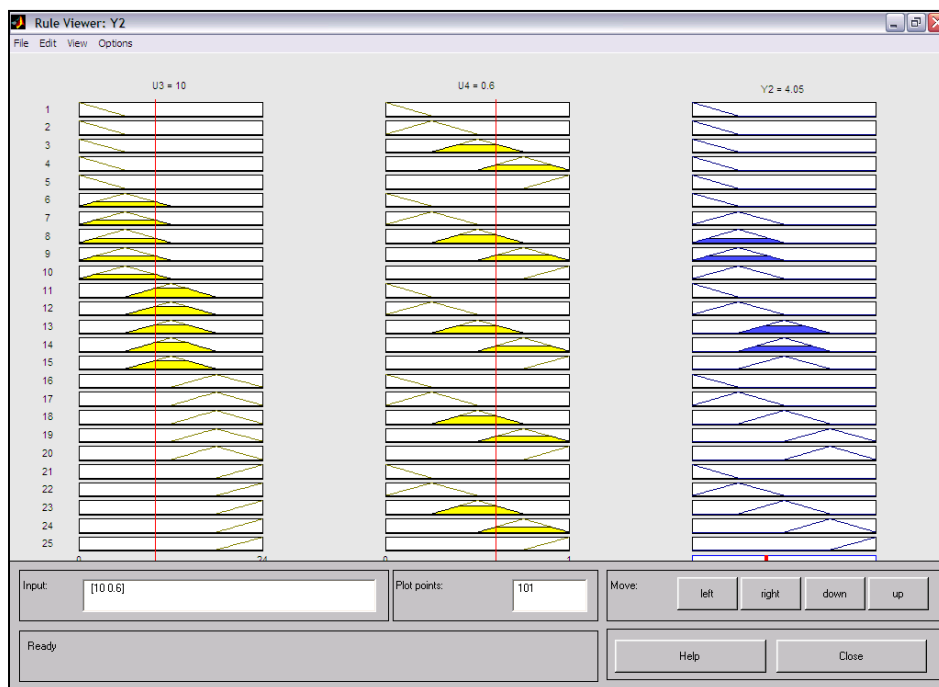


Figura I.2.4. Desfuzificação. Obtém-se o valor “crisp” 4,05 para  $Y_2$ .



***a) Algoritmo da adequação acústica do ambiente sonoro externo devido à presença de barreiras acústicas ( $U_3$ )***

O subsistema  $U_3$  é caracterizado pela capacidade de barreiras acústicas, naturais ou construídas pelo homem, protegerem as edificações vizinhas ao aeroporto dos ruídos produzidos no solo.

Considerando o disposto na Seção 5.1.3 deste capítulo, que aborda a avaliação do sistema ambiente urbano, constata-se que as barreiras acústicas existentes (o Parque Arruda Câmara e edifícios comerciais situados entre o aeroporto e as áreas residenciais) apresentam alturas superiores a 4 m. Desta forma, já que os edifícios residenciais apresentam poucos pavimentos (no máximo 6), estas barreiras podem resultar uma atenuação em torno de 10 dB(A), a qual foi adotada na seção anterior quando calculou-se  $Y_2$ .

***b) Algoritmo da Densidade de Vegetação (Absorção Sonora) ( $U_4$ )***

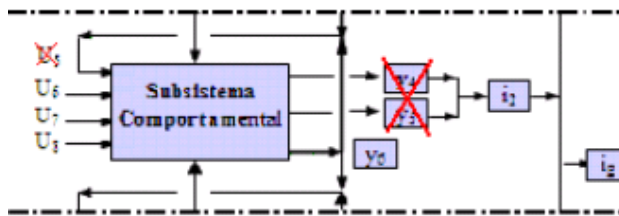
A vegetação existente nas áreas vizinhas às residências apresenta uma contribuição como absorvente sonoro. Estima-se, com base no abordado anteriormente, que a densidade de vegetação seja em torno de 60%, tendo em vista a presença do Parque Arruda Câmara e a arborização existente nos condomínios residenciais.

**5.2.1.2. Subsistema comportamental**

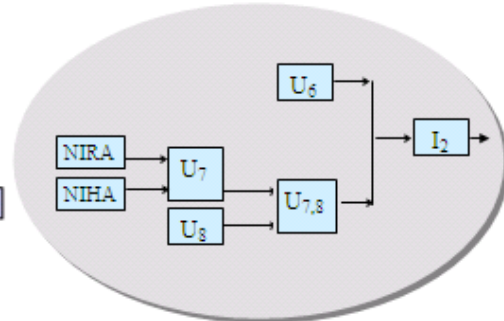
O subsistema comportamental recebeu como entradas as informações extraídas do questionário aplicado no condomínio residencial, relativas às Questões 1, 2 e 3, as quais fornecem informações sobre o nível de interferência do ruído aeronáutico e rodoviário no desempenho de atividades e sobre o nível de incômodo devido ao ruído aeronáutico.

Conforme mencionado anteriormente, houve uma série de informações que auxiliaram na determinação das áreas onde foram aplicados questionários e que fizeram parte da análise de dados mediante o emprego da Teoria de Sistemas Nebulosos. Assim sendo, estas informações foram consideradas a variável de entrada  $U_5$  (informações oriundas de outros subsistemas). Observa-se que essa variável inicialmente foi de grande importância para a avaliação do sistema comportamental, mas, neste momento, ela pode ser desconsiderada.

A Questão 4 foi tratada como a variável de saída  $Y_6$  (Informações oriundas de outros subsistemas) que, anteriormente, serviu de entrada ( $U_1$ ) para o Subsistema Ambiente Urbano.



Fluxograma 5.4.



Fluxograma 5.5.

Tendo em vista as dificuldades de acesso aos administradores de condomínios residenciais e aos moradores, foi necessário reduzir ao máximo o questionário aplicado. Assim sendo, as questões que abordavam separadamente os níveis de incômodo devido ao ruído externo e interno foram excluídas do questionário inicialmente elaborado. Portanto, neste caso, não foi possível definir separadamente os indicadores de adequação acústica do ambiente interno ( $Y_4$ ) e de adequação acústica do ambiente externo ( $Y_5$ ), relativos à avaliação do subsistema comportamental. Consequentemente, este subsistema deu origem diretamente ao “Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema comportamental” ( $I_2$ ).

Devido às já mencionadas dificuldades impostas quando se trabalha com mais de duas variáveis de entrada e muitos valores lingüísticos, pois muitas são as regras de inferência geradas, aqui também as variáveis foram agrupadas duas a duas. Assim sendo, as variáveis  $U_6$  (Nível de interferência do ruído rodoviário no desempenho de atividades),  $U_7$  (Nível de incômodo devido ao ruído aeronáutico) e  $U_8$  (Nível de interferência do ruído aeronáutico no desempenho de atividades) foram decompostas em outros subsistemas. Os algoritmos definidos para obter os valores relativos a estas três variáveis se encontram no Apêndice 3.

A seguir, serão descritos os procedimentos adotados a fim de obter  $I_2$ ,  $U_6$  e  $U_{7,8}$ .

## II. Algoritmo do Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema comportamental. (I<sub>2</sub>)

Este subsistema teve como entradas as variáveis Nível de interferência do ruído rodoviário no desempenho de atividades (U<sub>6</sub>) e Efeitos do ruídos aeronáutico (U<sub>7,8</sub>). Para obtê-la elaborou-se o sistema de inferência *fuzzy* apresentado na Figura II.1. As funções de pertinência das variáveis de entrada assumiram os valores lingüísticos Não (N), Muito Pouco (MP), Pouco (P), Moderado (MO), Muito (M) e Demais(D), sendo adotado um universo do discurso variando entre 0 e 10. A fim de possibilitar comparar I<sub>2</sub> com os indicadores I<sub>1</sub>, I<sub>3</sub> e I<sub>4</sub>, as suas funções de

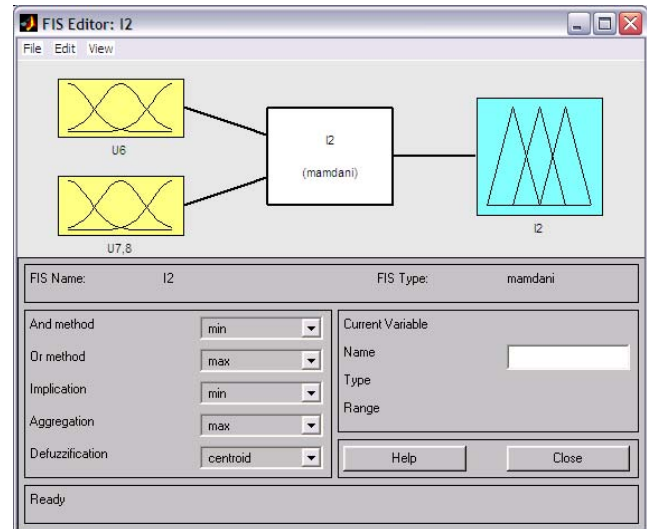


Figura II.1. Sistema de inferência criado para originar I<sub>2</sub>

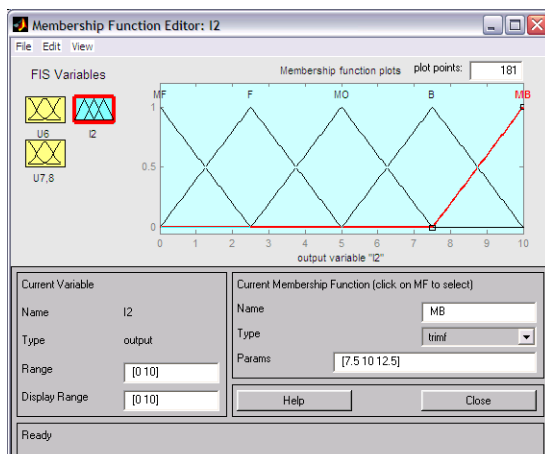
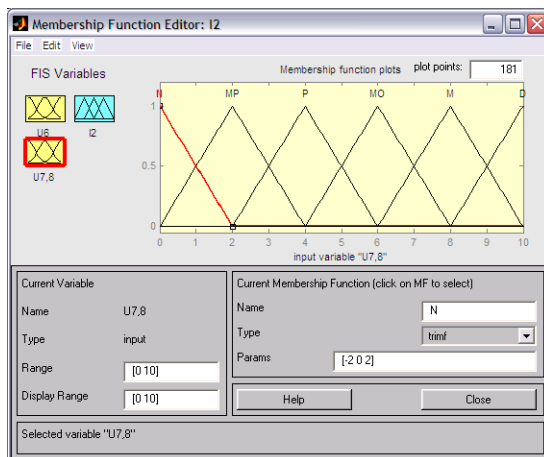
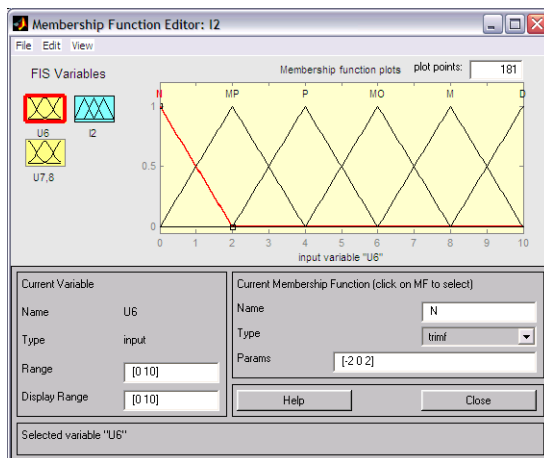


Figura II.2. Funções de pertinência de U<sub>6</sub>, U<sub>7,8</sub> e I<sub>2</sub>.

pertinência receberam os valores lingüísticos, Muito Fraco (MF), Fraco (F), Moderado (MO), Bom (B) e Muito Bom (MB), também adotando-se um universo do discurso entre 0 e 10 (Figura II.2.).

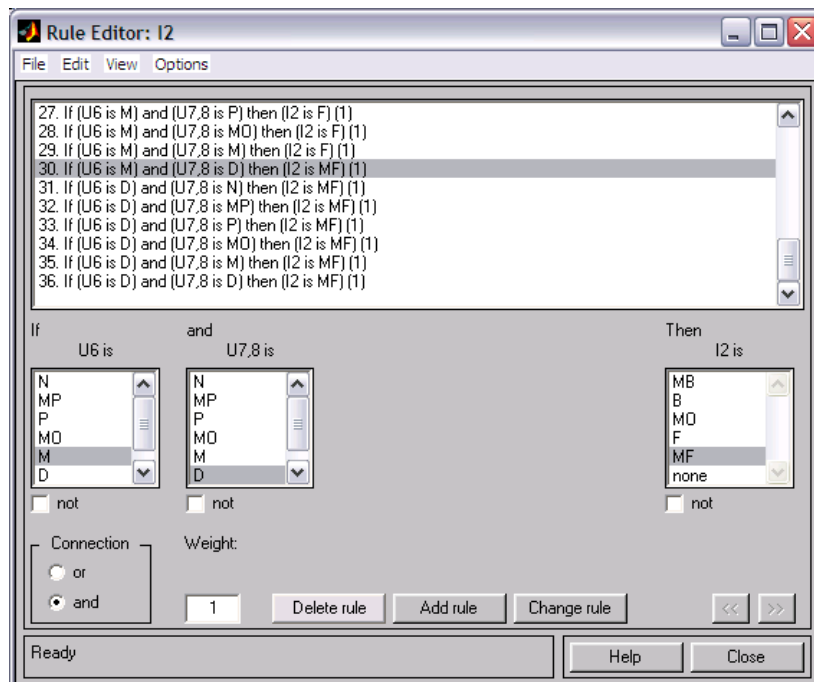
A Tabela de decisão 13 auxiliou na elaboração das regras de inferência editadas no *Matlab* (Figura II.3).

**TABELA DE DECISÃO 13: Indicador de Adequação Acústica do Ambiente, relativo a Avaliação do Sistema Comportamental ( $I_2$ )**

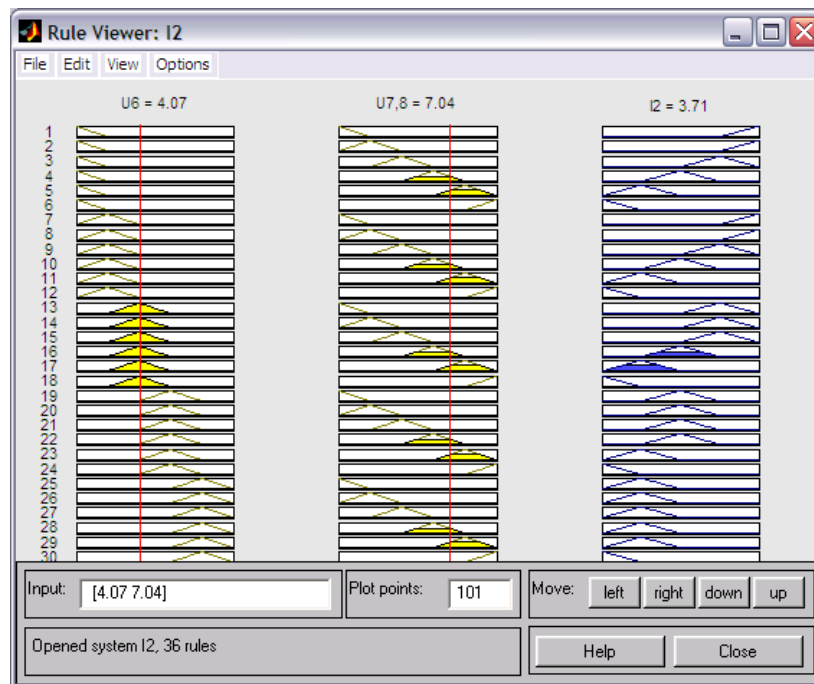
U6 \ U7,8	N	MP	P	MO	M	D
N	MB	MB	B	MO	F	MF
MP	MB	MB	B	MO	F	MF
P	B	B	B	MO	F	MF
MO	MO	MO	MO	MO	F	MF
M	F	F	F	F	F	MF
D	MF	MF	MF	MF	MF	MF

REGRA: Se “ $U_6$ ” (Nível de interferência do ruído de rodoviário no desempenho de atividades) é ... E “ $U_{7,8}$ ”(Efeitos do ruídos aeronáutico) é ..., então  $I_2$  (Indicador de Adequação Acústica do Ambiente, relativo a Avaliação do Sistema Comportamental) é ...

A desfuzificação originou um Nível de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema comportamental, dado pelo Indicador  $I_2 = 3,71$  (Figura II.4).



**Figura II.3.** Regras de inferência.



**Figura II.4.** Desfuzificação:  $U_6=4.07$  e  $U_{7,8}=7.04$ , resultam  $I_2=3,71$ .

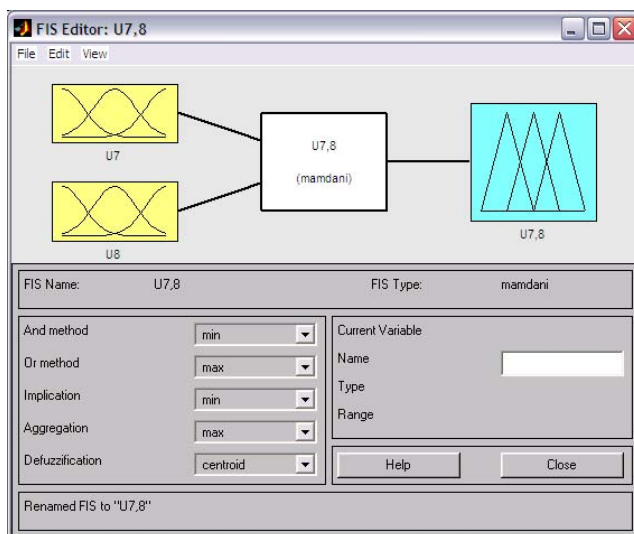
**II.1. Algoritmo do Nível de interferência do ruído rodoviário no desempenho de atividades ( $U_6$ ).**

Esta variável ( $U_6$ ) foi obtida através da criação de Sistemas de Inferência *Fuzzy* para cada item da Questão 1 do questionário. Conforme pode-se verificar no Apêndice 3, a partir da desfuzificação obteve-se o valor crisp 4,07.

**II.2. Algoritmo dos efeitos do ruído aeronáutico ( $U_{7,8}$ ).**

O nível de incômodo devido ao ruído aeronáutico ( $U_7$ ) e o nível de interferência do ruído aeronáutico no desempenho de atividades ( $U_8$ ) deram origem à variável “Efeitos do ruído aeronáutico”( $U_{7,8}$ ), a qual recebeu o valor “crisp” 7,04.

Observe que  $U_7$  teve como entrada o nível de incômodo devido ao ruído de helicópteros (NIRH) e de



**Figura II.2.1.** Sistema de inferência elaborado para avaliar os efeitos do ruído aeronáutico.

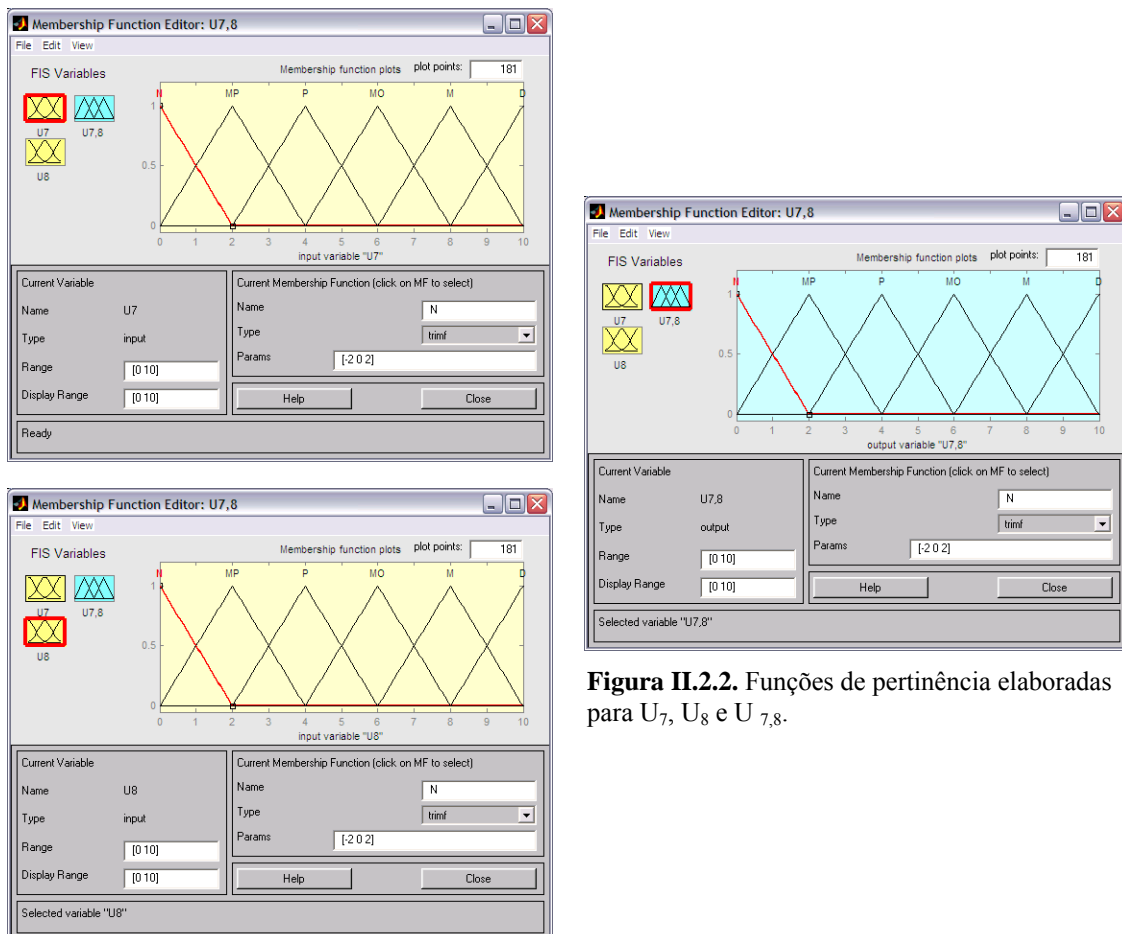
aviões (NIRA), cujos algoritmos são exibidos no Apêndice 3 e fornecem os valores 6,95 e 7,06, respectivamente para  $U_7$  e  $U_8$ . As variáveis de entrada e saída receberam os valores lingüísticos Não (N), Muito Pouco (MP), Pouco (P), Moderado (MO), Muito (M) e Demais (D), já que os mesmos foram opções de resposta apresentadas nos questionários. As funções de pertinência das variáveis de entrada e saída se encontram na Figura II.2.2.

A Tabela de decisão 14 sintetiza as regras de inferência propostas e editadas na Figura II.2.3. A desfuzificação pode ser visualizada na Figura II.2.4.

**TABELA DE DECISÃO 14 : Efeitos do Ruído aeronáutico ( $U_{7,8}$ )**

$U_7 \backslash U_8$	N	MP	P	MO	M	D
N	N	MP	P	MO	M	D
MP	MP	MP	P	MO	M	D
P	P	P	P	MO	M	D
MO	MO	MO	MO	MO	M	D
M	M	M	M	M	M	D
D	D	D	D	D	D	D

REGRA : Se “ $U_7$ ” (nível de incômodo devido ao ruído aeronáutico) é ... E “ $U_8$ ” nível de interferência do ruído aeronáutico no desempenho de atividades) é ..., então  $U_{7,8}$  (Efeito do ruído aeronáutico) é ...



**Figura II.2.2.** Funções de pertinência elaboradas para  $U_7$ ,  $U_8$  e  $U_{7,8}$ .

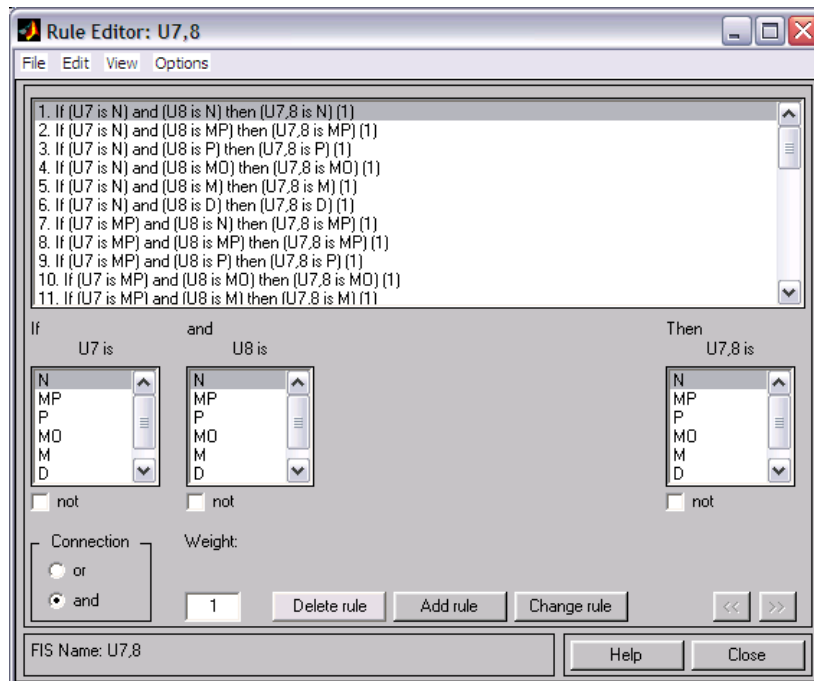


Figura II.2.3. Regras de Inferência

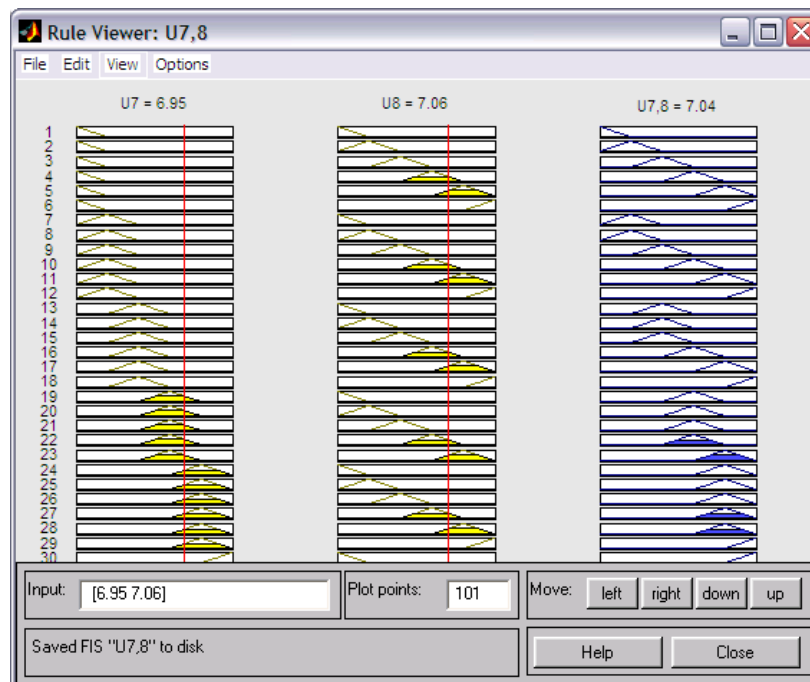
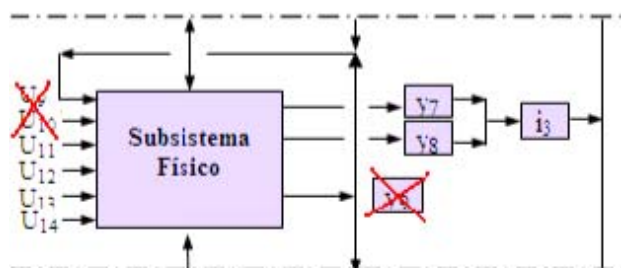
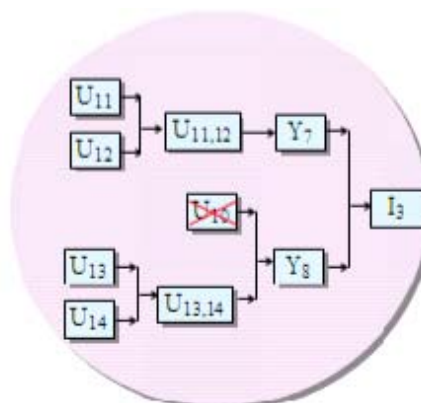


Figura II.2.4. Desfuzificação:  $U_7= 6.95$  e  $U_8=7.06$  resultam  $U_{7,8}= 7,04$ .

### 5.2.1.3. Subsistema físico



Fluxograma. 5.6



Fluxograma. 5.7

Seguindo os mesmos procedimentos adotados anteriormente, ao avaliar este subsistema, as variáveis foram agrupadas duas a duas. Visando simplificar o trabalho, neste momento, a variável  $U_9$  (informações oriundas dos outros subsistemas) foi desconsiderada. Observa-se, entretanto, que diversas informações originárias de outros subsistemas serviram de entrada para  $U_9$ , auxiliando inclusive na definição dos pontos de medição.

A variável  $U_{10}$  (Nível de adequação do campo sonoro), pelos motivos já expostos anteriormente, não será considerada neste trabalho. A variável de saída  $Y_9$ , consiste nas informações fornecidas para o subsistema comportamental que auxiliaram na definição das áreas receptoras críticas. Esta variável teve sua utilidade, mas, para evitar redundância não será adotada aqui.

As variáveis  $U_{11}$  (Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação à atividade desenvolvida) e  $U_{12}$  (Nível de adequação do ruído ambiente medido *in loco* em relação à atividade desenvolvida) serviram de entrada para a variável  $U_{11,12}$ , a qual consiste basicamente no Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do subsistema físico ( $U_{11,12} = Y_7$ ).

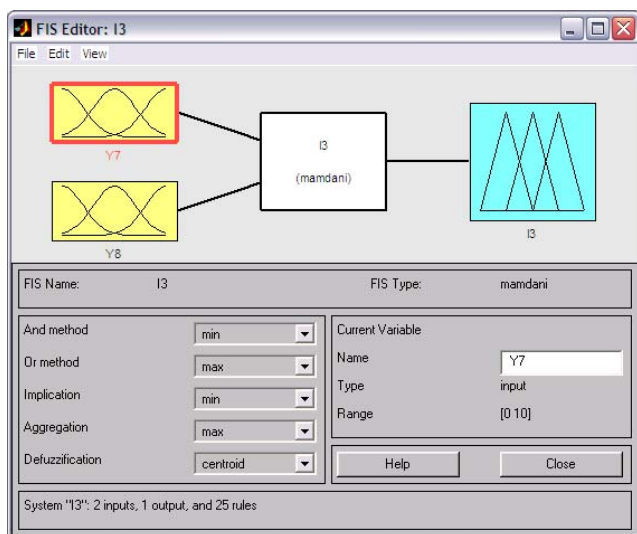
As variáveis  $U_{13}$  (Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente) e  $U_{14}$  (Nível de adequação acústica do vento dominante em relação aos receptores críticos) deram origem ao Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do subsistema físico ( $U_{13,14} = Y_8$ ). Por sua vez, os indicadores  $Y_7$  e  $Y_8$  deram origem ao Indicador de



adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema físico ( $I_3$ ). A seguir, são apresentados os procedimentos utilizados para se chegar a  $I_3$ .

### **III. Algoritmo do Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema físico. ( $I_3$ )**

Para obter  $I_3$ , inicialmente foi necessário chegar às variáveis  $Y_7$  e  $Y_8$ , conforme descrito nas seções III.1 e III.2. Assim sendo, as funções de pertinência adotadas para



**Figura III.1.** Sistema de inferência elaborado para o Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema físico ( $I_3$ ).

$Y_7$ ,  $Y_8$  e  $I_3$ , foram Muito Fraco (MF), Fraco (F), Moderado, Bom e Muito Bom (B) e o universo do discurso encontra-se no intervalo [0,10]. O sistema de inferência elaborado a fim de obter  $I_3$ , é dado na Figura III.1. A Tabela de decisão 14 sintetiza as regras de inferência. As funções de pertinência podem ser visualizadas na Figura III.2.

Entrando-se no visor de regras do

*Matlab* com os valores relativos a  $Y_7$  e  $Y_8$ , obteve-se para o Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema físico ( $I_3$ ) a nota 2,44.

**TABELA DE DECISÃO 15 : Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema físico ( $I_3$ ).**

Y7 \ Y8	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

REGRA: Se “ $Y_7$ ” (Nível de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do subsistema físico) é ... E “ $Y_8$ ” (Nível de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do subsistema físico) é ..., então “ $I_3$ ” (Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema físico) é ...

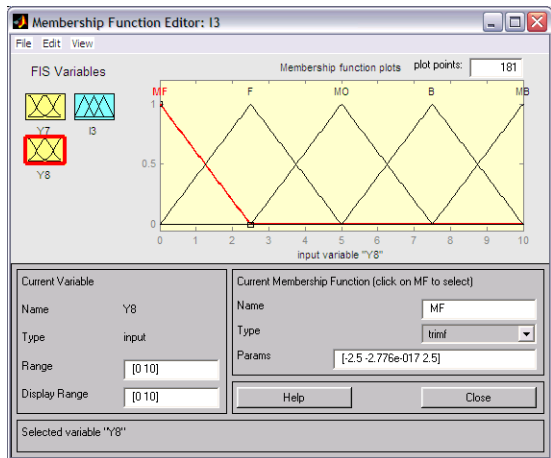
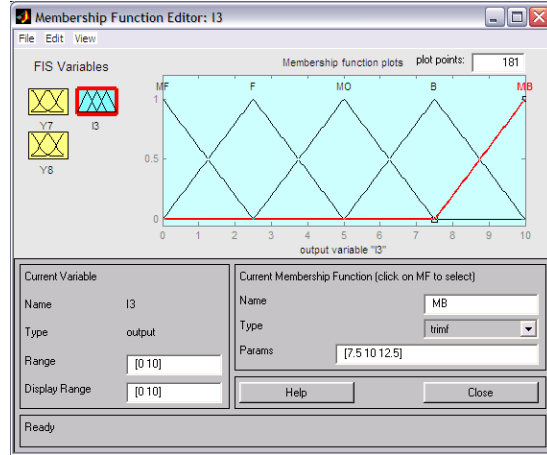
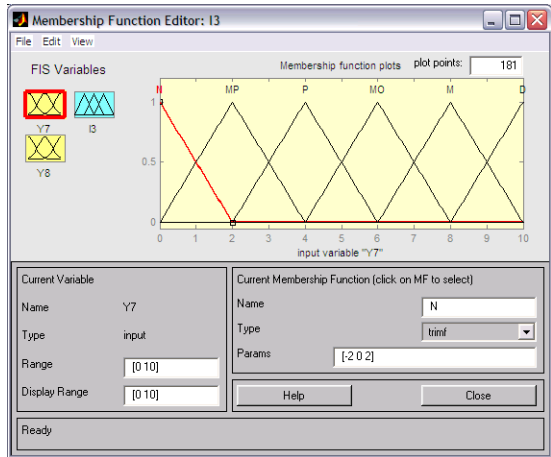


Figura III.2. Funções de pertinência referentes às variáveis de entrada e de saída.

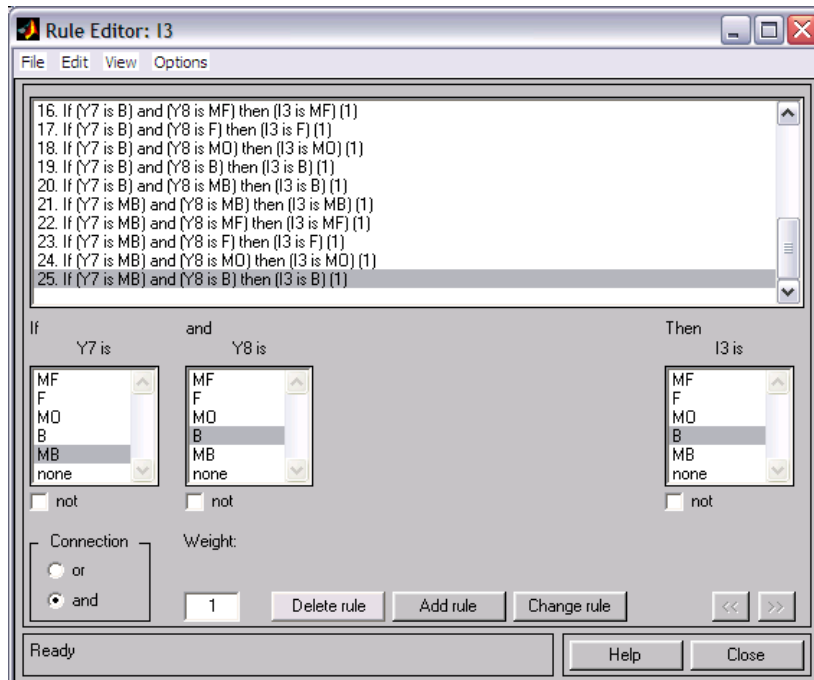
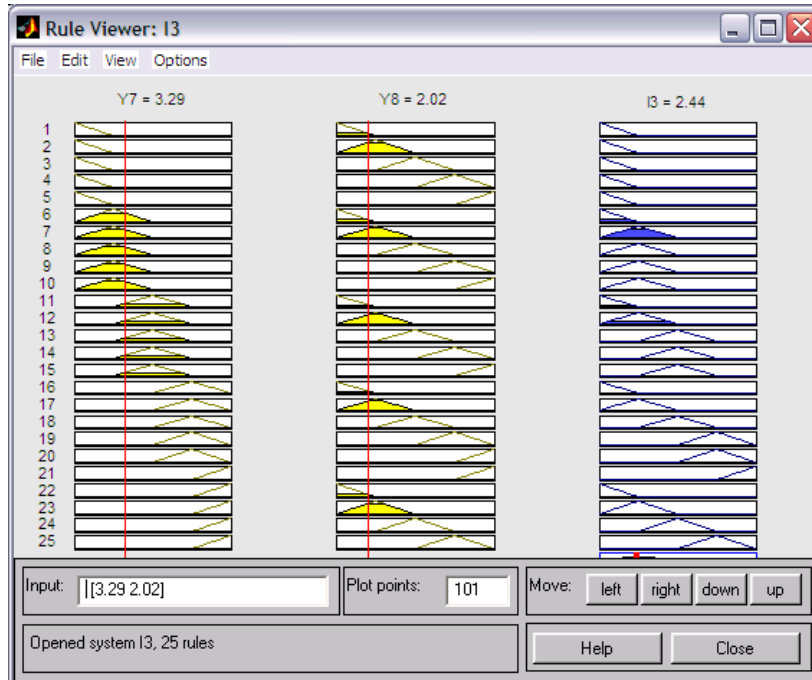
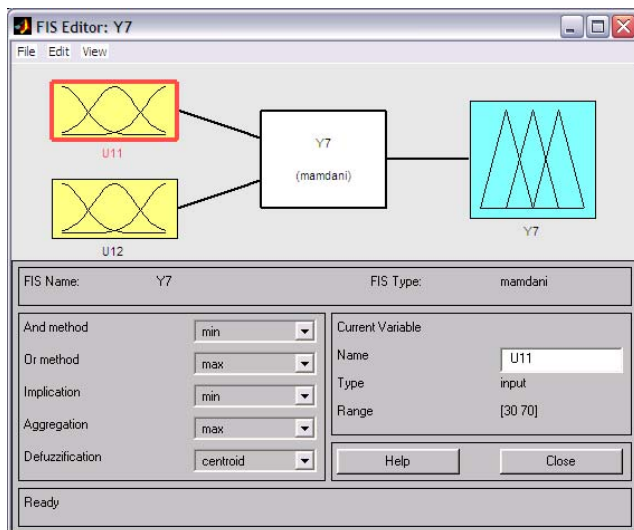


Figura III.3. Regras de inferência.



**Figura III.4.** Defuzificação originando o Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema físico ( $I_3$ ).

### III.1.1 Algoritmo do Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do subsistema físico ( $Y_7$ ).



**Figura III.1.1.** Sistema de inferência desenvolvido para o Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do subsistema físico ( $Y_7$ ).

Como se verifica na Figura III.1.1, este subsistema tem como variáveis de entrada  $U_{11}$  (Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação à atividade desenvolvida) e  $U_{12}$  (Nível de adequação do ruído ambiente medido *in loco*, em relação à atividade desenvolvida).

Para a variável  $U_{11}$ , a definição do universo do discurso e da unidade de avaliação teve como

critério a comparação do Nível Sonoro Equivalente ( $LA_{eq}$ ) medido no ponto 4, com os Níveis Críticos estabelecidos pela NBR 12314/1997 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Todavia, subtraíram-se 10 dB(A) do nível medido, a fim de

considerar a atenuação proporcionada pela janela aberta, já que não foram realizadas medições de ruído no interior das unidades habitacionais.

Para a variável  $U_{12}$ , assumiu-se como critério a comparação do Nível de Ruído Ambiente, medido *in loco*, também aplicando a correção de 10 dB(A) para a janela aberta, com o Nível Critério estabelecido pela NBR 12314/1997. Em ambos os casos, adotou-se o Nível Critério estabelecido para dormitório, em residências, já que este é o compartimento onde se desenvolvem atividades mais sensíveis ao ruído. A norma estabelece que nos dormitórios, o nível sonoro de conforto deve estar entre 35 e 45 dB(A), sendo o valor inferior mais favorável à manutenção da saúde pública. Dessa forma, adotou-se para universo do discurso das variáveis de entrada níveis sonoros entre 30 e 80 dB(A). A variável de saída é dada por um valor “crisp” entre 0 e 10.

As funções de pertinência desenvolvidas para as entradas  $U_{11}$  e  $U_{12}$  são apresentadas na Figura III.1.1. A Tabela de decisão 16 resume as regras de inferência desenvolvidas para aferir o Nível de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do sistema físico, dado pelo indicador  $Y_7$ . Na Figura III.1.3. pode ser vista a edição das regras no *Matlab*.

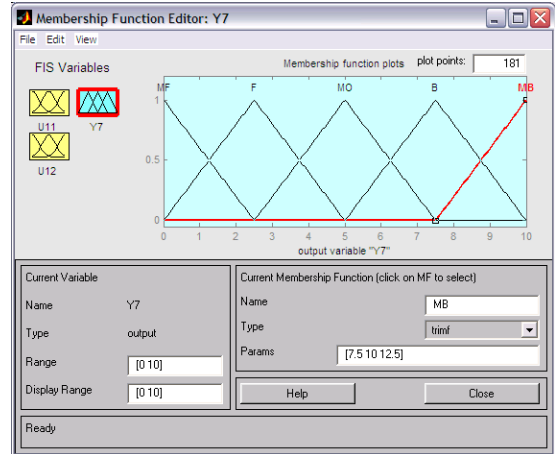
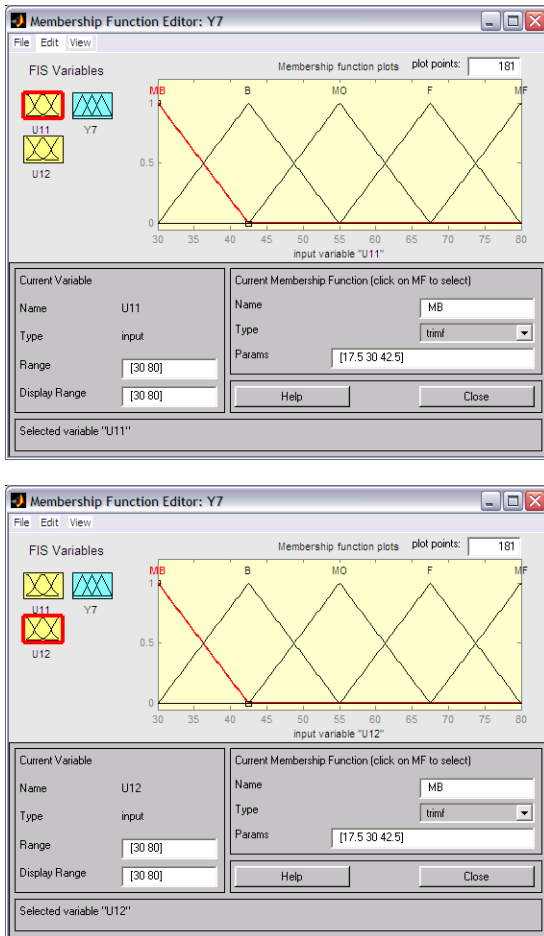
**TABELA DE DECISÃO 16: Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do sistema físico ( $Y_7$ ).**

U11 \ U12	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

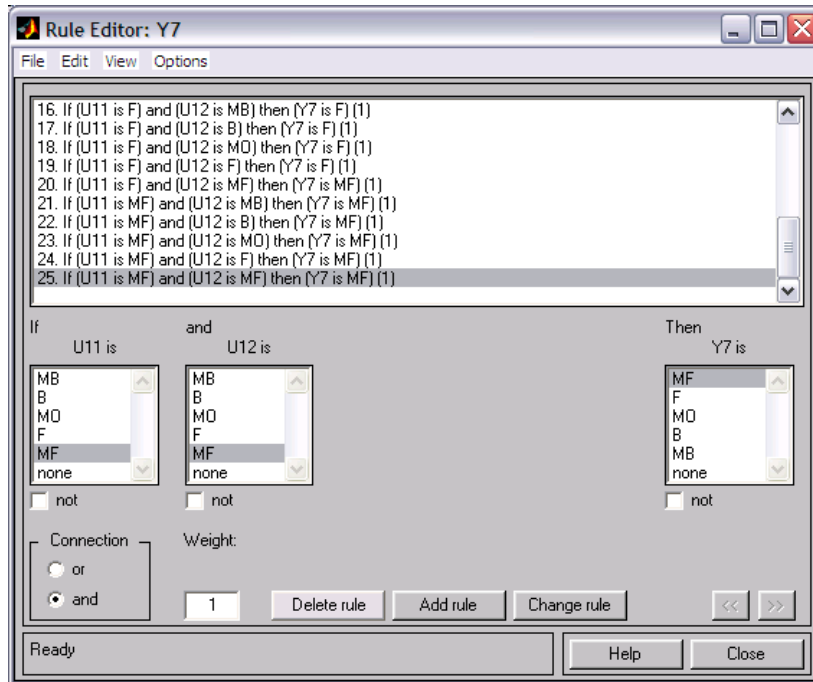
**REGRA:** Se “ $U_{11}$ ” ( Nível de Adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação à atividade desenvolvida) é ... E “ $U_{12}$ ” (Nível de adequação do ruído ambiente medido *in loco* em relação à atividade desenvolvida)” é ..., então “ $Y_7$ ” (Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do sistema físico)” é ...

Entrando-se no Visor de Regras (Figura III.1.4) com o  $L_{Aeq}$  e  $L_{RA}$  medidos *in loco* corrigidos em 10 dB(A), para a situação em que a janela está aberta, respectivamente,  $74 \text{ dB(A)} - 10 = 64 \text{ dB(A)}$ <sup>48</sup> e  $51,2 - 10 = 41,2 \text{ dB(A)}$ , obteve-se o valor 3,29 para o Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do sistema físico ( $Y_7$ ).

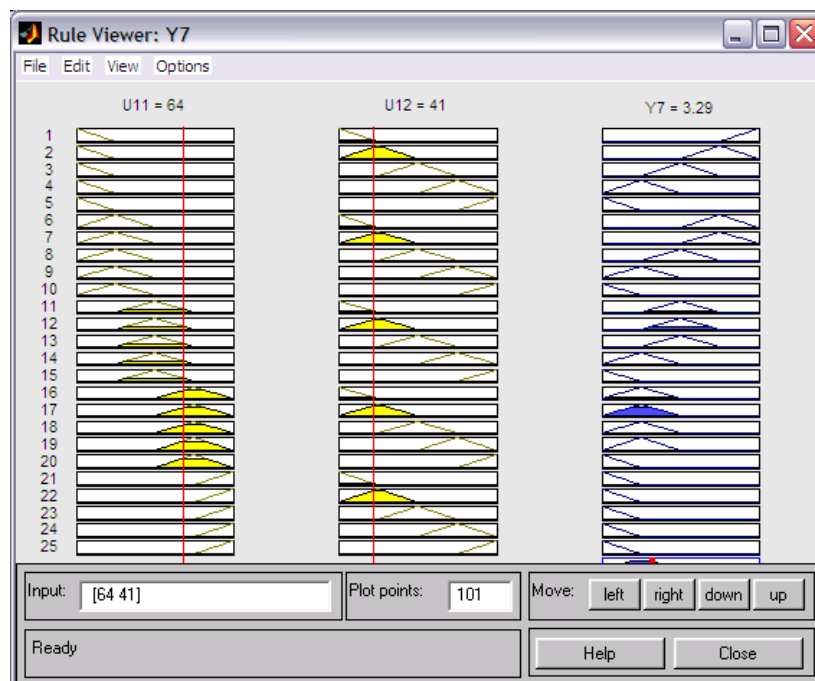
<sup>48</sup> Adotou-se o maior  $L_{Aeq}$  medido a fim de avaliar a situação mais desfavorável.



**Figura III.1.2.** Funções de pertinência das variáveis de entrada e de saída do sistema.



**Figura III.1.3.** Regras de inferência

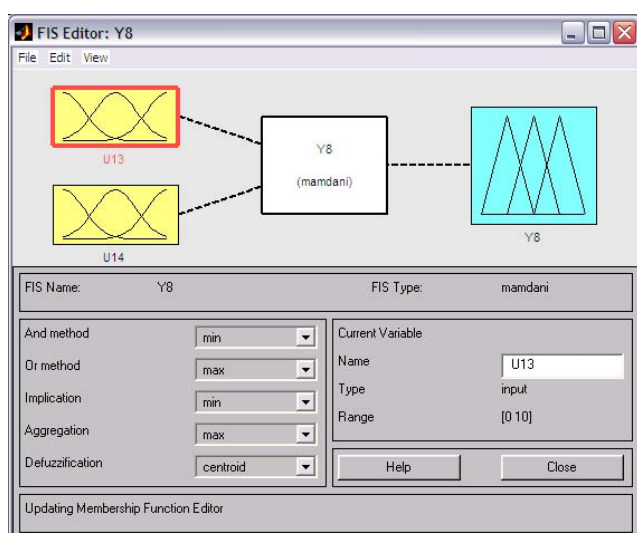


**Figura III.1.4.** Desfuzificação resultando o Nível de Adequação Acústica do Ambiente Interno ( $Y_7$ )

### ***III.2. Algoritmo do Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do subsistema físico ( $Y_8$ ).***

As variáveis de entrada desse subsistema são  $U_{13}$  (Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente) e

$U_{14}$  (Nível de adequação acústica do vento dominante em relação aos receptores críticos).



**Figura III.2.1.** Sistema de inferência “fuzzy” elaborado a fim de obter o Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do subsistema físico  $Y_8$ .

A definição do universo do discurso da variável de entrada  $U_{13}$  fundamentou-se nos critérios estabelecidos pela NBR 10151/1987 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), que dispõe sobre a Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas,

conforme será descrito na seção III.2.1. As funções de pertinência associadas a essa variável foram Muito Fraco (MF), Fraco (F), MOderado (MO), Bom (B) e Muito Bom (MB), as quais se encontram no intervalo [0,10].

A avaliação do Nível de adequação acústica do vento dominante em relação aos receptores críticos ( $U_{14}$ ), baseou-se na verificação em planta das condições em que o vento dominante, em função da sua direção, está mais ou menos favorável à propagação do ruído, em relação aos receptores críticos, sendo-lhe atribuída uma nota entre 0 e 10. Também adotou-se para as funções de pertinência os valores lingüísticos Muito Fraco (MF), Fraco (F), Moderado (MO), Bom (B) e Muito Bom (MB).

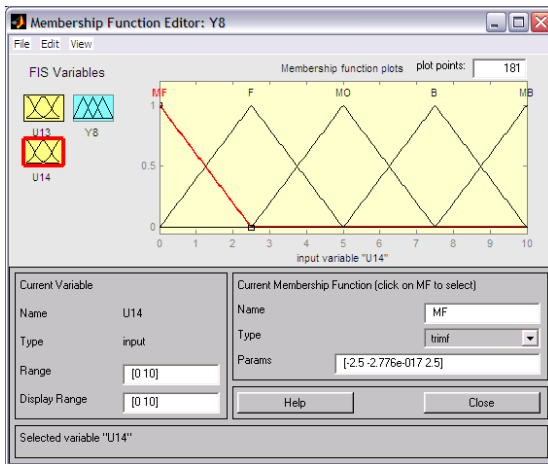
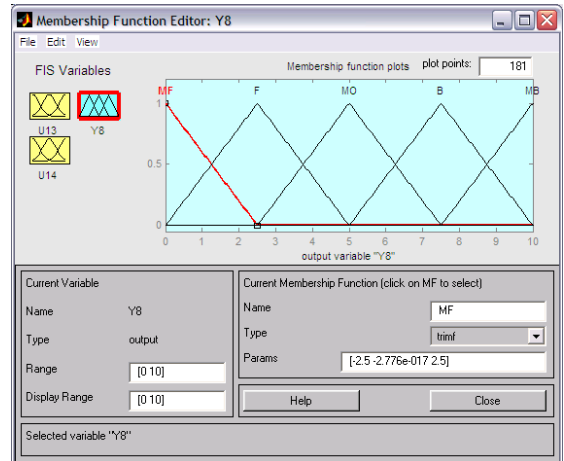
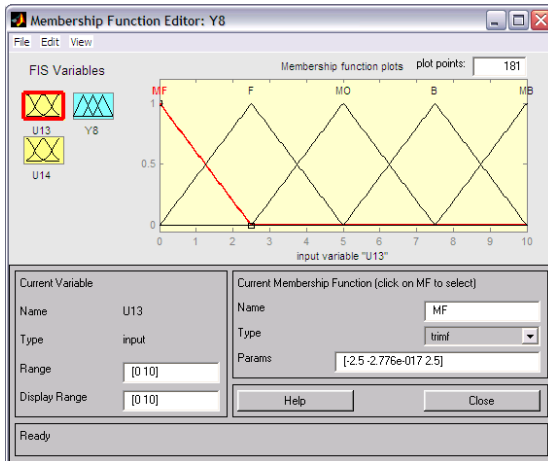
Em situações em que o vento dominante apresenta fortes velocidades, é importante elaborar um sistema que combine a direção do vento com a Escala de Beaufort<sup>49</sup>, a qual determina o tipo de vento (calmaria, brisa, vento moderado, vento forte, ventania, ventania forte e vento muito forte) e os seus efeitos em função da sua velocidade. Pelos motivos já expostos anteriormente, este procedimento não foi adotado aqui.

**TABELA DE DECISÃO 17: Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do sistema físico ( $Y_8$ ).**

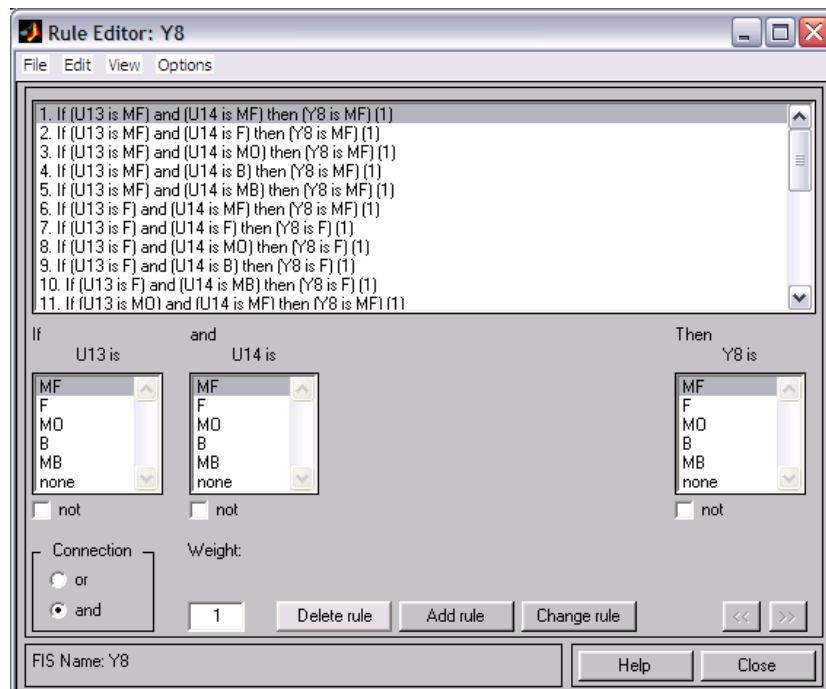
$U_{13} \backslash U_{14}$	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

**REGRA:** Se “ $U_{13}$ ” (Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente)” é ... E “ $U_{14}$ ” (Nível de adequação acústica do vento dominante em relação aos receptores críticos) é ..., então “ $Y_8$ ” (Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do sistema físico) é ...

<sup>49</sup> Para maiores detalhes sobre esta escala, veja ADAS (1980).

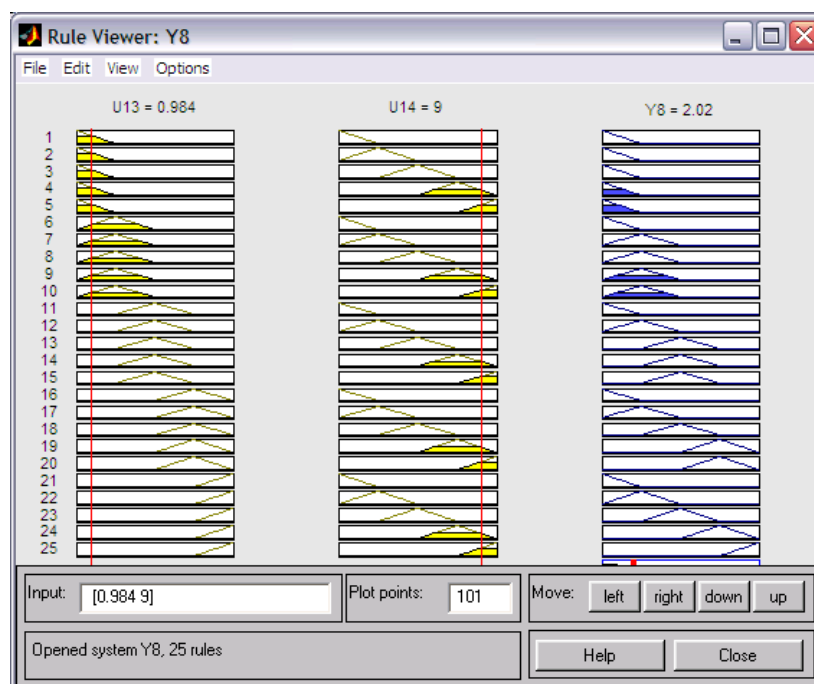


**Figura III.2.2.** Funções de pertinência das variáveis de entrada  $U_{13}$  (Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente) e  $U_{14}$  (Nível de adequação acústica do vento dominante, em relação aos receptores críticos) e da variável de saída  $Y_8$  (Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do sistema físico).



**Figura III.2.3.** Regras de inferência.





**Figura III.2.4.** Desfuzificação, resultando um Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do sistema físico ( $Y_8$ ) igual a 2.02 .

### ***III.2.1.1. Algoritmo do Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente ( $U_{13}$ )***

Conforme mencionado anteriormente, a definição da variável  $U_{13}$  fundamentou-se na norma NBR 10.151/1987 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Esta norma recomenda que a avaliação do ruído em caso de queixas comunitárias deve ser baseada no estabelecimento de um nível critério associado ao ruído de fundo local ou nível de ruído ambiente, considerando as reações esperadas da comunidade, caso o nível sonoro em dB(A) ultrapasse o Nível Critério de Ruído nos valores apresentados na tabela seguinte:

**Tabela 5.6.** Reação esperada das comunidades em função da elevação do nível de ruído em relação ao ruído de fundo, em dB(A)

Quantidade em dB(A) pela qual o nível sonoro de avaliação (L) excede o Nível Critério de Ruído	Reação Esperada da Comunidade	
	Categoria	Tipo
0	Muito Fraca	Reclamações eventuais
5	Fraca	Reclamações pouco frequentes
10	Média	Reclamações frequentes
15	Forte	Ameaças de ações coletivas
20	Muito Forte	Ações coletivas enérgicas

Embora essa norma tenha sido substituída pela NBR 10151/2000, que mudou os seus critérios de avaliação, considera-se que a tabela acima permanece válida.

Considerando que o  $LA_{eq}$  (Nível sonoro equivalente, ponderado na escala A) medido durante o sobrevôo de aeronaves é 74 dB(A) e que o  $L_{RA}$  (Nível de Ruído Ambiente) é 51,2 dB(A), constata-se que o ruído intrusivo excede o ruído ambiente em 22,8 dB(A).

Assim sendo, para obter  $U_{13}$ , foi criado um subsistema com uma entrada, a variável lingüística “Diferença entre o Ruído Intrusivo e  $L_{RA}$ ” (RI-NRA) e uma saída, o “Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente

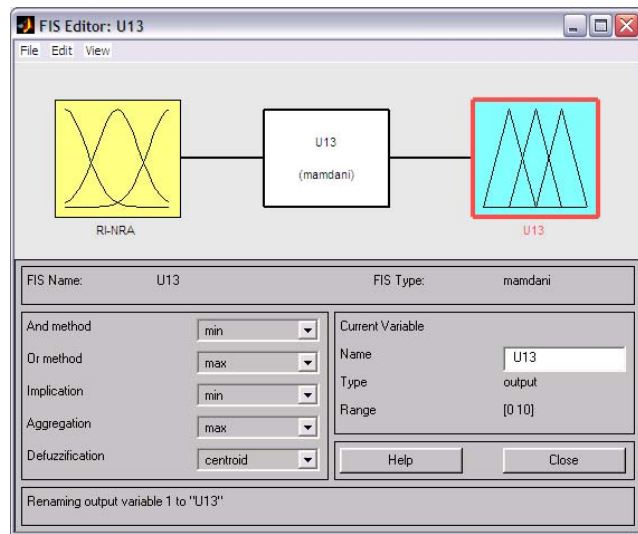


Figura III.2.1.1. Sistema “fuzzy” que resulta  $U_{13}$

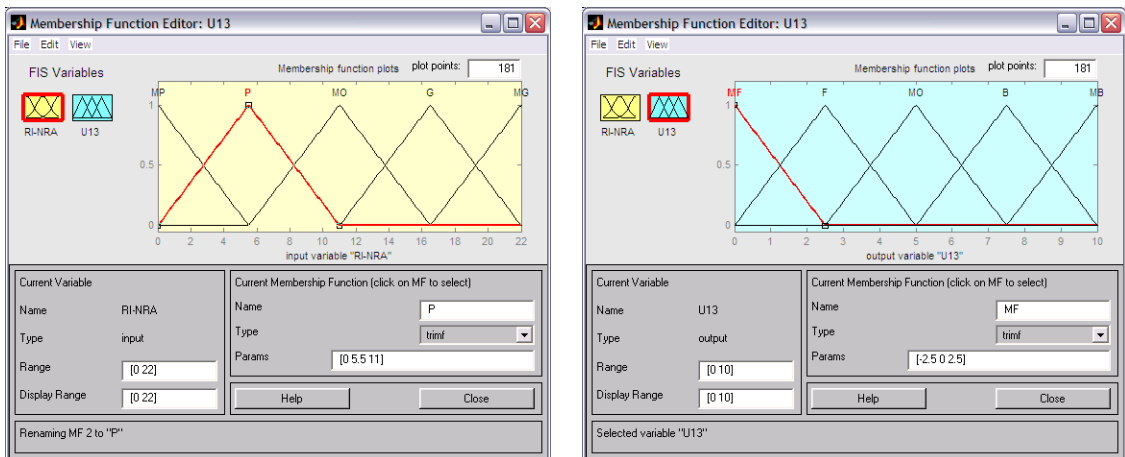
( $U_{13}$ ) (Figura III.2.1.1). As funções de pertinência da variável de entrada (RI-NRA) foram associadas aos valores lingüísticos Muito Pequena (MP), Pequena (P), Moderada (MO), Grande (G) e Muito Grande (MG), situados no intervalo [0,23]. Observa-se que este intervalo foi adotado de modo a abranger os níveis sonoros mencionados na Tabela 5.5 e possibilitar a inclusão do valor 22,8 dB (A), correspondente à diferença entre o ruído intrusivo e o ruído ambiente, no visor de regras do *Matlab*.

À variável de saída  $U_{13}$  foram associadas funções de pertinência que assumiram os valores lingüísticos Muito Fraco (MF), Fraco (F), Moderado (MO), Bom (B) e Muito Bom (MB) (Figura III.2.1.2). A Tabela de decisão 18 resume as regras de inferência desenvolvidas.

**TABELA DE DECISÃO 18. Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente ( $U_{13}$ )**

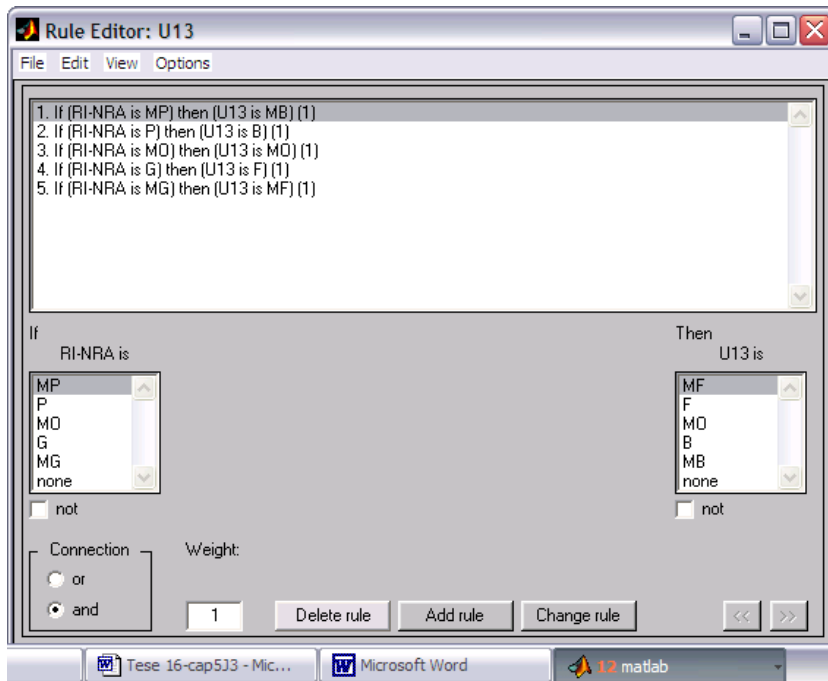
RI-NRA	$U_{13}$
MP	MB
P	B
MO	MO
G	F
MG	MF

**REGRA:** Se “RI-LRA” (Diferença entre o Ruído Intrusivo e  $L_{RA}$ ) é... ENTÃO “ $U_{13}$ ” (Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente) é...

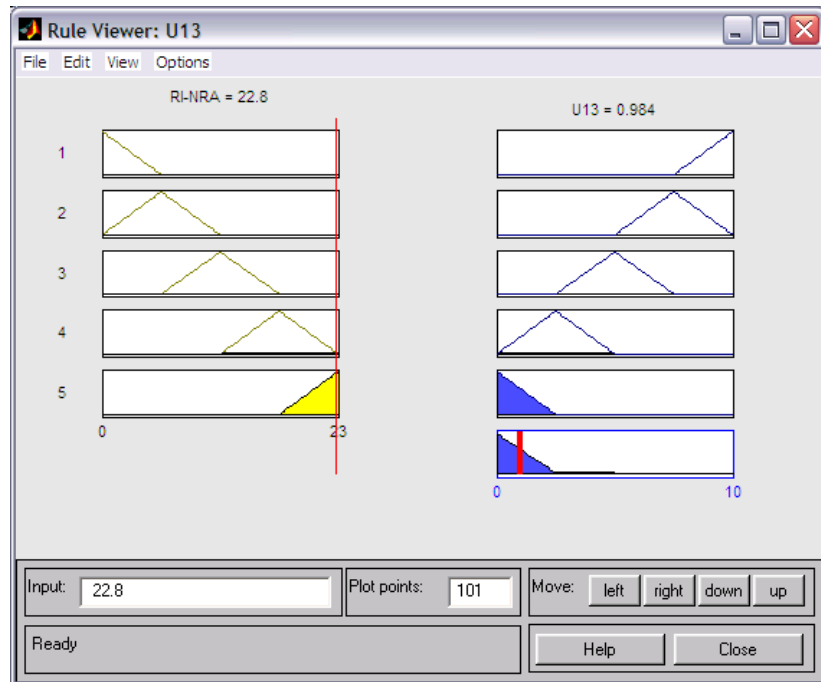


**Figura III.2.1.2.** Funções de pertinência referentes à variável de entrada e de saída.

O processo de desfuzificação resultou um Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente ( $U_{13}$ ) igual a 0,984 (Figura III.1.2.4).

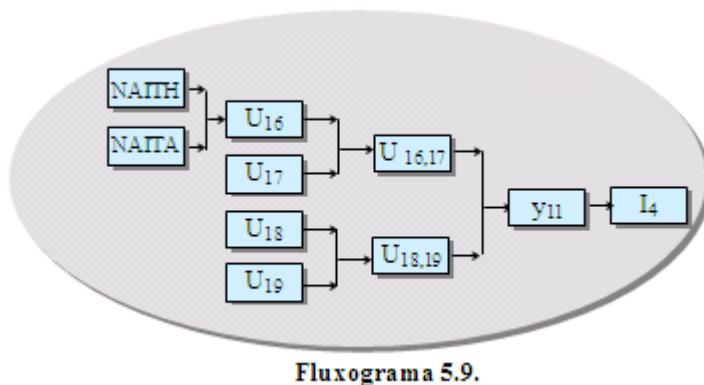
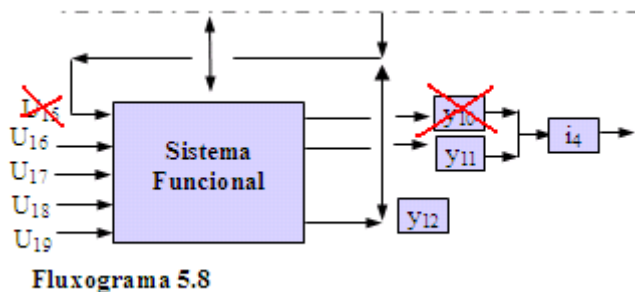


**Figura III.2.1.3.** Regras de inferência.



**Figura III.2.1.4.** Desfuzificação: a entrada “Diferença entre o Ruído Intrusivo e  $L_{RA}$ ”, resultou a saída “Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente ( $U_{13}$ ) = 0,984.

#### 5.2.1.4. Subsistema funcional



Conforme assinalado no Capítulo 4, visando obter o Indicador de adequação acústica do subsistema funcional ( $I_4$ ), criou-se uma série de subsistemas que atuaram como suas variáveis de entrada.

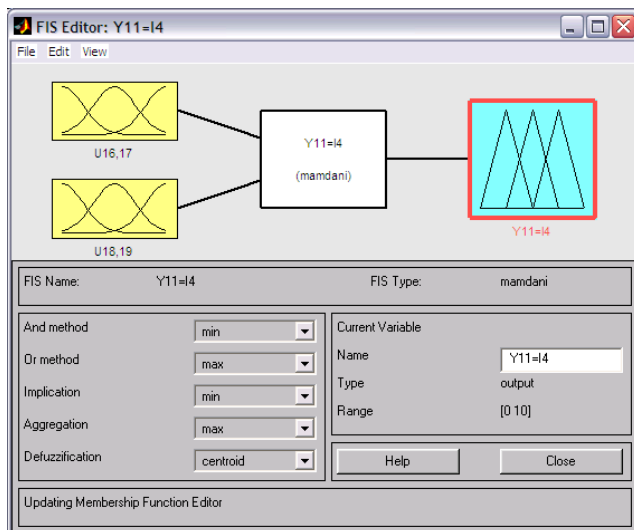
A variável de entrada  $U_{15}$  (denominada “informações provenientes de outros subsistemas”), a exemplo do procedimento adotado no subsistema  $I_3$ , foi

desconsiderada. As variáveis de entrada  $U_{16}$  (Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação à trajetória de aeronaves) e  $U_{17}$  (Nível de

adequação acústica da implantação da edificação em relação ao  $L_{DN}$  55 dB(A)) deram origem à variável  $U_{16,17}$  (Nível de adequação acústica da implantação da edificação). Por sua vez, as variáveis de entrada  $U_{18}$  (Nível de adequação do uso do solo em relação à Portaria 1141/GM5 (Plano Básico)) e  $U_{19}$  (Nível de adequação do uso do solo em relação à Legislação Federal em vigor (NBR 10151/2000)) deram origem à variável  $U_{18,19}$  (Nível de adequação do uso do solo em relação à Legislação).

A variável de saída  $Y_{10}$  (Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do subsistema funcional) foi eliminada, pois as variáveis de entrada abordam aspectos relacionados ao ambiente externo. Deste modo,  $U_{16,17}$  e  $U_{18,19}$  resultaram  $Y_{11}$  (Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do subsistema funcional), que consiste basicamente em  $I_4$  (Indicador de adequação acústica do subsistema funcional).

#### **IV. Algoritmo do Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema funcional ( $I_4$ )**



**Figura IV.1.** Sistema de inferência construído para obter o Indicador de adequação acústica relativo ao subsistema funcional.

Esta variável, na verdade, é o próprio Indicador de adequação do ambiente externo, relativo à avaliação do subsistema funcional ( $Y_{11}$ ), isto é  $Y_{11}=I_4$ . Observa-se que  $Y_{11}$  resultou de  $U_{16,17}$  e  $U_{18,19}$  (respectivamente, Nível de adequação acústica da implantação da edificação e Nível de adequação do uso do solo em relação à Legislação).

As variáveis de entrada e saída foram associadas aos valores lingüísticos Muito Fraco (MF), Fraco (F), Moderado (MO), Bom (B) e Muito Bom (MB), encontrando-se no universo do discurso [0,10] (Figura IV.2.). Observe que estes valores lingüísticos são os mesmos empregados para as variáveis de saída nas seções IV.1 e IV.2.

As variáveis de entrada e saída foram associadas aos valores

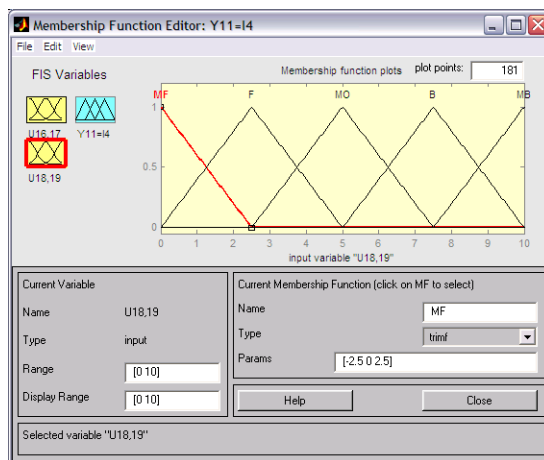
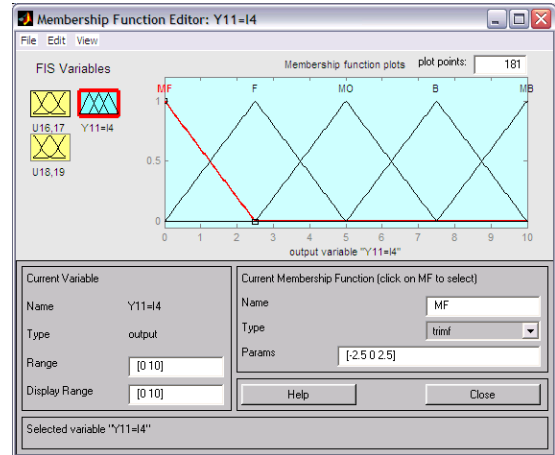
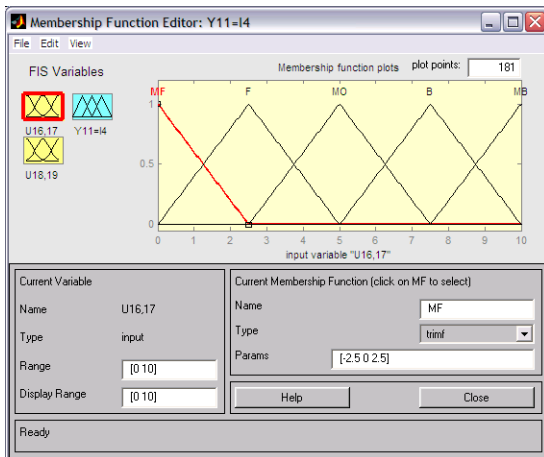


Figura IV.2. Funções de pertinência das variáveis de entrada e saída.

A Tabela de decisão 19 resume as regras de inferência esboçadas na Figura IV.2 que , a partir da desfuzificação, deram origem ao valor 2,42 relativo ao Nível de Adequação acústica do ambiente  $Y_{11}=I_4$ .

**TABELA DE DECISÃO 19: Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do sistema funcional ( $Y_{11}=I_4$ ).**

U18,19 \ U16,17	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

REGRA: Se “ $U_{16,17}$ ” (Nível de adequação acústica da implantação da edificação) é ... E “ $U_{18,19}$ ” (Nível de adequação do uso do solo em relação à Legislação)”é ..., ENTÃO “ $I_4$ ” (Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do sistema funcional)”é ...

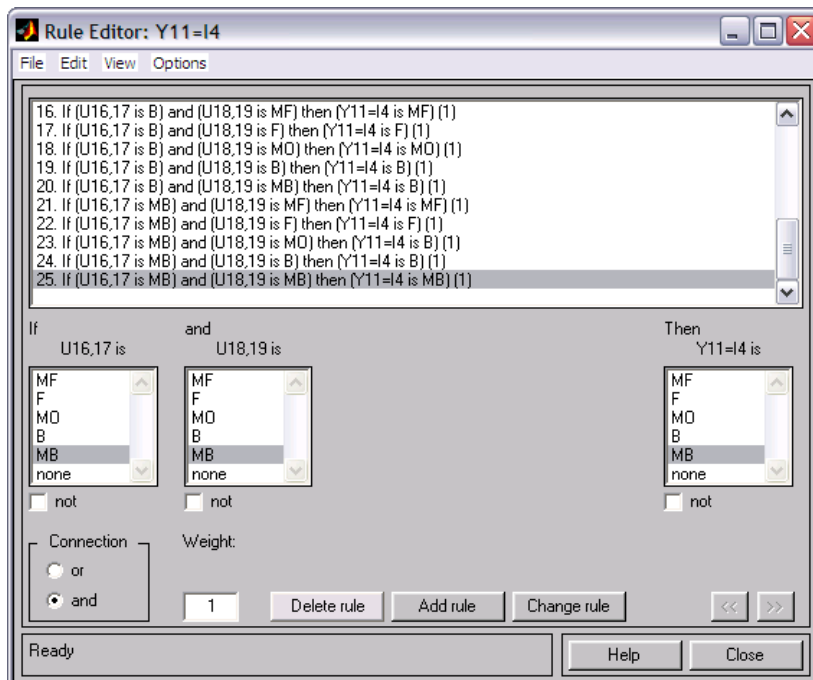


Figura IV.3. Regras de inferência

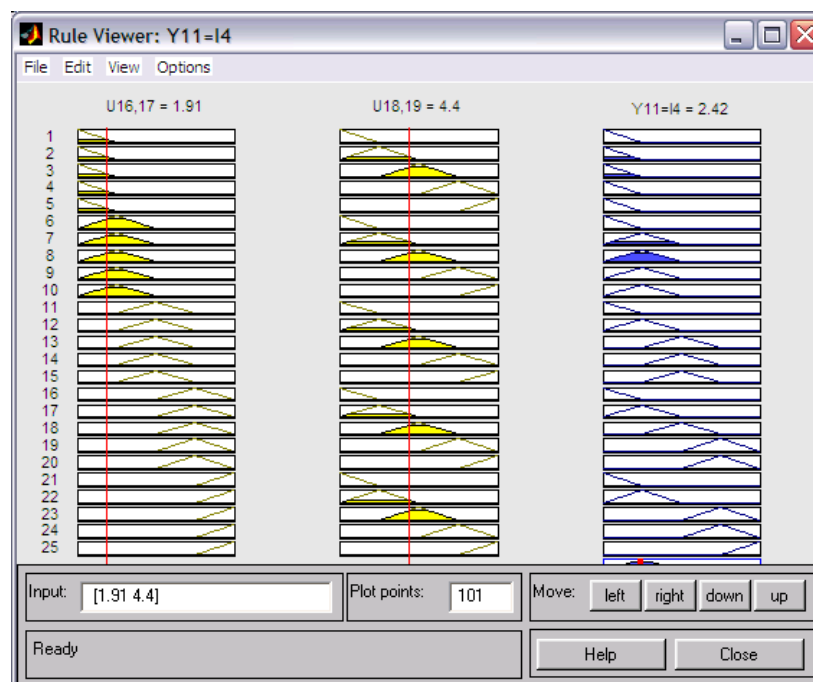
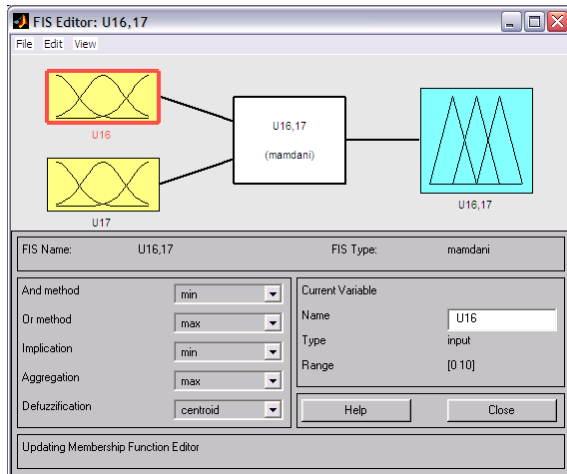


Figura IV.4. Desfuzificação, resultando  $Y_{11} = I_4 = 2,42$ .

#### IV.1. Algoritmo Nível de adequação acústica da implantação da edificação ( $U_{16,17}$ )

Este subsistema tem como variáveis de entrada  $U_{16}$  e  $U_{17}$ , respectivamente, o “Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação à trajetória de aeronaves



**Figura IV.1.1.** Sistema de inferência elaborado para obter a variável  $U_{16,17}$ .

( $U_{16}$ )” e o “Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação ao  $L_{DN}$  55 dB(A)”( $U_{17}$ ) (Figura IV.1.1).

$U_{16}$  e  $U_{17}$  foram definidas, respectivamente, em IV.1.1 e IV.1.2. As funções de pertinência associadas à  $U_{16}$  e  $U_{17}$  receberam os valores Muito Fraco (MF), Fraco (F), Moderado (MO), Bom (B) e Muito Bom (MB), encontrando-se no intervalo [0,10] (Figuras IV.1.2).

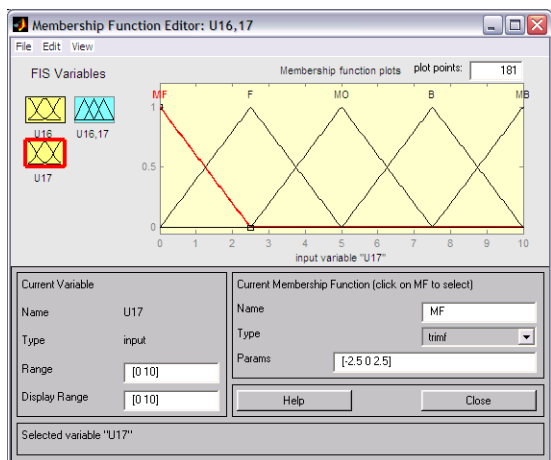
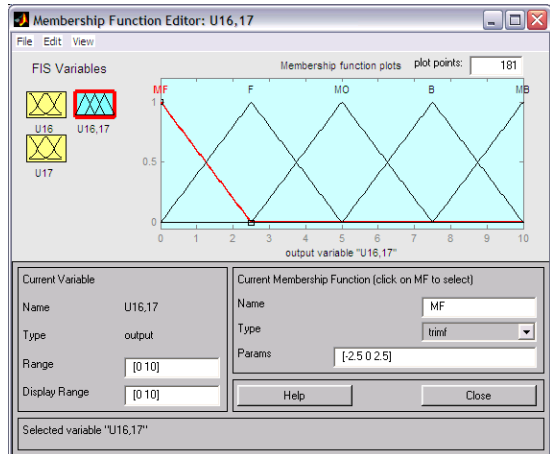
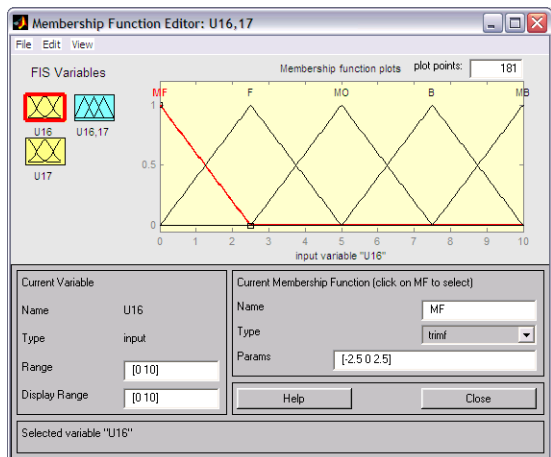
As regras de inferência desenvolvidas basearam-se na Tabela de decisão 20, sendo editadas no *Matlab* (Veja Figura IV.1.3). A desfuzificação resulta o  $U_{16,17} = 1,91$ .

**TABELA DE DECISÃO 20** : “Nível de adequação acústica da implantação da edificação” ( $U_{16,17}$ ).

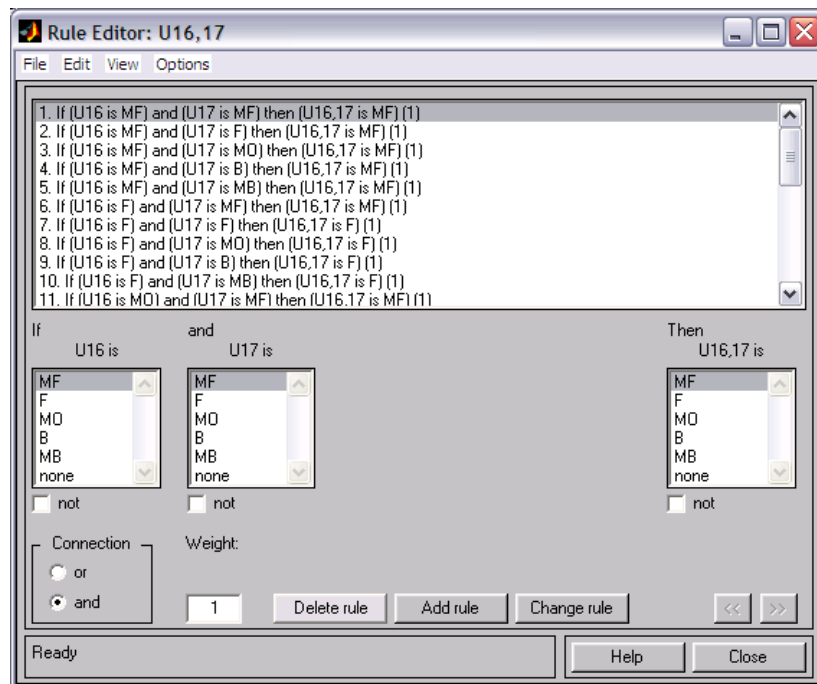
U16 \ U17	U17				
	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

REGRA: Se “ $U_{16}$ ” (Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação à trajetória de aeronaves)” é ... E “ $U_{17}$ ” (Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação ao  $L_{DN}$  55 dB(A)) é ..., ENTÃO “ $U_{16,17}$ ” (Nível de adequação acústica da implantação da edificação) é ...

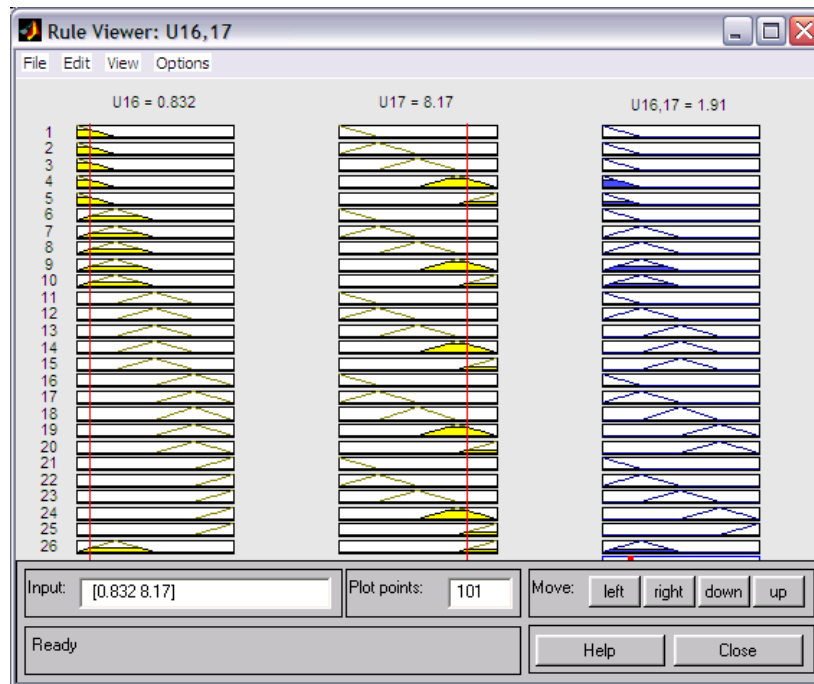




**Figura IV.1.2.** Funções de pertinência associadas às variáveis  $U_{16}$ ,  $U_{17}$  e  $U_{16,17}$  (Nível de adequação acústica da implantação da edificação ( $U_{16,17}$ ))

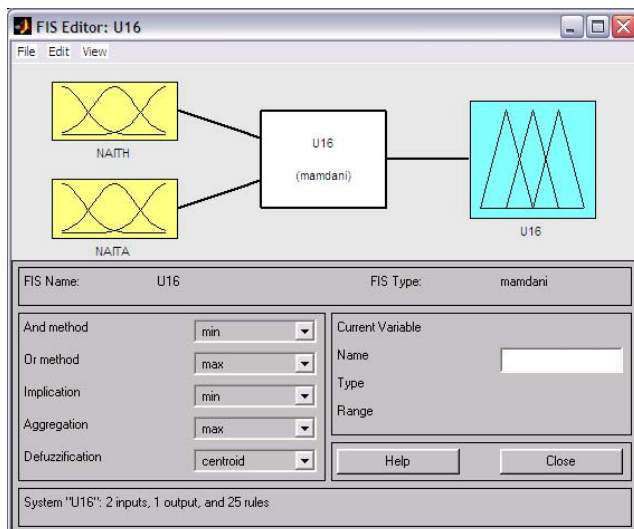


**Figura IV.1.3.** Regras de inferência.



**Figura IV.1.4.** Desfuzificação, resultando um Nível de adequação acústica da implantação da edificação  $U_{16,17}=1,91$ .

#### *IV.1.1 Algoritmo do Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação à trajetória de aeronaves ( $U_{16}$ )*



**Figura IV.1.1.1.** Sistema de inferência relativo ao Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação à trajetória de aeronaves ( $U_{16}$ ).

$U_{16}$  teve como entrada as variáveis lingüísticas “Nível de adequação da implantação da edificação em relação à trajetória de helicópteros”(NAITH) e Nível de adequação da implantação da edificação em relação à trajetória de aviões (NAITA). As funções de pertinência criadas para as variáveis de entrada e de saída foram associadas aos valores lingüísticos

Muito Fraco, Fraco, Moderado, Bom e Muito Bom, inseridos no universo do discurso situado no intervalo  $[0,10]$ .

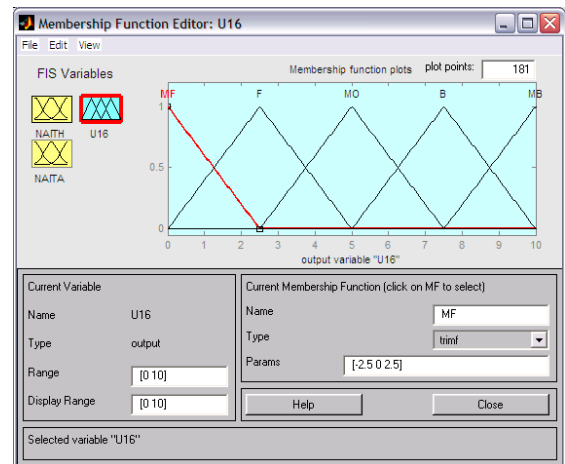
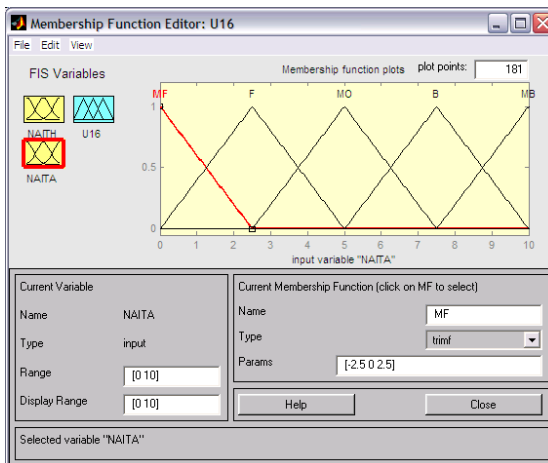
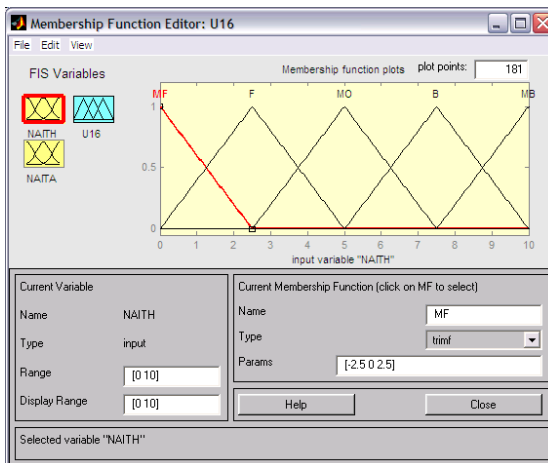
A Tabela de decisão 21 define as regras de inferência esboçadas para esta situação. Uma vez que as áreas residenciais se encontram sob a rota de pouso e decolagem de aviões, considerou-se que a variável de entrada NAITA apresenta o valor

lingüístico Muito Fraco, com grau de pertinência 1. NAITH recebeu um valor lingüístico Fraco, com grau pertinência 0,6, pois nem sempre os helicópteros seguem em direção à rota praia, sobrevoando a área residencial. Assim sendo, entrando com os valores 0 e 3 correspondentes, respectivamente a NAITA e a NAITH, no visor de regras do *Matlab*, o valor resultante de  $U_{16}$  é 0.832 (Veja Figura IV.1.1.4).

**TABELA DE DECISÃO 21:** Nível de adequação acústica da implantação da edificação, em relação à trajetória de aeronaves ( $U_{16}$ ).

NAITH \ NAITA	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

**REGRA:** Se “NAITH” (Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação à trajetória de helicópteros) ” é ... E “NAITA” (Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação à trajetória de aviões) ”é ..., ENTÃO o “ $U_{16}$ ” (Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação à trajetória de aeronaves ) é ...



**Figura IV.1.1.2.** Funções de pertinência das variáveis de entrada e saída.

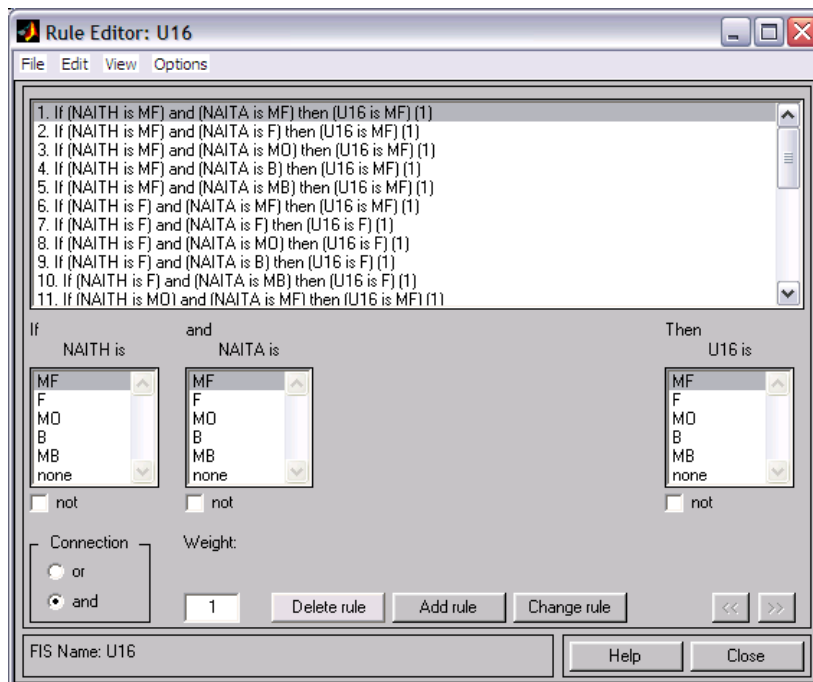


Figura IV.1.1.3. Regras de inferência.

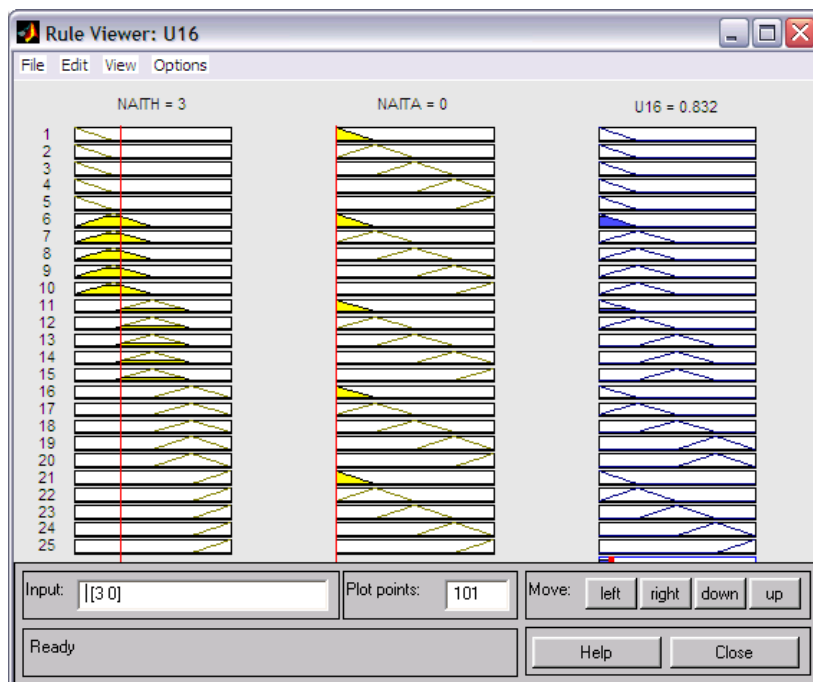
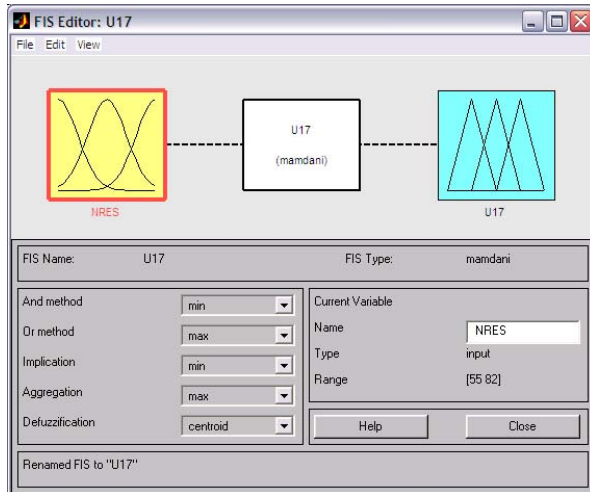


Figura IV.1.1.4. Desfuzificação relativa ao Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação à trajetória de aeronaves ( $U_{16}$ ), considerando um valor linguístico Fraco e Muito fraco, respectivamente, para as entradas NAITH e NAITA.

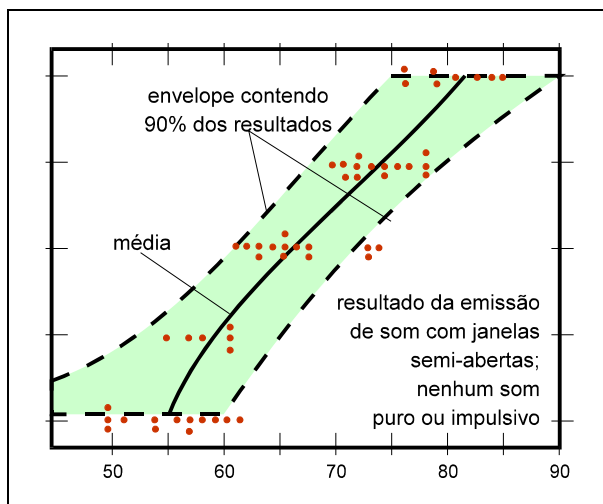
**IV.1.2. Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação ao  $L_{DN}$  55 dB(A).( $U_{17}$ )**



**Figura IV.1.2.1.** Sistema de inferência relativo ao Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação ao  $L_{DN}$  55 dB(A) ( $U_{17}$ ).

$U_{17}$  foi obtida a partir da criação de um sistema de inferência que teve como entrada a variável Nível de Reação Esperada em função do Nível Ponderado  $L_{DN}$  (NRES), conforme se verifica na figura IV.1.2.1. Esta variável teve suas funções de pertinência traçadas com base nas possíveis reações da comunidade quando exposta ao ruído, segundo os conceitos desenvolvidos por SCHULLER *et al* (1981). Este autor menciona que

quando uma atividade geradora de ruído surge repentinamente em um determinado local, algumas reações da comunidade são esperadas, como pode ser demonstrado na Figura IV.1.2.2. Desta maneira, adotou-se um universo do discurso variando entre 55 e 82 dB(A), correspondente ao Nível Sonoro Dia e Noite ( $L_{DN}$ ) e às possíveis reações geradas.



- Ação comunitária importante.
- Ameaças de ações na justiça ou queixas junto a autoridades para fazer parar o ruído.
- Numerosas queixas ou ameaças individuais de ação na justiça.
- Queixas isoladas
- Nenhuma reação mesmo se o ruído é percebido

**Figura. IV.1.2.2.** Reação de um grupo exposto a numerosos tipos de ruído em função do nível ponderado Dia e Noite ( $L_{DN}$ ).

Fonte: Schuller *et al*, 1981.

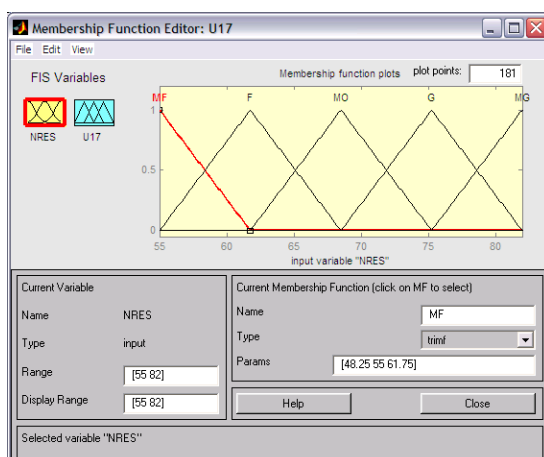
Pela figura, observa-se que, em média, o  $L_{DN}$  55 dB(A) não chega a produzir reações comunitárias e um nível em torno de 58 dB(A) produz queixas isoladas. Todavia, numerosas queixas e ameaças de ações individuais na justiça podem surgir para níveis próximos a 67 dB(A), ameaças de ações coletivas que visem paralisar a atividade geradora de ruído podem ocorrer em níveis de próximos a 74 dB(A) e ações comunitárias importantes em níveis superiores a 82 dB(A).

Assim sendo, os valores lingüísticos (Muito Fraco (MF), Fraco (F), Moderado (MO), Grande (G) e Muito Grande (MG)) foram associados à variável de entrada NRES. Para a variável de saída ( $U_{17}$ ) foram adotados os valores lingüísticos Muito Fraco (MF), Fraco (F), Moderado (MO), Bom (B) e Muito Bom (MB) e o universo do discurso situado entre 0 e 10. A Tabela de decisão 20 auxiliou na definição das regras de inferência criadas.

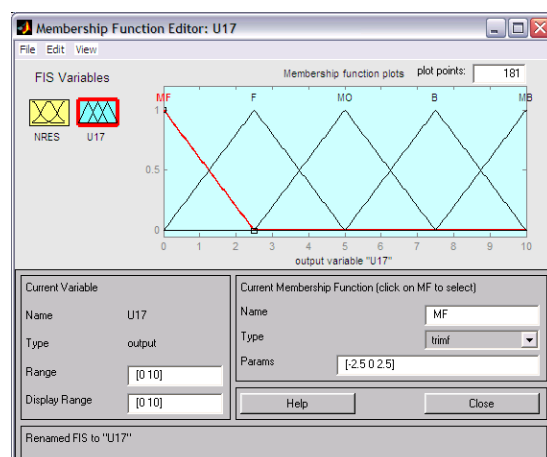
**TABELA DE DECISÃO 22. Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação ao  $L_{DN}$  55 dB(A)( $U_{17}$ ).**

NRES	$U_{17}$
MF	MB
F	B
MO	MO
G	F
MG	MF

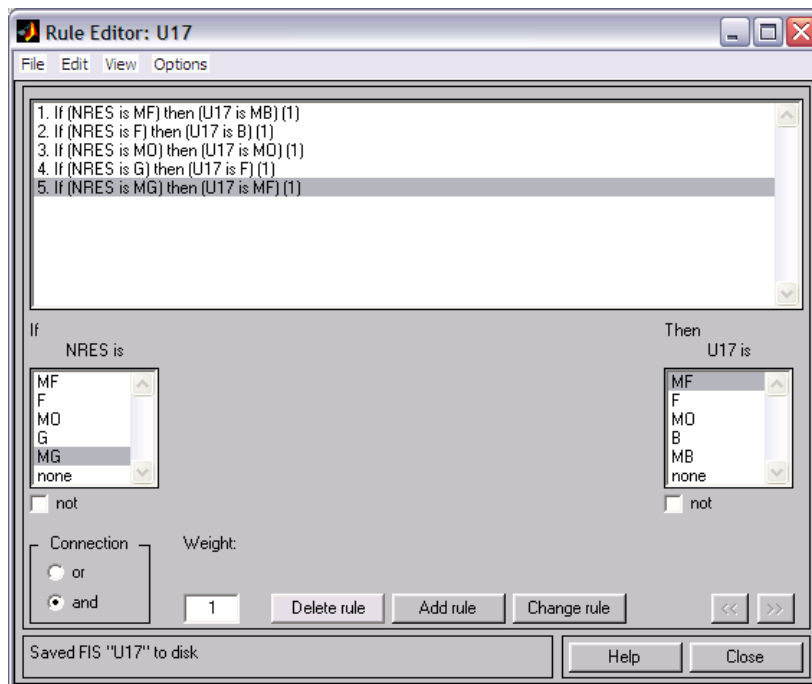
**REGRA:** Se “NRES” (Nível de Reação Esperada em função do Nível Ponderado  $L_{DN}$ ) é... ENTÃO “ $U_{17}$ ” (Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação ao  $L_{DN}$  55 dB(A)) é ...



**Figura. IV.1.2.3.** Função de pertinência da variável de entrada “Nível de Reação Esperada em função do Nível Ponderado  $L_{DN}$  (NRES)” .

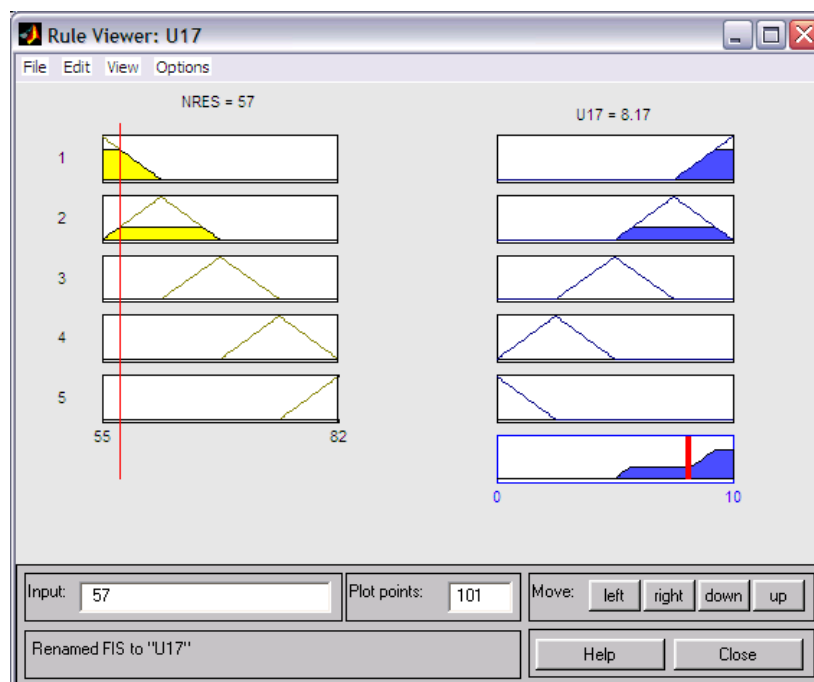


**Figura. IV.1.2.4.** Função de pertinência da variável de saída “Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação ao  $L_{DN}$  55 dB(A)( $U_{17}$ ).”



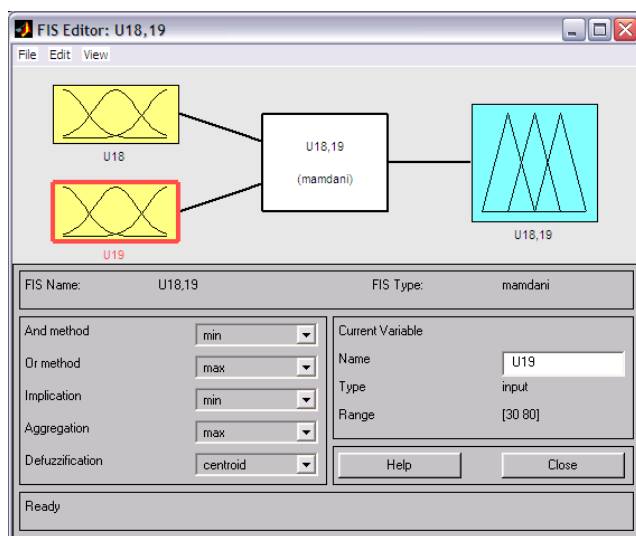
**Figura. IV.1.2.5.** Regras de inferência

Uma vez que, pelas curvas de ruído traçadas com o INM 6.0 verifica-se que a área residencial em avaliação encontra-se no interior da curva  $L_{DN} = 57$  dB(A), introduziu-se este valor no visor de regras do *Matlab*, obtendo-se um “Nível de adequação acústica da implantação da edificação em relação ao  $L_{DN} 55$  dB(A)” ( $U_{17}$ ) igual a 8,17 (Figura IV.1.2.6).



**Figura. IV.1.2.6.** Desfuzificação de NRES, resultando  $U_{17}$ .

## IV.2. Algoritmo do Nível de adequação do uso do solo em relação à Legislação ( $U_{18,19}$ ).



**Figura IV.2.1.** Sistema de inferência *fuzzy*, criado para obter o Nível de adequação do uso do solo em relação à Legislação ( $U_{18,19}$ ).

Na determinação dessa variável, atribuiu-se às funções de pertinência das entradas  $U_{18}$  (Nível de adequação do uso do solo em relação à Portaria 1141-GM5/1987 (Plano Básico)) e  $U_{19}$  Nível de adequação do uso do solo em relação à Legislação Federal (Resolução Conama 01/1990) os valores lingüísticos Muito Bom (MB), Bom (B), Moderado (MO), Fraco (F) e Muito Fraco (MF).

Tendo em vista que pela Portaria 1141/GM 5 é proibida a construção de residências nas áreas delimitadas pelas curvas 1 e 2, as quais correspondem, respectivamente, a 75 dB(A) e 65 dB(A), considerou-se que no limite da curva 2 o nível de adequação do uso do solo é representado pelo valor lingüístico “Moderado”(MO), que entre as curvas 1 e 2 essa adequação seria “Fraca” (F) e no interior da curva 1 seria “Muito Fraca”. Na área externa à curva 2, considerando o decaimento sonoro com a distância, foram atribuídos os valores lingüísticos “Bom” (B) a 50 dB(A), com grau de pertinência 1 e “Muito Bom” a 35 dB(A). Dessa forma, o universo do discurso se insere no intervalo [35,95], indo do nível sonoro considerado adequado à preservação da saúde pública pela Organização Mundial de Saúde, até um valor escolhido aleatoriamente por ser superior ao nível de 75 dB (A) determinado pela curva 1.

Quanto a variável  $U_{19}$ , na determinação das suas funções de pertinência, considerou-se que a edificação residencial se situa numa área residencial mista, cujo nível critério de ruído é  $LA_{eq} = 55$  dB(A). Dessa forma, associou-se à curva  $LA_{eq} 55$  dB(A) ao valor lingüístico “Moderado”(MO), com grau de pertinência 1, o qual serviu como limite entre os níveis de adequação Fraco e Bom, passando a Muito Fraco ou Muito Bom, conforme o nível sonoro aumente ou diminua em função do afastamento

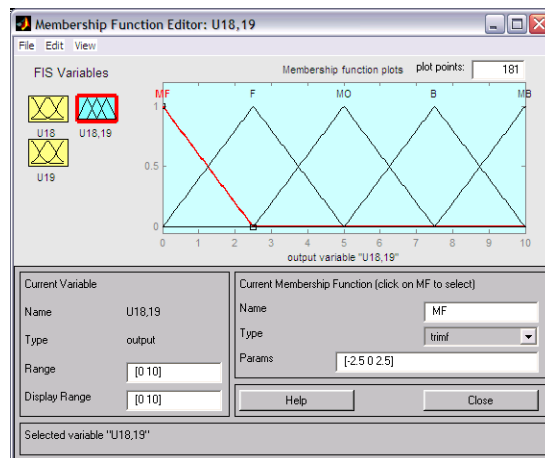
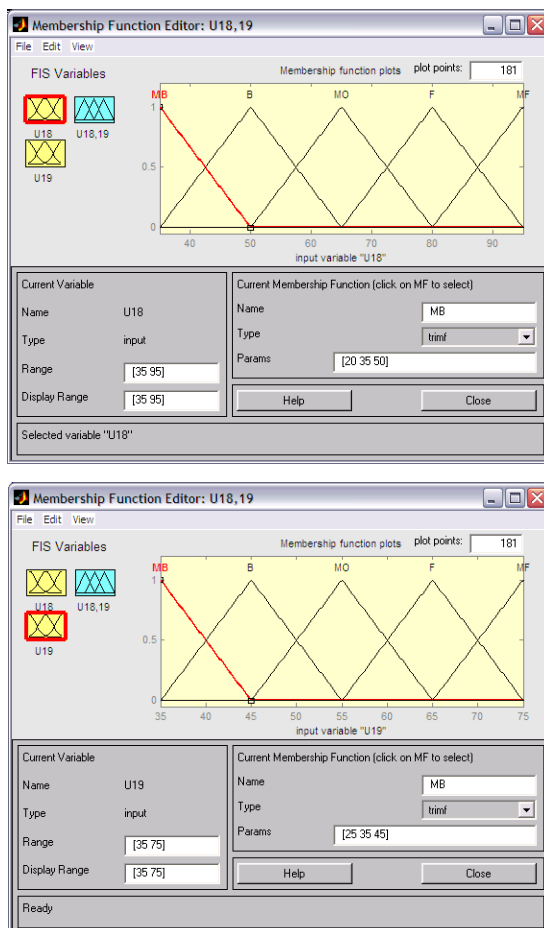


da curva  $LA_{eq}$  55 dB(A)(Figura IV.2.2). A Tabela de decisão 23 sintetiza as regras de inferência criadas.

**TABELA DE DECISÃO 23: Nível de adequação acústica do uso do solo em relação à Legislação ( $U_{18,19}$ ).**

U19 \ U18	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

**REGRA:** Se “ $U_{18}$ ” (Nível de adequação do uso do solo em relação à Portaria 1141/GM5 (Plano Básico) ” é ... E “ $U_{19}$ ” (Nível de adequação do uso do solo em relação à Legislação Federal (Resolução Conama 01/1990) ”é ..., ENTÃO o “ $U_{18,19}$ ” (Nível de adequação acústica do uso do solo em relação à Legislação ).  
é ...



**Figura IV.2.2.** Funções de pertinência das variáveis de entrada e de saída.

Uma vez que o conjunto residencial em avaliação encontra-se parcialmente situado sobre a curva 2 do Plano Básico e no interior da curva  $LA_{eq}$  57 dB(A), traçada

com o INM, estes valores foram inseridos no visor de regras do *Matlab*, resultando um nível de adequação do uso do solo em relação à legislação igual a 4,4 (Figura IV.2.4).

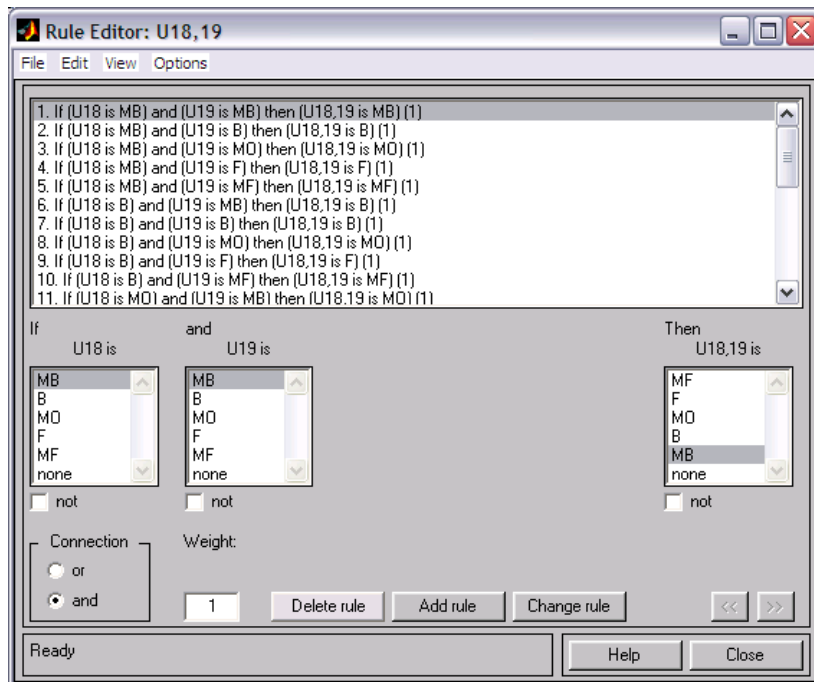


Figura IV.2.3. Regras de inferência.

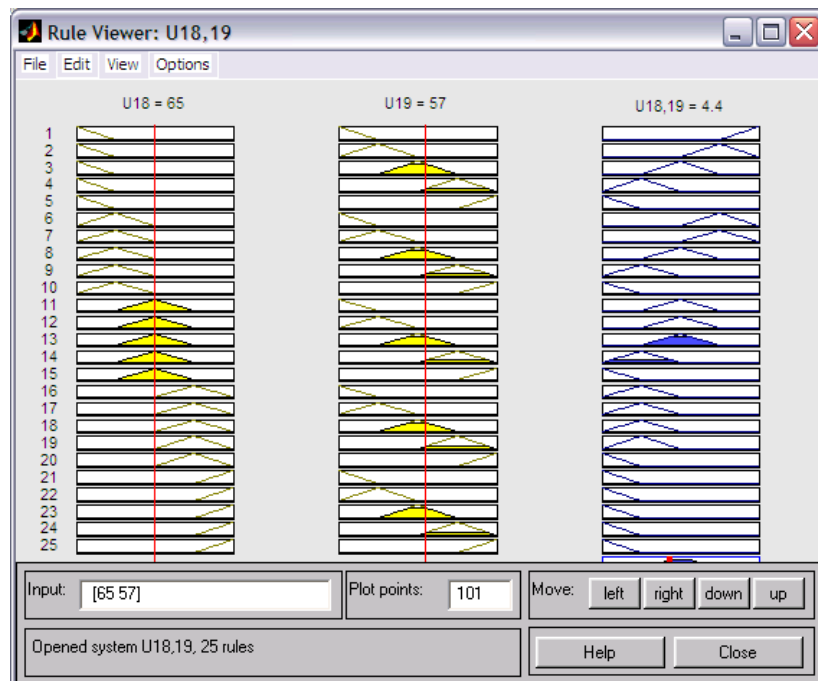
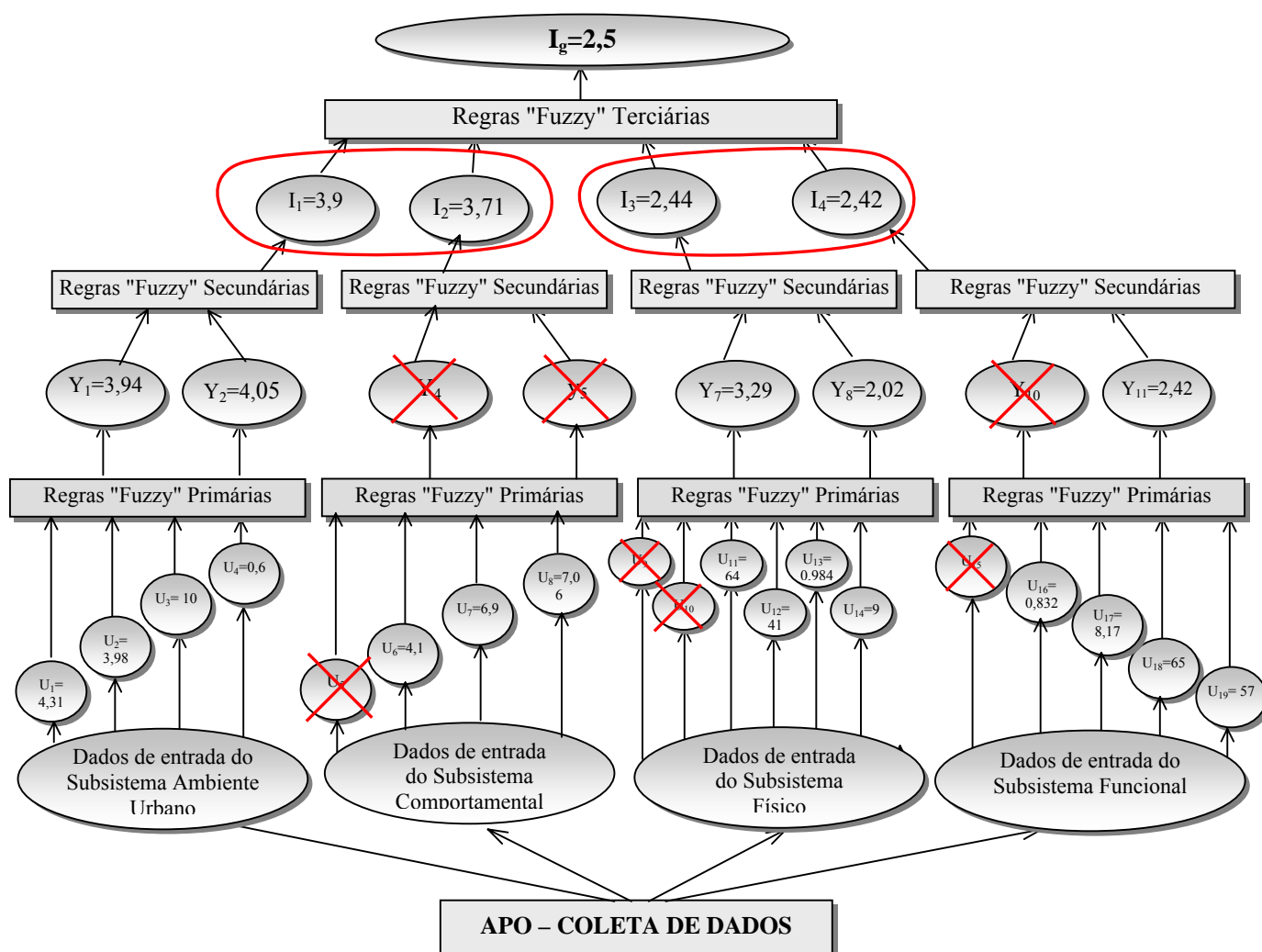


Figura IV.2.4. Desfuzificação resultando um nível de adequação do uso do solo em relação à legislação 4,4.

## 5.2.2. Algoritmo para obter o Indicador de adequação global do ambiente sonoro ( $I_g$ ):

( $I_g$ ):



**Fluxograma 5.10**

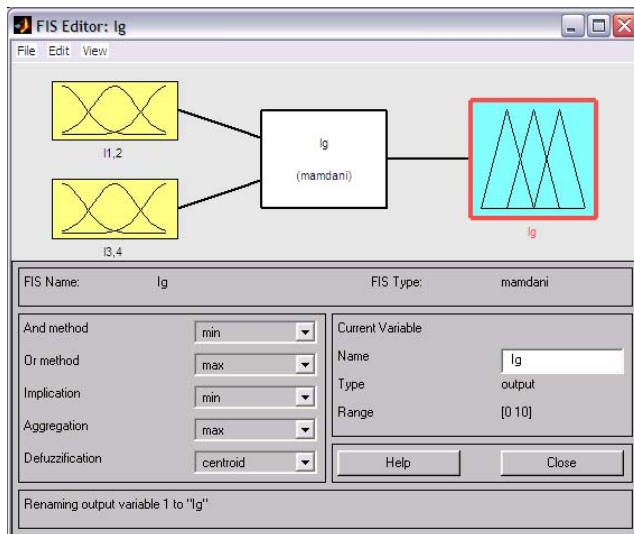
O Indicador de adequação global do ambiente sonoro ( $I_g$ ) foi obtido a partir da combinação dos indicadores  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  e  $I_4$ , os quais foram agrupados dois a dois.

“ $I_1$ ” (Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do Subsistema Ambiente Urbano) e “ $I_2$ ” (Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema comportamental), resultaram  $I_{1,2}$ .

“ $I_3$ ” (Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema físico) e  $I_4$  (Indicador de adequação acústica do ambiente, relativo à avaliação do subsistema funcional) originaram  $I_{3,4}$ . Finalmente,  $I_{1,2}$  e  $I_{3,4}$  resultaram  $I_g$ .

Os procedimentos realizados para obter  $I_g$  são descritos a seguir. O fluxograma 5.10 dá uma visão geral dos resultados obtidos nas avaliações dos diversos subsistemas criados,

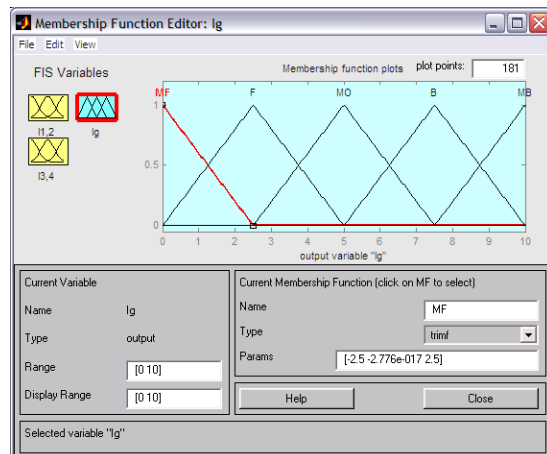
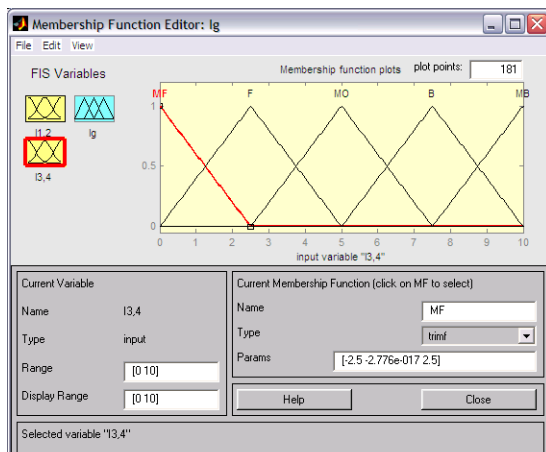
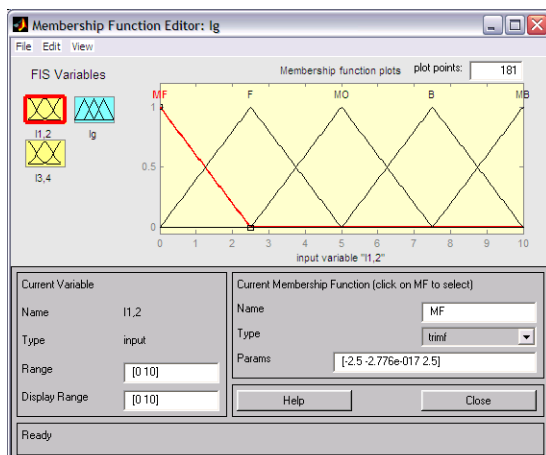
até atingir  $I_g$ . Observe que o subsistema que apresenta a menor nota é o funcional.



**Figura 5.2.2.1.** Sistema de inferência *fuzzy* criado para obter  $I_g$ .

A Figura 5.2.2.1. apresenta o sistema de inferência que originou  $I_g$ . As variáveis linguísticas  $I_g$ ,  $I_{1,2}$  e  $I_{3,4}$  foram associadas a funções de pertinência que receberam os valores linguísticos Muito Fraco (MF), Fraco (F), Moderado (MO), Bom (B) e Muito Bom (MB) (Figura 5.2.2.2.). A Tabela de decisão 24 sintetiza as

regras de inferência criadas, as quais foram editadas no *Matlab* (Figura 5.2.2.3).

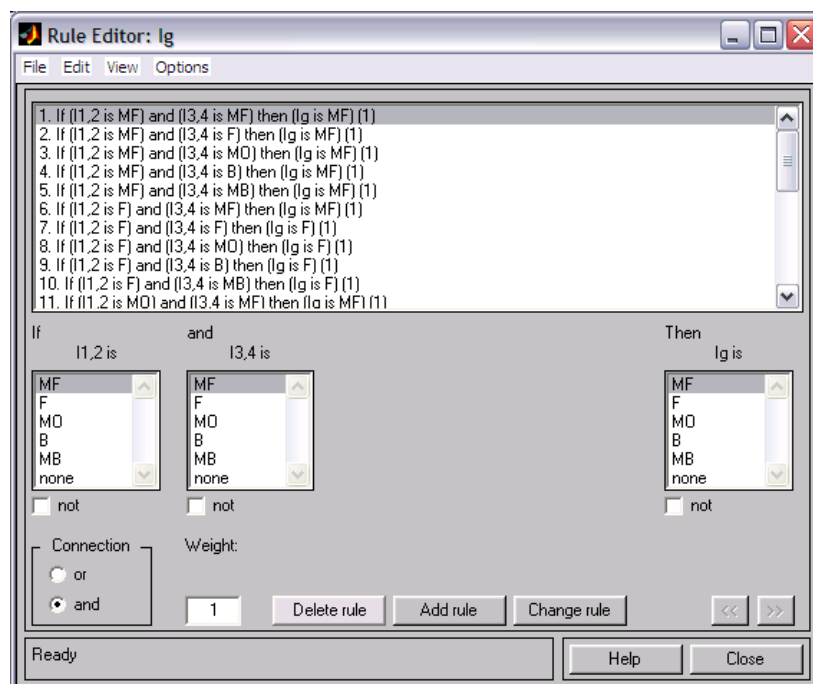


**Figura 5.2.2.2.** Funções de pertinência relativas às variáveis de entrada e saída.

**TABELA DE DECISÃO 24** : Indicador de adequação global do ambiente sonoro (“I<sub>g</sub>”)

I <sub>3,4</sub> \ I <sub>1,2</sub>	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

**REGRA:** Se “I<sub>1,2</sub>” (Combinação de I<sub>1</sub> e I<sub>2</sub>) é ... E “I<sub>3,4</sub>” (Combinação de I<sub>3</sub> e I<sub>4</sub>) ”é ..., ENTÃO “I<sub>g</sub>” (Indicador de adequação global do ambiente sonoro) é ...



**Figura 5.2.2.3.** Regras de inferência.

O processo de desfuzificação forneceu um valor “crisp” 2,5 para o Indicador de adequação global do ambiente sonoro (I<sub>g</sub>). (Figura 5.2.2.4)

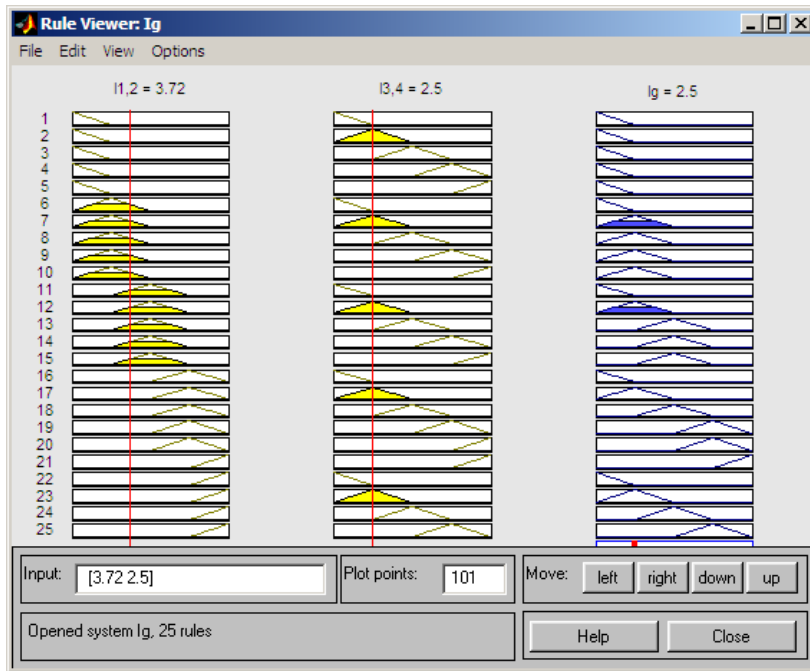


Figura 5.2.2.4. Desfuzificação:  $I_g=2,5$

### 5.2.2.I. Algoritmo da combinação de “ $I_{1,2}$ ”

A combinação de  $I_1$  (Indicador de adequação acústica do subsistema ambiente urbano) e

$I_2$  (Indicador de adequação acústica do subsistema comportamental) seguiu os mesmos critérios adotados nos demais subsistemas. O sistema de inferência *fuzzy* elaborado é apresentado na figura 5.2.2.I.1. As variáveis de entrada e

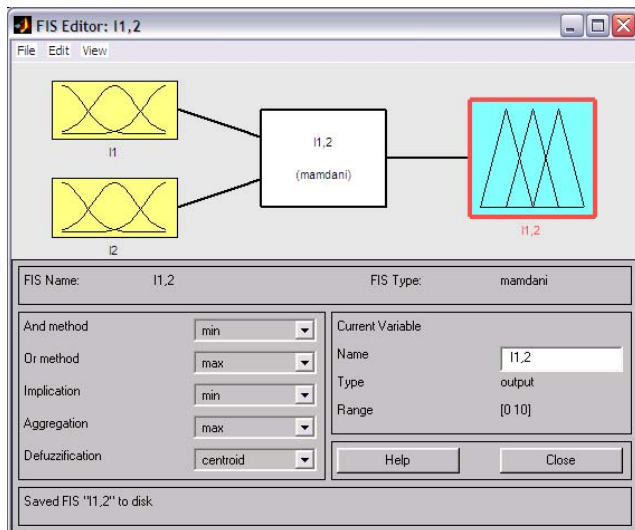


Figura 5.2.2.I.1. Sistema de inferência *fuzzy* elaborado para combinar  $I_1$  e  $I_2$

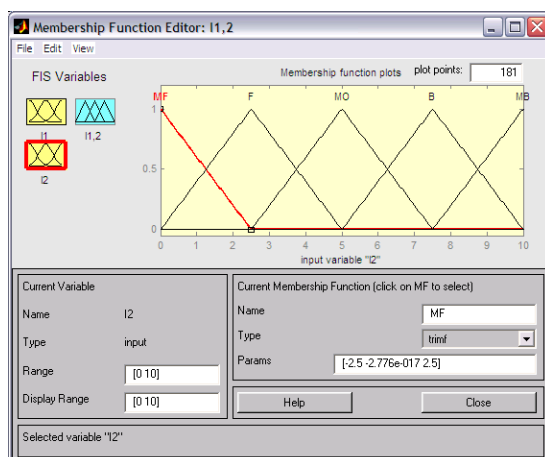
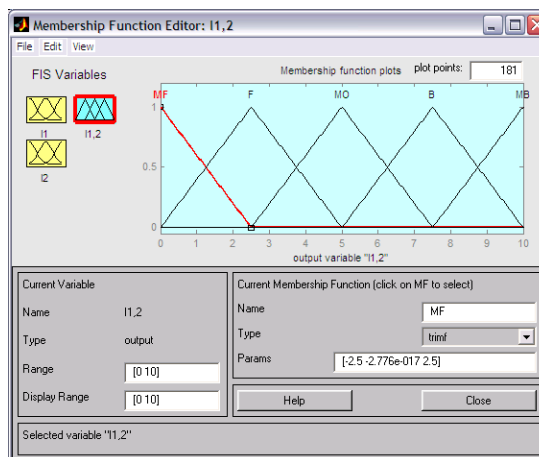
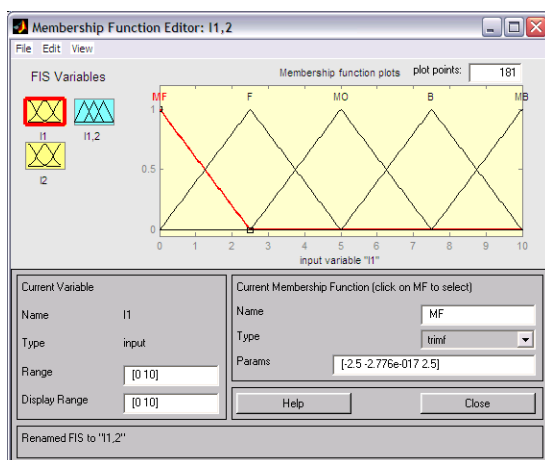
saída foram associadas a funções de pertinência que receberam os valores lingüísticos Muito Fraco (MF), Fraco (F), Moderado (MO), Bom (B) e Muito Bom (MB) (Figura 5.2.2.I.2.). A Tabela de decisão 24 resume as regras de

inferência editadas na Figura 5.2.2.I.3. O valor resultante da combinação de  $I_1$  e  $I_2$  ( $I_{1,2}$ ) é 3,72.

**TABELA DE DECISÃO 25: Combinação de  $I_1$  e  $I_2$  (“ $I_{1,2}$ ”)**

$I_2 \backslash I_1$	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

**REGRA:** Se “ $I_1$  ( Indicador de adequação acústica do subsistema ambiente urbano) é ... E “ $I_2$ ” (Indicador de adequação acústica do subsistema comportamental) ”é ..., ENTÃO “ $I_{1,2}$ ” (Combinação de  $I_1$  e  $I_2$ ) é ...



**Figura 5.2.2.I.2.** Funções de pertinência das variáveis de entrada e saída.

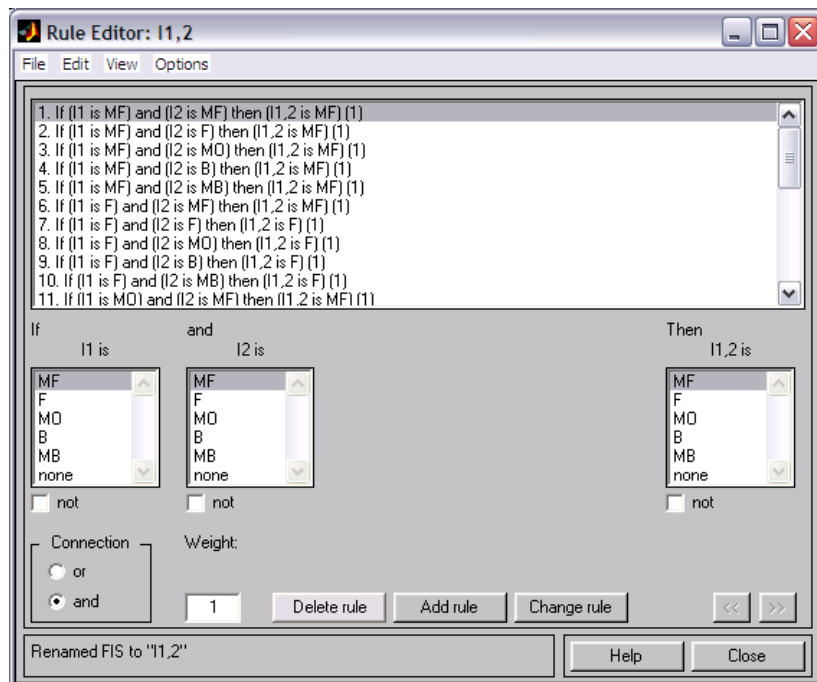


Figura 5.2.2.I.3. Regras de inferência.

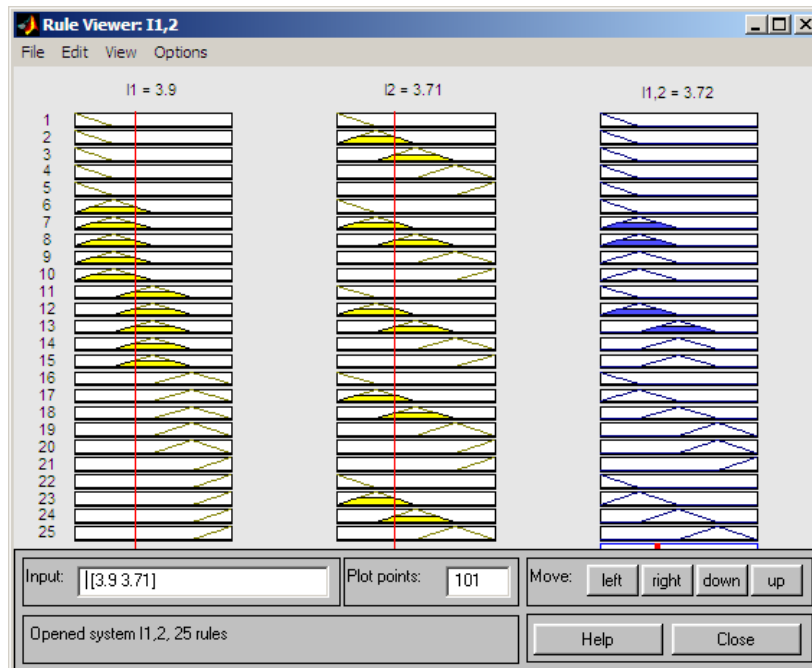
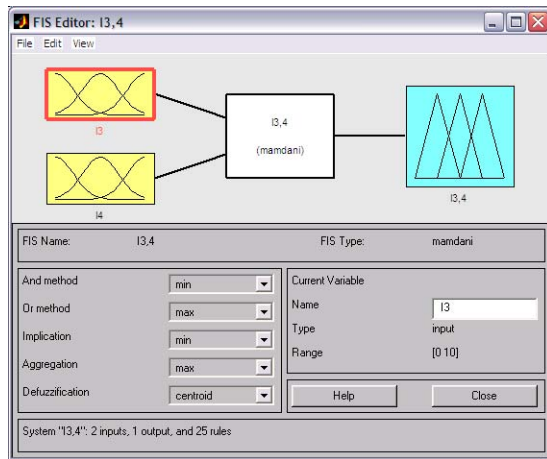


Figura 5.2.2.I.4. Desfuzificação, resultando  $I_{1,2} = 3,72$ .



### 5.2.2.II. Algoritmo da combinação de “ $I_{3,4}$ ”

A combinação de  $I_3$  (Indicador de adequação acústica do subsistema físico) e  $I_4$  (Indicador de adequação acústica do subsistema funcional) seguiu os mesmos critérios adotados nos demais subsistemas.



**Figura 5.2.2.II.1.** Sistema de inferência relativo à combinação de  $I_3$  e  $I_4$ .

O sistema de inferência *fuzzy* elaborado é apresentado na Figura II.1. As variáveis de entrada e saída foram associadas a funções de pertinência que receberam os valores lingüísticos Muito Fraco (MF), Fraco (F), Moderado (MO), Bom (B) e Muito Bom (MB) (Figura II.2.).

A Tabela de decisão 24 resume as regras de inferência editadas na Figura II.3. O valor resultante da combinação de  $I_3$  e  $I_4$  ( $I_{3,4}$ ) é 2,5 (Figura II.4).

**TABELA DE DECISÃO 26 :** Combinação de  $I_3$  e  $I_4$  (“ $I_{3,4}$ ”)

$I_3 \backslash I_4$	MF	F	MO	B	MB
MF	MF	MF	MF	MF	MF
F	MF	F	F	F	F
MO	MF	F	MO	MO	MO
B	MF	F	MO	B	B
MB	MF	F	MO	B	MB

**REGRA:** Se “ $I_3$  (Indicador de adequação acústica do subsistema físico) é ... E “ $I_2$ ” (Indicador de adequação acústica do subsistema funcional) ”é ..., ENTÃO “ $I_{3,4}$ ” (Combinação de  $I_3$  e  $I_4$ ) é ...

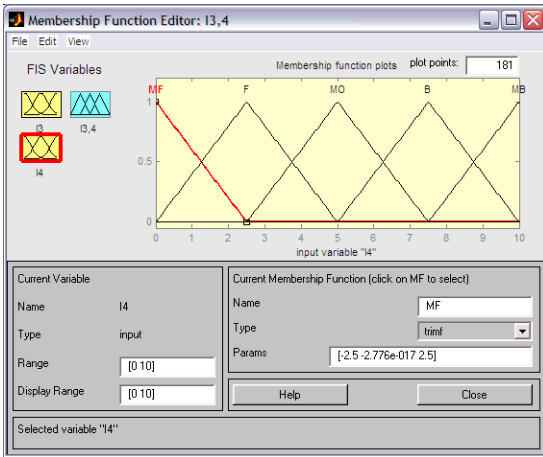
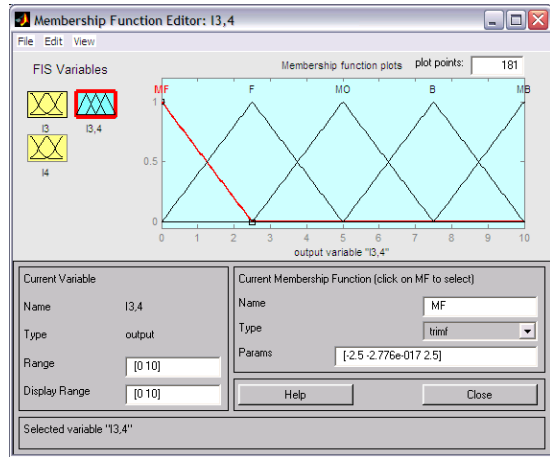
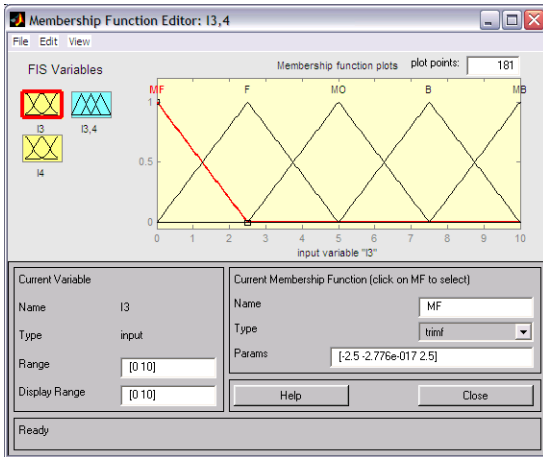


Figura 5.2.2.II.2. Funções de pertinência das variáveis de entrada e saída.

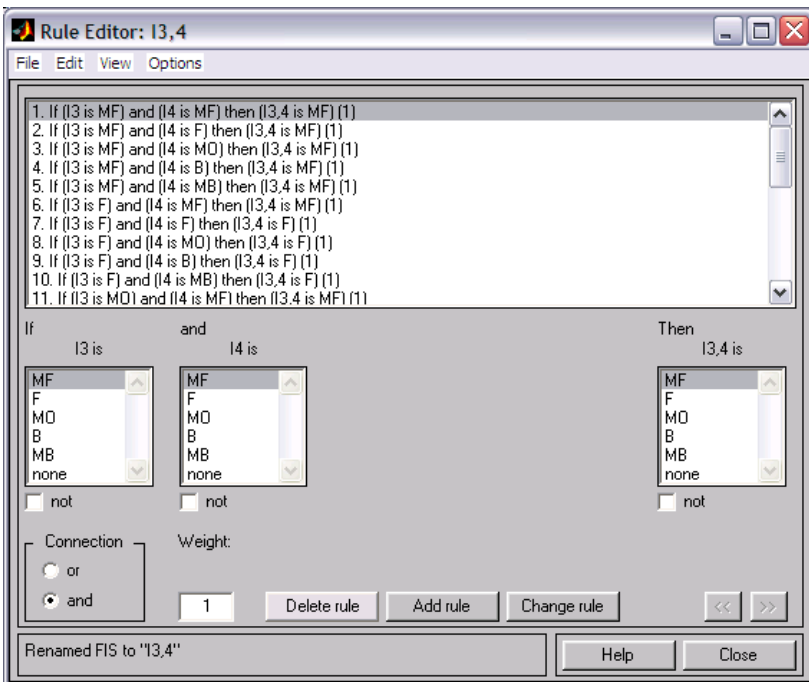
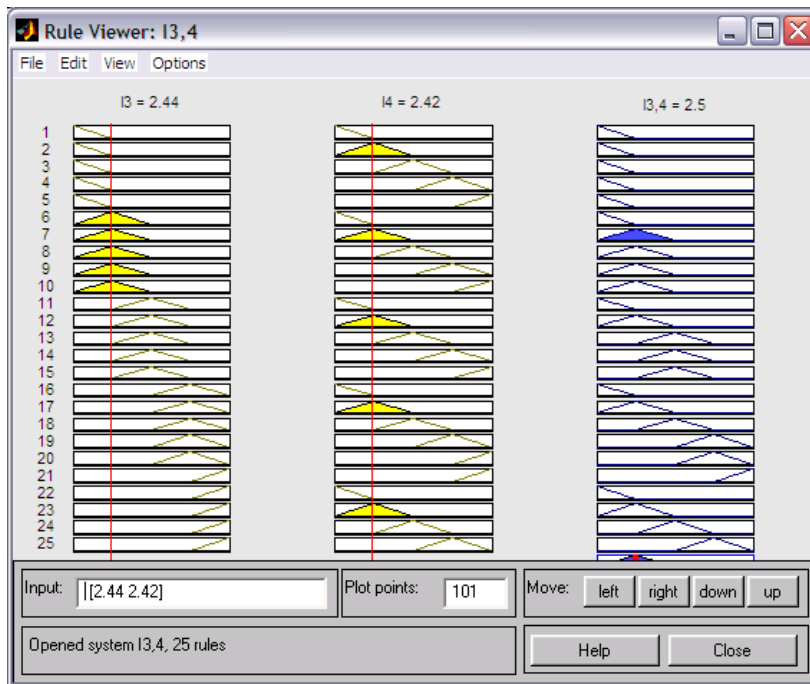


Figura 5.2.2.II.3. Regras de inferência



**Figura 5.2.2.II.4.** Desfuzificação, resultando um valor “crisp” de  $I_{3,4} = 2,5$ .

## CONCLUSÃO

Neste capítulo final, apresentaremos discussões sobre alguns dos conceitos que inspiraram e justificaram a criação do modelo *fuzzy* proposto, comentando, a partir deste modelo, os aspectos que merecem especial atenção e, finalmente, abordaremos as indicações que esta tese nos permite enunciar.

## DISCUSSÃO

O ruído ambiental é uma preocupação internacional, sendo considerado pela Organização Mundial de Saúde (1995) como um dos principais problemas do século XXI, pois, a degradação da saúde por ele causada pode não ser percebida imediatamente, exceto no caso da exposição a ruídos cujos níveis de pressão sonora são muito elevados (acima de 130 dB(A)), os quais podem causar perda auditiva imediata. Além disso, os custos sociais associados a estas doenças e a redução da produtividade humana podem acarretar substancial perda econômica.(WHO,1999)

Assim sendo, algumas estratégias vem sendo propostas em todo o mundo visando combater a poluição sonora. Na Europa, as Diretrizes do Parlamento Europeu, propõem uma série de medidas de controle do ruído ambiental (EUROPEAN PARLAMENT, 2004). Nos EUA, a EPA (*Environmental Protection Agency*) também vem atuando nesse sentido.

Segundo a *World Health Organization* (WHO, 1999), a gestão do ruído tem como objetivo manter a exposição sonora em níveis tais que a saúde humana e o bem estar estejam protegidos. Todavia, nem sempre este quadro é obtido. Os princípios de gestão ambiental sobre os quais as políticas governamentais de gestão de ruído podem ser baseadas foram esboçados pela *Agenda 21 das Nações Unidas* (SENADO FEDERAL, 1996) e pela *European Charter on Transport* (LONDON CHARTER, 1999), *apud World Health Organization*, são:

- *“Princípio da precaução:* Em todos os casos, o ruído deveria ser reduzido ao menor nível que se consiga atingir. Onde houver uma razoável possibilidade de que a saúde pública seja danificada, devem ser realizadas ações para protegê-la.
- *Princípio do poluidor pagador:* Os custos associados com a poluição sonora (incluindo monitoramento, gestão, manutenção dos níveis baixos e supervisão) deveriam ser ônus do responsável pela fonte sonora.

- *Princípio da prevenção*: Quando possível, as ações deveriam ser voltadas para a redução do ruído na fonte. O planejamento do uso do solo deveria ser orientado por uma avaliação do impacto sobre a saúde que considere o ruído tanto quanto outros poluentes”. (1999 p. 66)

Em alguns países, em função da ausência de condições tecnológicas, sociais, econômicas e políticas, as estratégias relativas à gestão do ruído são estabelecidas em níveis insuficientes à proteção da saúde humana. Em tais casos, a implementação de programas que possibilitassem atingir níveis de redução sonora adequados à preservação da saúde, deveria ser um objetivo a longo prazo. (WHO, 1999)

Convém ressaltar, que as prioridades na gestão do ruído diferem entre os países, de acordo com seus objetivos políticos, necessidades e capacidades. O estabelecimento dessas prioridades requer a determinação de níveis de riscos de danos à saúde (WHO,1999). Nesse sentido a Organização Internacional de Aviação Civil dá liberdade aos seus países membros para que estes estabeleçam as políticas de gestão de ruído de acordo com as necessidades locais, apenas definindo uma abordagem que direciona a gestão da poluição sonora. (OACI, em divulgação 2005)

Para uma efetiva gestão do ambiente sonoro, os objetivos, políticas e planos de controle da poluição sonora devem ser definidos. Estes objetivos devem incluir a retirada progressiva das fontes sonoras mais ruidosas, a redução de ruídos a níveis aceitáveis e a adoção de medidas de modo a evitar os efeitos adversos do ruído sobre a saúde humana. As políticas de gestão do ruído englobam leis e regulamentações, estabelecendo critérios e assegurando o seu cumprimento. (WHO, 1999)

A nível internacional, o controle da poluição sonora no entorno de aeroportos fundamenta-se na estimativa do nível sonoro e determinação da exposição humana, com base em ferramentas úteis ao planejamento ambiental, tais como o traçado de curvas isofônicas e os sistemas de monitoramento de ruído, que possibilitam identificar a compatibilidade do uso do solo com os níveis sonoros obtidos. Nessa abordagem, segundo VALLET (2001), o controle do uso do solo é pautado no zoneamento de ruído, no planejamento compreensivo, na aquisição de terras, nos códigos de edificações e nos incentivos fiscais.

Os sistemas de monitoramento são utilizados em alguns países para avaliar se os níveis sonoros estão de acordo com as normas estabelecidas e validar as curvas traçadas

mediante o emprego de *softwares* de acústica previsual , tais como o *Integrated Noise Model (INM)* da *Federal Aviation Administration*, que possibilitam traçar curvas isofônicas. Estes *softwares* são úteis no controle da poluição sonora em torno de aeroportos, devido à dificuldade de realizar medições de nível sonoro, em áreas extensas, e aos elevados custos dos sistemas de monitoramento. Observa-se, entretanto que eles ainda necessitam ser aperfeiçoados, pois apresentam falhas no que diz respeito a consideração da absorção do solo, da propagação lateral e a incorporação de outras fontes de ruído presentes na área circunvizinha aos aeroportos (ferrovias e autoestradas) (VALLET, 2001, disponível em <http://www.perso.wanadoo.fr>. Acesso em 29/04/2003.)

O cuidadoso planejamento ambiental possibilita evitar ou reduzir a exposição sonora. (WHO, 1995) É uma ferramenta importante para a melhoria da qualidade de vida, proporcionando uma adequada ocupação urbana e preservando o ambiente das diversas fontes de poluição, inclusive a poluição sonora. Todavia, para que o planejamento ambiental seja efetivo, é necessário que os planejadores identifiquem no ambiente urbano os pontos em que deverão propor intervenções.

Quando um planejador necessita tomar decisões com respeito a um determinado assunto, todos os possíveis resultados de sua decisão devem ser comparados e todos os possíveis cenários devem ser esboçados, para determinar qual deles é o mais apropriado, podendo-se, em fim, realizar a escolha (LINDBLUM, 1998). A implementação de políticas e regulamentações inadequadas não prevenirá o aumento da poluição sonora e dos efeitos adversos sobre a saúde a ela associados (WHO, 1999). Ao contrário, dependendo das variáveis consideradas na escolha, caso ignore variáveis relevantes, o administrador poderá ser induzido ao erro e sua decisão poderá ter conseqüências catastróficas. Assim, o processo de tomada de decisão requer que o planejador tenha valores e objetivos claros que lhe possibilitem decidir.

Em torno de aeroportos, o planejamento ambiental visando o controle da poluição sonora, embora de grande importância, implica na tomada de decisões que envolvem diversos atores sociais e a consideração de uma abordagem que inclua mais do que aspectos meramente objetivos.

Para que as medidas implementadas sejam efetivas, é necessário que as decisões tomadas considerem os diversos interesses envolvidos (sociais, políticos e econômicos). Assim sendo, ao definir estratégias que visem reduzir os riscos sobre a saúde humana, deve-se estabelecer a relação custo-benefício e determinar o que constitui um apropriado critério para proteger a saúde pública. A aceitabilidade dos riscos à saúde envolvidos irá depender de vários fatores dentre os quais a severidade dos efeitos potenciais e o tamanho da população em risco. (WHO, 1999)

Então, o objetivo seria identificar as ações de controle mais economicamente eficientes, procurando assegurar a proteção à saúde e a transparência na tomada de decisão, mediante a participação de todas as partes envolvidas e a compreensão das conseqüências econômicas e sociais. As opções de controle da poluição sonora deveriam ser baseadas em fatores técnicos, financeiros, sociais e ambientais.

Conforme mencionado na apresentação deste trabalho, o diagnóstico do ambiente sonoro de circunvizinhança é um procedimento não trivial, já que a resposta humana à exposição sonora difere em função de fatores objetivos e subjetivos. Além disso, em meio urbano, são diversas as fontes sonoras em operação e a propagação sonora poderá modificar-se em função de diversos elementos, os quais também influenciam na resposta humana e, de alguma maneira, estão relacionados com a psicoacústica.

Visando considerar esses diversos fatores no diagnóstico do ambiente sonoro, neste trabalho, procurou-se criar uma metodologia de avaliação, na qual acrescentou-se ao escopo das avaliações realizadas até o momento outros conteúdos.

Em função dos resultados positivos obtidos ao longo dos anos nas pesquisas realizadas no campo da Avaliação Pós-Ocupação (APO) em ambientes construídos, considerou-se que essa metodologia poderia ser de grande utilidade quando se deseja avaliar a qualidade ambiental sonora em áreas habitadas, incorporando variáveis objetivas (densidade de vegetação, níveis sonoros, qualidade acústica do envelope etc) e subjetivas (incômodo e interferência no desempenho de atividades) já que a APO tem como foco principal a relação homem-ambiente. Entretanto, para incorporar ao processo de avaliação os diversos fatores mencionados, foi necessário “repensar” a Avaliação Pós-Ocupação.

Desta forma, propusemos uma metodologia de avaliação que identificasse as diferenças entre o ambiente sonoro real e o ideal, através da criação de um modelo sistêmico, baseado na resposta humana e na interação entre as variáveis que interferem na percepção sonora, nas legislações pertinentes e na Abordagem Equilibrada aprovada pela “Assembly Resolution A33-7”, realizada pela OACI (Organização Internacional de Aviação Civil), em 2001.(OACI, em divulgação 2005)

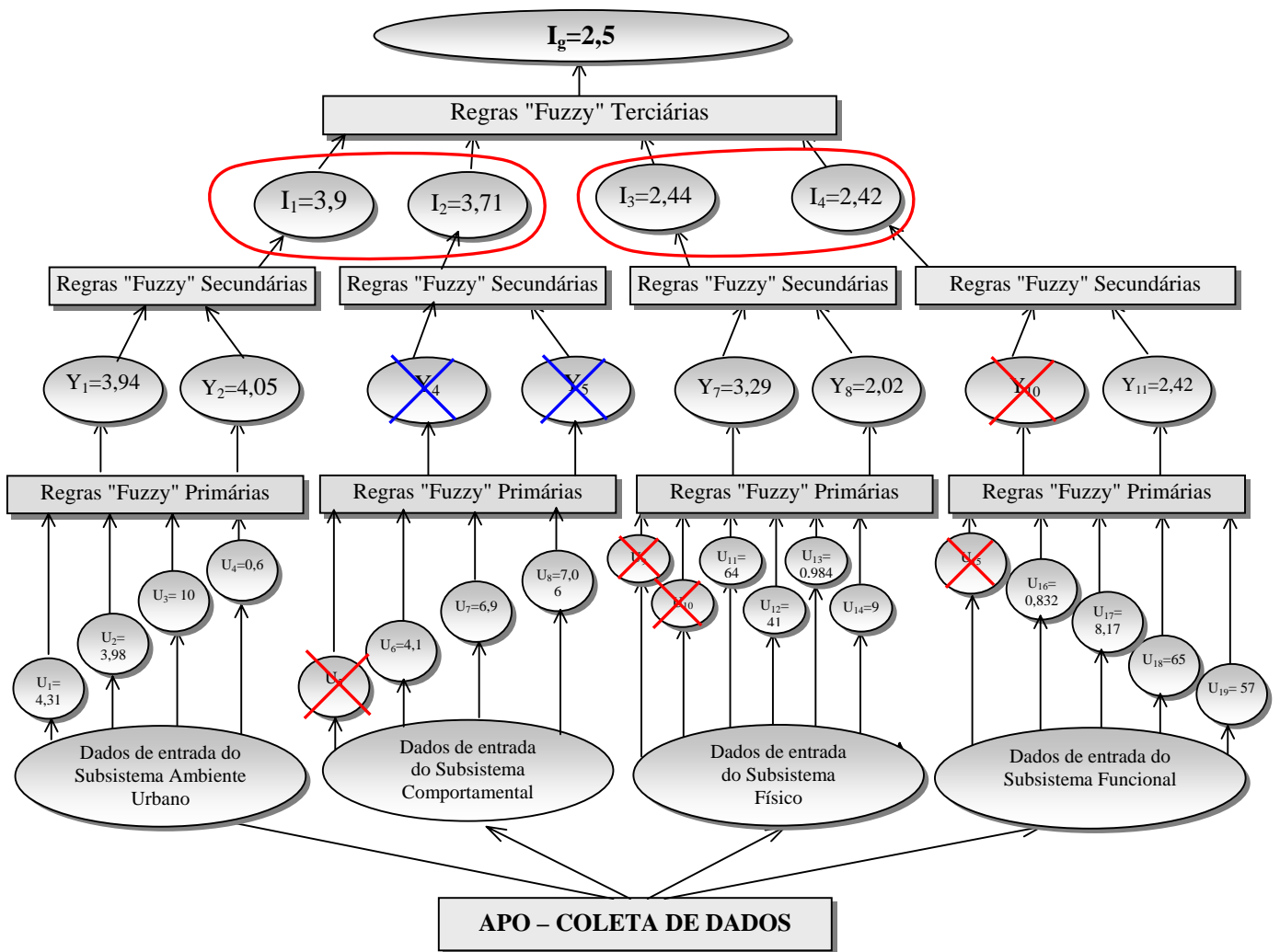
Esse modelo, foi criado a partir dos dados gerados através da realização de um diagnóstico ambiental sonoro no entorno do Aeroporto de Jacarepaguá, com base na APO Acústica. As importantes informações obtidas a partir da APO Acústica foram analisadas através de uma abordagem sistêmica, baseada na Teoria de Sistemas Nebulosos, gerando um indicador de adequação acústica do ambiente, que sintetiza as informações produzidas em um único número real (“crisp”), situado no intervalo [0,10].

Observa-se que, de acordo com FERRARI, “todo planejamento pressupõe uma pesquisa, uma análise e, conseqüentemente, uma síntese. É a “informação”, o fundamento” básico da “decisão” de resolver problemas sob planejamento” (1986, p.4). Este conceito segue em direção às recomendações da Agenda 21, visando implementar o desenvolvimento sustentável, conforme mencionado na “Apresentação” deste trabalho. (SENADO FEDERAL,1996)



## O MODELO

A metodologia proposta, a partir do diagnóstico ambiental realizado, permitiu sintetizar os resultados e, através de um único fluxograma (Figura 1), visualizar facilmente os pontos críticos que devem ser alvo de intervenção pela administração pública, a fim de compatibilizar o desenvolvimento da atividade aeroportuária e o uso do solo no entorno do Aeroporto de Jacarepaguá, tendo em vista um adequado planejamento ambiental. Para facilitar a compreensão, as variáveis de entrada e saída presentes nesse fluxograma e os valores a elas atribuídos são descritos a seguir:



Fluxograma 6.1.

Reprint do Fluxograma 5.10, (Capítulo 5)

## **Variáveis de entrada**

### ***a. Avaliação do Subsistema ambiente urbano***

$U_1 = 4,31$  (qualidade acústica do envelope da edificação segundo o ponto de vista do usuário).

$U_2 = 3,98$  (qualidade acústica do envelope da edificação segundo o avaliador)

$U_3 = 10$  dB(A) (atenuação proporcionada pela existência de barreiras acústicas)

$U_4 = 60\%$  (absorção sonora proporcionada em função da densidade de vegetação).

### ***b. Avaliação do Subsistema comportamental***

$U_5 =$  informações oriundas dos outros subsistemas

$U_6 = 4,07$  (nível de interferência do ruído de rodoviário no desempenho de atividades)

$U_7 = 6,95$  (nível de incômodo decorrente do ruído de aeronaves)

$U_8 = 7,06$  (nível de interferência do ruído de aeronaves no desempenho de atividades)

### ***c. Avaliação do Subsistema físico***

$U_9 =$  informações oriundas dos outros subsistemas.

$U_{10} =$  nível de adequação do tipo de campo sonoro.

$U_{11} = 64$  dB(A) (nível adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação à atividade desenvolvida);

$U_{12} = 41$  dB(A) (nível de adequação do ruído ambiente medido *in loco* em relação à atividade desenvolvida);

$U_{13} = 0,984$  (nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente);

$U_{14} = 9$  (nível de adequação do vento dominante em relação aos receptores críticos).

### ***d. Avaliação do Subsistema funcional***

$U_{15} =$  informações oriundas dos outros subsistemas

$U_{16} = 0,832$  (nível de adequação da implantação da edificação em relação à trajetória aeronaves (aviões e helicópteros).

$U_{17} = 8,17$  (nível de adequação acústica da implantação das edificações em relação ao  $L_{DN} 55$  dB(A).

$U_{18} = 65$  dB(A) (nível de adequação do uso do solo em relação à Portaria 1141/GM5 (Plano Básico).

$U_{19} = 57$  dB(A) (nível de adequação do uso do solo em relação à Legislação Federal (Resolução Conama 01/1990).

### **Variáveis de saída:**

$Y_1 = 3,94$  (Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do sistema ambiente urbano).

$Y_2 = 4,05$  (Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do sistema ambiente urbano).

$Y_4 =$  Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do sistema comportamental.

$Y_5 =$  Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do sistema comportamental.

$Y_7 = 3,29$  (Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do sistema físico).

$Y_8 = 2,02$  (Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do subsistema físico).

$Y_{10} =$  (Indicador de adequação acústica do ambiente interno, relativo à avaliação do sistema funcional).

$Y_{11} = 2,42$  (Indicador de adequação acústica do ambiente externo, relativo à avaliação do sistema funcional).

### **Indicadores secundários de adequação**

$I_1 = 3,9$  (Indicador de adequação acústica do subsistema ambiente urbano).

$I_2 = 3,71$  (Indicador de adequação acústica do subsistema comportamental).

$I_3 = 2,44$  (Indicador de adequação acústica do subsistema físico).

$I_4 = 2,42$  (Indicador de adequação acústica do subsistema funcional).

### **Indicador de adequação global**

$I_g = 2,5$  (Indicador de adequação global do ambiente sonoro).

No fluxograma apresentado na Figura 1, são apresentados os valores “crisp” obtidos para cada variável. Conforme já mencionado no Capítulo 5, as variáveis de entrada  $U_5$ ,  $U_9$  e  $U_{15}$  foram eliminadas por já terem dado suas contribuições na fase de levantamento de dados, mas serem desnecessárias nessa etapa do trabalho. A variável campo sonoro

foi eliminada por requerer um tratamento que envolve estudos mais profundos, os quais poderiam ser objeto de uma nova tese.

No subsistema comportamental, as duas saídas  $Y_4$  e  $Y_5$ , na verdade, não foram eliminadas, mas considerou-se a impossibilidade de separar a adequação do ambiente externo e interno já que as questões abordadas não eram específicas sobre cada um e forneciam um resultado que envolvia o ambiente sonoro em seu contexto.

A saída  $Y_{10}$  foi desconsiderada neste subsistema, pois as variáveis de entrada aqui abordadas referem-se ao ambiente externo.

### ***Indicadores***

A criação dos indicadores de adequação do ambiente sonoro permite aos planejadores e gestores do espaço urbano, ter uma visão geral do desempenho acústico da área em questão e identificar pontualmente as questões problemáticas, fornecendo subsídios para resolvê-las. A realização da APO Acústica em torno dos diversos aeroportos brasileiros e a obtenção do indicador de adequação do ambiente sonoro para cada aeroporto, possibilita desenvolver uma escala hierárquica e estabelecer uma ordem de prioridades nas tomadas de decisão inerentes ao processo de planejamento ambiental no entorno de aeroportos.

No contexto da APO Acústica, a aplicação de questionários e a realização de entrevistas a pessoas-chave foi um primeiro passo no sentido de obter dados sobre a resposta da população exposta ao ruído aeronáutico no Brasil. Observa-se que é necessário ampliar as pesquisas sociais de modo a obter a relação dose-resposta para a população brasileira, já que o Brasil vêm se baseando em dados resultantes de pesquisas sobre efeitos do ruído realizadas em países com clima frio, cujas características e necessidades são outras. Os estudos desenvolvidos em tais países lhes permitiram definir medidas de controle da poluição sonora, bem como métricas de avaliação de incômodo adequadas ao seu contexto social, tecnológico e econômico. Estas são, portanto, inadequadas aos países com clima tropical, como o Brasil.

Na Europa e nos EUA o planejamento aeroportuário é realizado mediante a prática de consultas públicas. Todos os indivíduos ou empresas que possam, de algum modo, estar interessados na implantação, ou desenvolvimento de um aeroporto, são convidados a participar dessas consultas. São realizados programas de capacitação e

esclarecimento da população de modo que ela possa compreender os métodos de avaliação de incômodo e as conseqüências das ações propostas. Na compra e venda de imóveis situados na área receptora crítica, o adquirente deve tomar ciência do nível de ruído ao qual estará submetido. Estes fatos espelham o conceito de que uma política de transparência aumenta a aceitação pública com relação à implementação das medidas de controle necessárias.

De modo contrário, na área residencial objeto de estudo, observa-se claramente a intenção de omitir, durante a venda de imóveis, a situação local. Diversos apartamentos estão à venda e, numa entrevista a um corretor de imóveis, simulando o interesse em adquirir uma unidade residencial, diversas perguntas sobre a possibilidade de incômodo, devido às aeronaves que sobrevoavam a área em baixa altitude, foram respondidas de modo a encobrir a situação real.

A metodologia proposta ainda precisa ser aperfeiçoada. A modelagem do sistema ambiental, cuja adequação foi testada, poderia ser muito facilitada se, através da utilização do *simulink* (Matlab), fosse criado um pequeno programa. Este programa seria a base para a avaliação do ambiente sonoro em grupos de edificações consideradas sensíveis ao ruído em função do tipo de uso a que se destinam, das semelhanças em relação as suas características construtivas e da sua inserção no interior de curvas de ruído representativas de um mesmo nível de exposição sonora.

A inclusão de outras variáveis, tais como o temor da queda de aeronaves e da desvalorização de imóveis, campo sonoro, transmissão lateral do ruído pelo solo, absorção do ruído pelo solo, relação custo-benefício e dimensão da população sob risco de danos à saúde, não abordadas neste trabalho, poderia ser uma próxima meta. O algoritmo proposto para a variável “vento” deveria ser aperfeiçoado, incluindo a influência da velocidade do vento na propagação sonora, pois em determinadas situações esta variável poderá ser importante. A criação dos modelos *fuzzy* para as demais edificações receptoras críticas (Colégio Estadual Vicente Jannuzzy e o Bosque da Barra) e o desenvolvimento do sistema mais amplo, abrangendo todos os ambientes analisados, conforme mencionado no Capítulo 5, seria um novo desafio, devendo-se considerar:

- No Colégio: O ruído de aeronaves não interfere no desempenho da maioria dos alunos. O ruído interno decorrente da desordem escolar e da falta de inspetores

preocupa professores e alunos. A fome no lar e a esperança de saciá-la com a merenda escolar, nunca presente na escola, pode ser um fator influente na relação aluno-escola, assim como o calor excessivo e ventiladores quebrados ou em mal estado, gerando ruídos e desordem interna que mascaram o ruído de aeronaves. Portanto, a preocupação com o aprendizado pode estar em segundo plano. Todas essas questões merecem ser melhor investigadas.

- No Bosque da Barra: o ruído de aeronaves não interfere no desempenho de atividades da maioria das pessoas que praticam esportes, mas acarreta forte incômodo aos pesquisadores e funcionários do parque que permanecem no local por 8 horas diárias. Deste modo, uma vez que esta é uma área de proteção ambiental, os efeitos do ruído sobre a fauna, deveriam ser considerados numa avaliação futura. Com efeito, pesquisadores como o Prof. Carlos Miller da Fundação Oswaldo Cruz, em recente comunicação pessoal, e McSHHEHY (1976), estudioso do comportamento de animais, concordam que o ruído poderá interferir no comportamento dos animais, provocando *stress*, interferindo no seu comportamento sexual e na sua capacidade reprodutora.

A história da Barra da Tijuca denuncia a inexistência de preocupação em compatibilizar o desenvolvimento o uso do solo com o desenvolvimento aeroportuário, resultando no comprometimento da permanência do aeroporto no local ou limitando a sua expansão. Observe que o Aeroporto de Jacarepaguá foi implantado no início do século XX, como um simples campo de pouso em uma área de difícil acesso. Todavia, segundo a Câmara Comunitária da Barra da Tijuca, inúmeras manifestações públicas já foram realizadas devido a discordância a cerca da ampliação do Aeroporto, pelos seguintes motivos:

- “1) Hoje, em todo o mundo, por razões ambientais e por segurança, transferem-se os aeroportos dos centros urbanos;
- 2) Em nosso próprio país, os novos aeroportos foram construídos fora dos centros urbanos. Ex.: Guarulhos, Galeão, Confins e outros.
- 3) O Aeroporto Tom Jobim encontra-se em sub-uso.
- 4) A ligação da Barra ao Galeão ou Santos Dumont normalmente é feita em menos de 40 minutos.
- 5) A projeção de crescimento da ocupação urbana para a Barra da Tijuca coloca o Aeroporto de Jacarepaguá (na verdade um Aeroclube) numa das zonas de maior densidade”.

Conforme as recomendações da OACI, a que já nos referimos no corpo do texto, as áreas próximas às cabeceiras de pistas de pouso e decolagem são apropriadas para a implantação de vias de circulação de automóveis, determinados tipos de parques, dentre

outros usos do solo. Os usos residencial, educacional e hospitalar são inadequados nessas áreas.

Todavia, a partir da análise das curvas de ruído relativas ao Plano Básico de Zoneamento de Ruído, constata-se a presença de residências e de escolas em áreas proibidas pela Portaria 1141-GM5/87 do Ministério da Aeronáutica. Caso fosse elaborado um Plano Específico de Zoneamento de Ruído, o traçado das curvas isofônicas com o INM, em  $L_{DN}$ , tornaria o uso do solo compatível com a Legislação Aeronáutica em vigor, mas não reduziria o número de pessoas expostas a níveis sonoros superiores aos recomendados por órgãos internacionais respeitados, tais como a *Environmental Protection Agency* e a *World Health Organization (WHO)*. Com efeito, embora áreas residenciais, escolas e hospitais estejam situados fora da curva de ruído  $L_{DN}$  65 dB (A), estão submetidas a níveis sonoros superiores a  $L_{DN} = 55$  dB(A) e  $LA_{eq} = 55$  dB(A).

Observe que, de acordo com a *World Health Organization* (1999), para proteger a maioria das pessoas de serem altamente incomodadas, o nível de pressão sonora deveria ser inferior a  $LA_{eq} = 55$  dB(A) em terraços, varandas e áreas externas, para o caso de ruído contínuo.

A comparação das curvas isofônicas traçadas em  $LA_{eq}$  permite constatar a inadequação do uso do solo em relação aos níveis sonoros preconizados pela NBR 10151/2000 e pela Legislação Municipal relativa à poluição sonora.

Em 1999 a *World Health Organization* nos assinalava que a estrutura política governamental é a base da gestão de ruído. Sem uma adequada estrutura política e adequada legislação é difícil manter um programa de gestão de ruído bem sucedido. A estrutura legal é necessária para fornecer um contexto para a gestão do ruído. Contudo, no caso em questão, pelo exposto, constata-se a incompatibilidade entre a Legislação Aeronáutica, o Zoneamento Urbano e a Legislação Municipal relativa à poluição sonora.

A Portaria 1141-GM5 define uma área III, externa à curva de ruído  $L_{DN} = 65$  dB(A), na qual pode haver um grande percentual de pessoas altamente incomodadas. Para agravar ainda mais essa situação, a cada dia surgem novos empreendimentos residenciais em zona proibida pela Portaria 1141/GM5, mas permitida pelo zoneamento

urbano. Conforme se verifica *in loco*, está sendo iniciada a construção de um novo condomínio no interior da curva de ruído 2, sob a rota de pouso e decolagem de aeronaves. Assim sendo, o número de receptores críticos habitando o entorno do aeroporto em breve estará aumentado.

As residências avaliadas se encontram na rota de aeronaves. Observa-se que segundo a Portaria Nº 18 – GM5/1974 – que aprova as Instruções para Operação de Helicópteros, a altitude mínima de helicópteros, exceto em operações de pouso e decolagem, deveria ser:

- “- sobre cidades, vilas, povoados ou aglomerações de pessoas a céu aberto: 300 m acima do obstáculo mais alto existente dentro de um raio de 600 m em torno da aeronave;
- sobre outras áreas, que não as citadas, em altura nunca inferior a 150 m acima do solo ou água”.

A partir da carta de rotas especiais para helicópteros constata-se que a altitude mínima durante o sobrevôo deve ser de 500’ (=165 m). Pela carta de rotas de aviões verifica-se que a altitude mínima de aviões no corredor aéreo sobre o oceano (Corredor Bravo) deveria ser 2000’ (660 m).

Contudo, observa-se no local que os pilotos não respeitam essas determinações, sobrevoando as áreas residenciais em altitudes muito próximas àquelas em que se situam as coberturas dos edifícios multifamiliares.

Observe que o Subsistema Funcional resultou basicamente do nível de adequação acústica da implantação do conjunto residencial ( $U_{16,17}$ ) e do nível de adequação do uso do solo em relação à legislação ( $U_{18,19}$ ). Este subsistema obteve a pior nota, sofrendo forte influência do nível de adequação acústica da implantação da edificação devido à trajetória de aeronaves ( $U_{16}$ ).

Infelizmente, no domínio da aviação de pequeno porte, não há procedimentos normalizados de medidas de ruído ambiente. Mais ainda, não se dispõe sequer de meios simples de identificação de aviões. Nem mesmo radares são utilizados para a identificação de trajetórias das aeronaves e verificação sobre o cumprimento das recomendações de vôo. Neste quadro torna-se difícil comprovar os desvios de trajetórias e punir pilotos infratores.

Em nosso estudo, mencionamos que procedimentos visuais não são tão precisos e que o impacto sobre a população pode ser reforçado quando a aeronave não voa sempre sobre os mesmos lugares, pois um sobrevôo inesperado é muito estressante para



as pessoas. No que convergimos com o estudioso Michel Vallet, pesquisador do Instituto de Pesquisa em Segurança de Transportes da França.

Na área em questão, existe uma importante contribuição das frotas de aeronaves pertencentes a aeroclubes e escolas de aviação para o incômodo sonoro, pois são necessárias várias horas de treinamento (e vários pousos e decolagens) para que os pilotos estejam capacitados a voar. Os pousos e decolagens durante os fins de semana são freqüentes. Nesses dias, desde as 6:00 da manhã, o ambiente sonoro se caracteriza por um ruído constante, como o de “um mosquito que zumbe o tempo inteiro no ouvido de um indivíduo que tenta dormir”. Em determinados momentos as aeronaves pousam seqüencialmente, em outros os intervalos são maiores. O tráfego de veículos nas vias internas ao condomínio é muito pequeno. Assim, na ausência de aeronaves, o ruído de fundo é baixo, principalmente nas primeiras horas do dia. Essa diferença entre o ruído intrusivo (de aeronaves) e o ruído ambiente torna o ambiente incômodo.

Observe que na análise do sistema *fuzzy* (Figura 1), após o subsistema funcional, a pior nota foi a relativa ao sistema físico. Tal fato se deve, basicamente à grande diferença entre o ruído ambiente e o ruído intrusivo. Veja que a variável de entrada  $U_{13}$ , correspondente ao Nível de adequação do ruído intrusivo devido ao sobrevôo de aeronaves, em relação ao nível de ruído ambiente, recebeu como nota o valor 0,984 num universo de discurso situado no intervalo  $[0,10]$ , conforme se pode verificar no Capítulo 5.

Além disso, conforme menciona o *Conseil National du Bruit* no já aludido relatório, a idade média dos aviões de pequeno porte, atualmente em operação em todo o mundo, gira em torno de 32 anos, havendo uma renovação da frota muito lenta. Em geral, estas aeronaves não dispõem de silenciadores e o custo para adicionar-lhes tais dispositivos é elevado.

Considera-se, pois, que a otimização das rotas de aeronaves deveria ser estudada, bem como a criação de um programa de educação de pilotos com o objetivo de conscientizá-los da importância de respeitarem as áreas mais sensíveis ao ruído. Pontos de referência no solo poderiam ser utilizados para orientar pilotos sobre a existência de áreas sensíveis, que devem ser evitadas. Ou mesmo, de modo contrário, pontos de referência que determinam as rotas a serem seguidas.

Contudo, existem casos extremos onde não é possível alterar as rotas. Nestas condições excepcionais, é recomendável estudar a viabilidade de um programa de isolamento sonoro das fachadas das edificações existentes mais sensíveis ao ruído, situadas no interior da curva  $L_{DN} = 55$  dB(A), e que foram construídas antes da publicação da Portaria 1141 GM5/87, e assim não incorporam estes aspectos nos seus cadernos de encargos de construção. No mesmo sentido, as edificações situadas no interior do Parque Arruda Câmara destinadas às atividades dos biólogos e funcionários da administração, também deveriam ser beneficiadas por este programa. Este procedimento se baseia na constatação da fragilidade da qualidade acústica das fachadas e no grande percentual de incomodados nas áreas residenciais. Observa-se na Figura 1 que a nota 3,9, atribuída ao subsistema ambiente urbano sofreu influência da qualidade acústica do envelope da edificação.

Entretanto, embora programas como este sejam adotados por vários países, apresentam custo elevado e nem sempre apresentam o resultado esperado. Uma vez que não há informação sobre as influências relativas da exposição sonora interna e externa no incômodo em comunidades vizinhas a aeroportos, não está claro se a criação de um “santuário acústico” no interior da habitação reduz o incômodo na comunidade em proporção direta à redução do nível sonoro interno, é o que sustentam FIDELL *et al* (1990).

Na área objeto de estudo, a proibição da construção de novas edificações sensíveis ao ruído na rota de aeronaves poderia ser um meio mais efetivo de possibilitar a expansão do aeroporto compatível com o uso do solo em longo prazo. Nesse sentido, convém ressaltar a importância da criação de um programa de capacitação de profissionais que atuam nos departamentos de licenciamento e fiscalização autorizando a construção de edificações em áreas urbanas. Este programa teria por objetivo lhes proporcionar condições de identificar se os projetos devem ou não ser encaminhados ao Comando da Aeronáutica para, então, serem submetidos à aprovação do Departamento de Aviação Civil.

Urge desenvolver a legislação brasileira aplicada ao controle de ruído aeronáutico e estabelecer critérios para a realização de diagnóstico ambiental sonoro da

atividade aeroportuária, tendo em vista as discrepâncias observadas entre a Legislação Municipal e a Legislação Aeronáutica.

Uma outra questão importante refere-se às discussões ainda existentes sobre as métricas de avaliação de incômodo mais apropriadas, sobre a necessidade de considerar o número de eventos nessas métricas, sobre o filtro mais apropriado (A ou C), sobre como considerar na avaliação de incômodo as condições geográficas locais e os efeitos psicológicos do ruído.

Observamos, entretanto, que a definição da métrica a ser adotada irá depender do porte do aeroporto. No caso de grandes aeroportos, o uso do  $L_{DEN}$  ou  $L_{DN}$  é aceito internacionalmente. Todavia, no que tange a pequenos aeroportos, ainda é necessário realizar pesquisas sobre a métrica a ser empregada, pois ainda não há consenso sobre o assunto. Considera-se que o movimento noturno é pequeno, portanto a ponderação do nível sonoro neste período é desnecessária. O Conselho Nacional do Ruído francês, no relatório dedicado ao ruído emitido por pequenos aviões, acredita que o  $L_{Amax}$  (Nível sonoro máximo equivalente, ponderado na escala A) pode ser adequado já que o ruído intrusivo é intermitente. Neste momento, o que podemos afirmar é que ainda é necessário realizar pesquisas mais profundas sobre a métrica a adotar e que a criação de uma métrica que pondere os sábados e domingos pode ser apropriada, já que estes, de modo geral, são os dias em que há maior movimento de aeronaves.

Assim sendo, a nova legislação brasileira deveria apresentar critérios específicos para a realização de diagnósticos ambientais sonoros em função do porte do aeroporto, contemplando as métricas que devem ser adotadas em cada caso.

Uma última questão deve ser ressaltada, trata-se da necessidade de envolver os diversos interessados no processo de planejamento aeroportuário e informar de modo transparente as medidas que estão sendo adotadas para minimizar os impactos ambientais decorrentes das atividades aeroportuárias. Seria fundamental fornecer aos moradores da área o conhecimento básico que lhes permitisse compreender a situação local e os critérios de controle de ruído que estão sendo empregados, a exemplo do que vem sendo feito internacionalmente.

Quando o problema ambiental a ser mitigado é, por exemplo, o ruído provocado por uma atividade, é difícil para o planejador decidir sobre o grau de impacto por ela

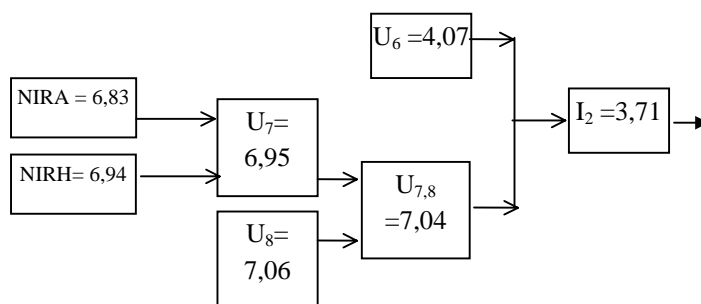
provocado quando tantas outras fontes sonoras atuam simultaneamente em meio urbano e quando existem múltiplos interesses envolvidos. Não basta apenas avaliar do ponto de vista técnico, é preciso que a comunidade seja ouvida. É preciso conhecer suas aspirações, suas necessidades e identificar os múltiplos choques de interesses porventura existentes.

A APO Acústica e a decomposição do Sistema Ambiente Sonoro em subsistemas são excelentes meios de conhecer detalhadamente as inter-relações entre as diversas variáveis que caracterizam uma determinada área. Além disso, os questionamentos realizados à população receptora crítica despertam a atenção para uma situação com que as pessoas

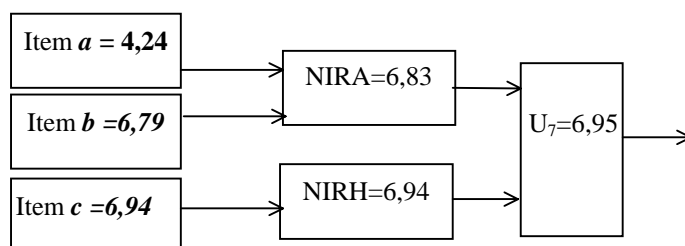
convivem sem poder externar seus anseios. Através da APO Acústica, pode-se perceber o sentimento das pessoas em relação a presença do aeroporto. Muitos utilizam o espaço do questionário relativo à questão "existe algo que você gostaria de acrescentar?" como uma forma de expressar um sentimento de impotência diante de uma situação imposta e desconhecida.

Declarações como “são verdadeiras motocicletas voadoras” ou “são caminhões voadores” expressam claramente a qualidade do ambiente sonoro na visão do morador entrevistado.

A grande subjetividade e a importância das variáveis não acústicas envolvidas na sensação de incômodo, também podem ser constatadas, tendo em vista que, embora não circulem aeronaves de grande porte no aeroporto devido ao tamanho da pista (900 m), o ruído emitido por “aviões grandes” provoca forte incômodo em 34% da população.



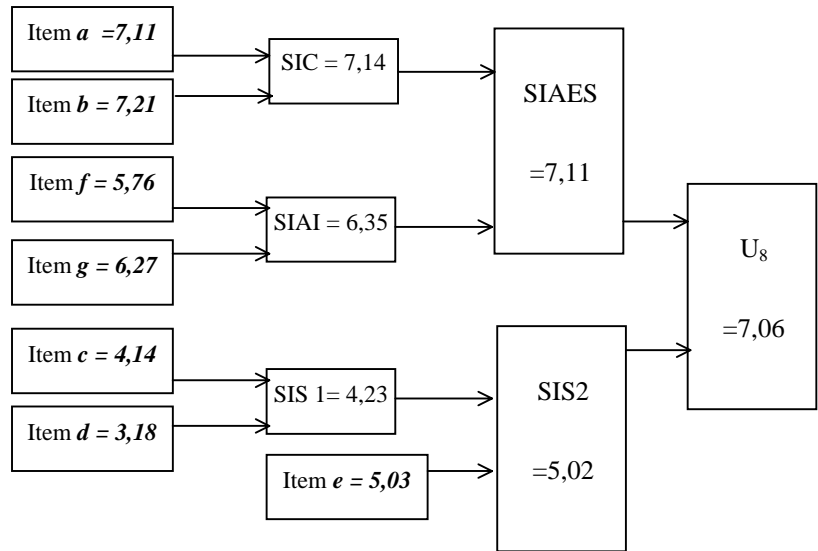
**Fluxograma 6.2.** Fluxograma representando as variáveis de entrada que originaram o Nível de adequação acústica, em relação ao subsistema comportamental.



**Fluxograma 6. 3.** Fluxograma apresentando os valores relativos aos itens a,b e c da questão 2 do questionário e a variável U7 que representa o nível de incômodo decorrente do ruído aeronáutico.

Considerando a análise *fuzzy*, no intervalo [0,10], o nível de interferência do ruído rodoviário no desempenho de atividades ( $U_6$ ) é 4,07, apresentando pequena contribuição sobre o nível de adequação acústica do ambiente, em relação ao Subsistema Comportamental ( $I_2$ ).

A grande contribuição para a nota de  $I_2$ , correspondente a 3,71 deve-se às variáveis de entrada  $U_7$  e  $U_8$ , conforme pode ser visto na Figura 2. Observe que quanto maior o valor de  $U_6$ ,  $U_7$  e  $U_8$ , maiores serão os níveis de interferência devido ao ruído rodoviário e aeronáutico e maior será o nível de incômodo decorrente



**Fluxograma 6.4.** Nível de interferência do ruído emitido por aeronaves no desempenho de atividades.

do ruído aeronáutico. Conseqüentemente, menor será o nível de adequação acústica do ambiente, relativo ao subsistema comportamental ( $I_2$ ).

**Tabela 6.1.** Nível de Incômodo devido ao ruído emitido por aeronaves ( $U_7$ )

		Nível de incômodo devido ao ruído de aviões (NIRA)	Nível de incômodo devido ao ruído emitido por aeronaves ( $U_7$ )
a) Nível de incômodo devido ao ruído emitido por aviões grandes	4,24	6,83	<b>6,95</b>
b) Nível de incômodo devido ao ruído emitido por Aviões pequenos	6,79		
c) Nível de incômodo devido ao ruído emitido por Helicópteros (NRIH)	<b>6,94</b>	<b>6,94</b>	

Na Tabela 6.1 e nos Fluxogramas 6.2 e 6.3, verifica-se que o nível de incômodo devido ao ruído de aeronaves ( $U_7 = 6,95$ ) deve-se principalmente aos helicópteros e pequenos aviões.

De outro modo, a variável nível de interferência do ruído de aeronaves no desempenho de atividades ( $U_8 = 7,06$ ), conforme pode ser visto na Tabela 6.2 e no Fluxograma 6.4, teve como influência principal o nível de interferência na comunicação

(SIC = 7,14) e nível de interferência no desempenho de atividades intelectuais (SIAI = 6,35).

Observe que os despertares noturnos correspondem aos menores níveis de interferência nas atividades, seguidos pelo nível de interferência no adormecer. O sono é prejudicado principalmente nas primeiras horas da manhã, confirmando as observações realizadas no local.

Conforme mencionado no Capítulo 5, os algoritmos das variáveis  $U_6$ ,  $U_7$  e  $U_8$  se encontram no Apêndice 3.

**Tabela 6.2.** Nível de interferência nas atividades devido ao ruído de aeronaves ( $U_8$ )

		Nível de interferência na comunicação (SIC)	Nível de interferência nas atividades intelectuais (SIAI)	Nível de interferência no sono 1 (SIS 1)		Nível de interferência nas atividades $U_8$
a) Nível de interferência ao falar ao telefone	7,11	7,14	-	-	Nível de interferência nas atividades exceto o sono SIAES = 7,11	7,06
b) Nível de interferência ao assistir TV	7,21					
f) Nível de interferência na leitura	5,76	-	6,35	-		
g) Nível de interferência na concentração	6,27					
c) Nível de interferência ao adormecer	4,14	-	-	4,23	Nível de interferência no sono 2 SIS 2 =5,02	
d) Nível de interferência no despertar noturno	3,18					
e) Nível de interferência no despertar matinal	5,03	-	-	-		

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Avaliação Pós-Ocupação Acústica demonstrou ser uma ferramenta importante para o desenvolvimento do diagnóstico ambiental sonoro de uma área circunvizinha a um pequeno aeroporto. Permitiu conhecer as aspirações dos diversos atores sociais envolvidos na gestão do ruído e possibilitou identificar as variáveis que compõem o sistema ambiente sonoro, oferecendo subsídios para o desenvolvimento de um modelo *fuzzy*, baseado em dados objetivos e subjetivos, que resultou em um nível de adequação acústica para a área objeto de estudo.

De modo geral, pode-se constatar que a legislação aeronáutica de poluição sonora não chega a proteger completamente a população circunvizinha a aeroportos. Este fato decorre, principalmente, das limitações tecnológicas e econômicas. No Rio de Janeiro, os níveis critérios adotados na legislação municipal relativa à poluição sonora

estão estabelecidos em padrões próximos àqueles preconizados pela Organização Mundial de Saúde. Contudo, a legislação aeronáutica oferece uma proteção parcial.

O incômodo no entorno do Aeroporto de Jacarepaguá, deve-se principalmente à implantação das edificações residenciais sob a rota de aeronaves e às irregularidades cometidas por pilotos quanto ao respeito às altitudes de vôo. A alteração da rota de aeronaves, se possível, seria uma medida pertinente. Entretanto, requer uma análise cuidadosa para que o incômodo não seja transferido para outros locais sensíveis, principalmente, para as áreas residenciais de Jacarepaguá, onde já existe uma rota de helicópteros.

No entorno deste pequeno aeroporto, a exemplo do observado em outros países, a atividade aeronáutica é mais intensa principalmente no verão e em dias ensolarados, quando o céu claro contribui para a realização de vôos visuais, para atividades das escolas de pára-queda, para os treinamentos de pilotos e os vôos de empresas de propagandas aéreas que seguem em direção à praia, gerando incômodo e interferindo na comunicação e no desempenho de atividades intelectuais.

A ausência de infra-estrutura e de instrumentos de apoio ao vôo acarreta uma desordem no espaço aéreo que contribui para todo esse quadro. Estes fatos explicam a baixa nota atribuída a Ig, demonstrando que um pequeno aeroporto pode ser muito incômodo para a população circunvizinha, chegando a interferir no desempenho de atividades.

O planejamento ambiental e a gestão do uso do solo, ainda na fase de implantação do aeroporto, quando as áreas próximas ainda estão desocupadas poderá ser de grande valia. Possibilitará a expansão do aeroporto, numa relação harmônica com a sua circunvizinhança. A gestão do ruído deverá levar em consideração as variáveis tecnológicas e econômicas, sem perder de vista que danos à saúde da população podem representar externalidades, cujo ônus deverá recair sobre aqueles beneficiados economicamente pelas atividades aeroportuárias, não sobre o cidadão comum.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEROPORTO DE JACAREPAGUÁ. *Jornal O Globo*, Rio de Janeiro, 11/02/2004.  
Disponível em: <http://www.arquivoglobo.globo.com>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2004.
- AEROPORTO DE JACAREPAGUÁ. *Infraero*. Disponível em: <http://infraero.gov.br>.  
Acesso em: 20 de Março de 2003.
- ALVA, E.N. “Qualidade ambiental urbana”. In: *Anais do Encontro Nacional de Conforto no ambiente Construído*. FAUFBA/LACAN-ANTAC, pp. 67-71, Salvador, BA, 1997
- AUTORITÉ DE CONTROLE DES NUISANCES SONORES. *Zones Du Bruit*.  
Disponível em: <http://www.acnusa.fr>. Acesso em: 27 de Maio de 2003.
- \_\_\_\_\_. *Plan de gêne sonore PGS*. Disponível em: <http://www.acnusa.fr>. Acesso: em 27 de Maio de 2003.
- \_\_\_\_\_. *Plan d'exposition au bruit PEB*. Disponível em: <http://www.acnusa.fr>. Acesso em: 27 de Maio de 2003.
- \_\_\_\_\_. *Classification acoustique des avions*. Disponível em: <http://www.acnusa.fr>. Acesso em: 27 de Maio de 2003.
- \_\_\_\_\_. *Nouvelles recommandations. Rapport d'Activité, 2001*. Disponível em: <http://www.acnusa.fr>. Acesso em: 30 de Junho de 2003.
- \_\_\_\_\_. *Récapitulatif des recommandations générales. Rapport d'Activité, 2002*. Disponível em: <http://www.acnusa.fr>. Acesso em: 30 de Junho de 2003.
- ADAS, M., 1980, *Panorama geográfico do Brasil: Aspectos Físicos, humanos e econômicos*. Ed. Moderna, Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, J.R. de, ORSOLON, A.M., MALHEIROS, T. *et al*, 1993, *Planejamento Ambiental. Caminho para participação popular e gestão ambiental para nosso futuro comum. Uma necessidade, um desafio*. Rio de Janeiro, Thex. Editora: Biblioteca Universidade Estácio de Sá.
- AMERICAN NATIONAL STANDARD. *Method for the calculation of the absorption of sound by the atmosphere*. Acoustical Society of America, New York, 1978 (ANSI S1. 26-1978 /ASA 23-1978).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Avaliação de ruído em*



- áreas habitadas visando o conforto da comunidade*. Rio de Janeiro: Forum Nacional de Normalização, 1987 (NBR 10151).
- \_\_\_\_\_. *Avaliação de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade*. Rio de Janeiro: 2000 (NBR 10151).
- \_\_\_\_\_. *Níveis de ruído para conforto acústico*. Rio de Janeiro: Forum Nacional de Normalização, 1987 (NBR 10152).
- \_\_\_\_\_. *Critérios de ruído para recintos internos das edificações submetidas ao ruído aeronáutico*. Rio de Janeiro: Fórum Nacional de Normalização, 1991. (NB 1398 - NBR 12 314)
- \_\_\_\_\_. *Poluição Sonora. Terminologia Brasileira*. Rio de Janeiro, 1973 (TB-143).
- \_\_\_\_\_. *Tratamento acústico em recintos fechados*. Rio de Janeiro, 1992 (NBR 12179).
- \_\_\_\_\_. *Acústica em edificações. Terminologia Brasileira*. Rio de Janeiro, 1989 (TB-355).
- BARING, J.G. “Isolação sonora de paredes e divisórias”. In: *Tecnologia de Edificações. Projeto de divulgação tecnológica*. São Paulo: Ed. Pini/IPT, pp. 429-434, 1988.
- BASSETTI ARCHITECTS. “History of Barney-Davis Hall”. Disponível em <http://www.newhorizons.org>. Acesso em 2001.
- BECHTEL, R. B. , 1997, *Environment and Behavior – an introduction*. California, SAGE Publications, Inc.
- BELLMAN, R.E. & ZADEH, L.A. “Decision making in a fuzzy environment”. In: *Management Science*, v.17. n° 4, pp. B141-B164, December, 1970.
- BERANECK, L., 1971, *Noise And Vibration Control*. New York, Mac Graw Book Company.
- BERENDT, R., CORLISS. E L., 1976, *Quieting: A Pratical Guide to Noise Control*. Washington, National Bureau of Standards.
- BEZDEK, J. *Fuzzy Models - What are they and why?* In: Robert J. Marks, (Ed), *Fuzzy logic technology and applications*. IEE Technology update series, p. 3-7, 1993.
- BRASIL. *Portaria nº 1141/GM5, de 8 de dezembro de 1987*. Publicada no Diário Oficial da união, seção 1, de 9 de dezembro de 1987.
- \_\_\_\_\_. *Portaria MAer nº13, de janeiro de 1994*. Ministério da Aeronáutica. Publicada no Diário Oficial da União de 07 de Janeiro de 1994.
- \_\_\_\_\_. *Portaria MDef nº 717, de 04 de novembro de 1999*. Ministério da Defesa

- Publicada no Diário Oficial da União de 24 de novembro de 1999.
- \_\_\_\_\_. *Portaria MAer nº18, de 14 de fevereiro de 1974*. Ministério da Aeronáutica. Publicada no Diário Oficial da União de 14 de fevereiro de 1974.
- \_\_\_\_\_. *Código Brasileiro de Aeronáutica (CBA)*. Lei Nº 7565, de 19 de dezembro de 1986.
- \_\_\_\_\_. *Lei nº 6938, de 31 de Agosto de 1981*, Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências.
- BOTTELDOOREN, D. “Noise limits: A fuzzy set theoretical approach”. In: *Noise control engineering*, v. 51, nº5, September-October, 2003
- BROWN, B; WRIGH, H.; BROWN, C. “A post-occupancy evaluation of wayfinding in a pediatric hospital: Research findings and implications for instruction”. In: *Journal of Architectural and Planning Research*, p. 35-41, 1997.
- BRÜEL, P.V. “Noise evaluation of small airfields”. In: *Noise Control Engineering*, v. 47, nº 4, pp. 125-132, August, 1999.
- BURSZTYN, M.A.A., 1994, *Gestão Ambiental: Instrumentos e práticas*. Brasília, IBAMA.
- CAVALCANTI , A.C.R. “Indicadores urbanos para o desenvolvimento sustentável: o caso do litoral norte de Maceió”. In: *Anais do VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. ANTAC, Bahia, Salvador, pp. 154-176, 2000.
- CENTRE D’ASSISTANCE TECHNIQUE ET DOCUMENTATION (CATED)., 1987, *L’Acoustique. Isolation et correction acoustique. Bruit aérien, -bruit d’impact, bruits d’équipement*. 2ª ed., Paris, Publications du Moniteur.
- CENTRE D’ETUDES DES TRANSPORTS URBAINS (CETUR)., 1978, *Le bruit et la ville*. France, Direction Départementale de l’Equipement de Monselle.
- \_\_\_\_\_. *Bruit et Formes Urbaines - Propagation du Bruit Routier dan les Tissus Urbains*. France, Ministère de l’Urbanisme et du Logement, 1981.
- CENTER FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). *Overview of EPI Info 2002*. Disponível em <http://www.cdc.gov/epiinfo>. Acesso em 2002.
- CHENG, L. Y ; GIUNTA, M.A.B. “Integral Nebulosa Aplicada à Análise do posto de trabalho do aluno em laboratório de ensino de desenho”. In: *Anais eletrônicos do ENCAC*. São Pedro, SP, 2001.

- CHENG, L. Y. “Informações Subjetivas no Estudo do Conforto Ambiental: Uma introdução às abordagens baseadas na Teoria de Sistemas Nebulosos”. In: *ENCAC-Mini-curso*, São Pedro, SP. 2001,
- CHRISTOFOLETTI, A., 1999, *Modelagem de Sistemas Ambientais*. 1ªed. São Paulo, Ed. Edgard Blücher Ltda.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. *Resoluções Conama -1984/1990*. Brasília, IBAMA, 1990.
- \_\_\_\_\_. *Resolução Conama nº4* – de 9 de outubro de 1995 Brasília.
- CONSEIL NATIONAL DU BRUIT, 2002, *Bruit de l'Aviation Légère*. Rapport du Groupe de travail. France. Disponível em <http://www.ecologie.gouv.fr>. Acesso em: outubro de 2004.
- COSTA NETO, P.L.O., 2002, *Estatística*. 2ª ed., São Paulo, Edgard Blücher.
- CREMONESI, J.F.C. “Ruído urbano – Natureza, medição e controle”. In: *Tecnologia de edificações. Projeto de divulgação tecnológica*. São Paulo: Ed. Pini/IPT, 1988, pp. 447-452.
- DAVIDOFF, P., 1998, “Advocacy And Pluralism in Planning”. In: Scott Campbell and Susan Fainstein Readings, (Eds), *Planning Theory*, chapter 14, Blackwell Publishers.
- DEAN, A .G. DEAN, J.A . BURTON et al. *Epi info, Version 5: a word processing, database, and statistics program for epidemiology on microcomputeres*. Moutain, Georgia, USD, Incorporatd, Store, 1990.
- DIRECTION GÉNÉRALE DE L'AVIATION CIVILE (DGAC), 2000, *Argumentaire: Aerodromes et environnment*. France.
- D'OLIVEIRA, M.M.H., 1984, *Ciência e pesquisa em psicologia. Temas básicos de psicologia*. Vol.3, São Paulo, Ed. Pedagógica e Universitária.
- DUNAYEVSKY, L. V. “Indices of collective urban noise load on populations: Their use for design and fees-setting”. In: *Building Acoustics*, pp. 67 – 79, 1997.
- ELALI, G.A., 1997, “Estudos de Psicologia. Em busca do logus disciplinar”. In:\_\_\_\_\_. *Psicologia e Arquitetura*. Natal, EDUFRN, p. 349 –362.
- ESHELMAN, M.P et al. 1981, *Albuquerque high school: A post-occupancy evaluation*. Albuquerque, New Mexico, School of Architecture and Planning.
- EUROPEAN PARLAMENT, “A política do ruído: O Livro Verde”. *European Parliament in the internet*. Disponível em <http://www.europarl.eu.int>. Acesso em

08/11/2004.

- FAINSTEIN, S.S., FAINSTEIN N., 1998, "City Planning And Political Values: Na Updated View". In: Scott Campbell and Susan Fainstein, (Eds). *Readings in Planning Theory*, chapter 12, Blackwell Publishers.
- FALCOSKI, L.A.N.; BRUNA, G.C., "Plano estratégico, sustentabilidade e indicadores de desempenho urbano: novos paradigmas". In: *Anais do VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. ANTAC, Bahia, Salvador, 2000.
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION *Aviation Noise Effects*. U.S. Department of Commerce, Washington, D.C, 1985. Disponível em <http://faa.gov/avation.html>. Acesso em agosto de 2002.
- \_\_\_\_\_. *INM User's Guide*. USA, Office of Environment and Energy, 1996.
- \_\_\_\_\_. *INM Technical Manual*. USA, Office of Environment and Energy, 1997.
- \_\_\_\_\_. *Part 150 – Airport Noise compatibility Planning*, 2003. Disponível em <http://faa.gov/avation.html>. Acesso em setembro de 2004.
- FERRARI, C., 1986, *Curso de planejamento municipal integrado*. 5ª ed. São Paulo, Livraria Pioneira Editora.
- FIDELL, S., SILVATI, L. "An assessment of the effect of residential acoustic insulation on prevalence of annoyance in an airport community". In: *Journal of Acoustical Society of America*. v. 89, January, pp. 244-247, 1991.
- FIDELL, S., SILVATI, L., PEARSONS, K. "Noticeability of decrease in aircraft noise". In: *Noise Control Engineering*, v. 46, April, pp. 49-56, 1998.
- FLINDELL, I.H., MACKENZIE, A., 2000, *An inventory of current European Methodologies and procedures for environmental noise management*. In: European environment agency-Technical Report, Denmark.
- FRANÇA. *Loi N° 83-630 du 12 juillet 1983 relative à la democratization des enquetes publiques et à la protection de l'environnement (Loi Bouchardeau)*.
- \_\_\_\_\_. *Loi N° 85-696 du 11 juillet 1985 relative à l'urbanisme au voisinage des aérodromes*.
- GEIGER, P.P., SILVA, L.R.A., ALEM, A., 2001, *Mapa social da Cidade do Rio de Janeiro*. Diretoria de Informações Geográficas. Prefeitura do Município do Rio de Janeiro, IPP.
- GINN, K. B. ,1978, *Architectural Acoustics*., 2ª ed, Denmark: Bruël & Kj r.

- GIERKE, H. E.V.; KENNETH, M. E. “Effects of noise on people”. In: *Noise/News International*, pp. 67-89, Junho, 1993.
- HAINES, M.M., STANSFIELD, S., “The effects of environmental noise on school children: summary of effects and review of intervention studies”. In: *Acoustique & Techniques. Dossier: Spécial bruit et santé*. 1<sup>er</sup> trimestre, n°28, pp. 34-39, 2002.
- HAMDI, M.; LACHIVER, G., MICHAUD, F. “A new predictive thermal sensation index of human response”. In: *Energy and buildings*, v.29, Elsevier Science, p. 167-178, 1999.
- HARRIS, A.L.N.C.; LABAKI, L.C. et al. “Uma proposta de análise climática fuzzy baseada no método dos triângulos”. In: *Anais eletrônicos do ENCAC*. São Pedro, SP, 2001.
- HARRIS, A.L.N.C., 1999, *Metodologias baseadas na teoria dos sistemas nebulosos (Fuzzy Systems Theory) para o tratamento das informações subjetivas do conforto arquitetônico*. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- HEALEY, A., “Smart system could reduce helicopter noise an vibration”. In: *AIN Alerts*, July, 2004. Disponível em: <http://www.ainonline.com>. Acesso em 19 de outubro de 2004.
- HEALEY, P., 1997, *Collaborative Planning. Shaping Places in Fragmented Societies*. England, Mac Millan.
- HEALEY, P., 1998, “Planning Through Debate: The Communicative Turn in Planning Theory”. In: Scott Campbell and Susan Fainstein, (Eds), *Readings in Planning Theory*. Edited by Blackwell Publishers.
- HOCKEINSTEIN, J.B., STAVINS, R.N., WHITEHEAD, B.W., “Crafting the next generation of market-based environmental tools”. In: *Environment*.v. 39. n° 4, pp. 13-33, May, 1997.
- HUNT, M. “Management of environmental noise effects associated with sightseeing aircraft in the Milford Sound Area, New Zealand.” In: *Noise Control Engineering*, v. 47, n° 4, pp. 133-141, August, 1999.
- INFRAERO, 2002, *Plano de Desenvolvimento do Aeroporto de Jacarepaguá*. Rio de Janeiro.
- INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL (IACa), 2000, *Curso de Planejamento no Entorno*

- de Aeroportos*. Rio de Janeiro, IAC.
- INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL (IACb), 2000, *Curso de Controle de Ruído Aeroportuário*. 5<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro, TRAINAIR.
- INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL (IACc), 1998, *Informação Técnica: Introdução de operações não regulares e regulares no Aeroporto de Jacarepaguá*. Rio de Janeiro: IAC.
- ISO 1913/1- *Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere*, 1996
- ISO 1913/2 - *Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General Method of calculation*, 1996
- JANG, J.S.R.; GULLEY, N., 1997, *Matlab: Fuzzy Logic Toolbox. User's guide*. Versão 1. : United States, MathWorks.
- KAUFMAN, J.L.; JACOBS, H.M., 1998, “A public planning perspective on strategic planning”. In: Edited by Scott Campbell and Susan Fainstein,(Eds), *Readings in Planning Theory*. chapter 15, *Blackwell Publishers*, p.324-334.
- KERNOHAN, D., GRAY,J., DAISH,J. *et al.*,1996, *User participation in building design and management*. Londres, British Library.
- LINDBLOM, C.E. , 1998, “The science of muddling throug”. In: Scott Campbell and Susan Fainstein, (Eds). *Readings in Planning Theory*, chapter 13, Blackwell Publishers.
- MACEDO, M.R.V, SLAMA, J.G. et al. “Building diagnostics: research findings related to acoustic post-occupancy evaluation in tropical climate”. In: *Buildings Acoustics*. V.8, n° 8, pp. 213-222, 2001.
- MACEDO, M.R.V., SLAMA, J.G et al. “Acoustical post-occupancy evaluation applied to popular habitations in humid tropical climate”. In: *Anais eletrônicos do INTERNOISE*, Nice, França, 2000.
- MACEDO, M.R.V. 1999. *Avaliação Pós-Ocupação Acústica de Habitações Populares*. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: FAU/UFRJ, 1999.
- MACEDO, M.R.V., SLAMA, J.G., VIDAL, M.C. et al. “Aplicação da Teoria de Sistemas Nebulosos na Avaliação do Ambiente Sonoro no Entorno de Aeroportos Situados em Áreas Urbanas”. In *Anais eletrônicos do II SIBRAMA*. Rio de Janeiro, RJ, 2002.

- MACKENZIE, L.D., CORNWELL, D.A., 1991, *Introduction to environmental engineering*. 2ª ed. New York, International edition - McGraw-Hill, Inc.
- MAL-ENTENDIDO E POLÊMICA EM TORNO DO AEROPORTO. *Jornal O Globo*, Rio de Janeiro, 12/02/2004. Disponível em: <http://www.arquivoglobo.globo.com>. Acesso em 13/02/2004.
- McSHEEHY, T., 1976, *Control of the animal house environment. Laboratory animal handbooks* 7. London, Laboratory animals Ltd.
- MATURANA, U., VARELA, F., 1995, *Árvore do conhecimento*. Campinas, Editorial Psy.
- MEISSER, M., 1974, *L'a pratique de l'acoustique dans le batiment*. 2ª Ed. Paris, Éditions Eyrolles.
- MENDEL, J. M. "Fuzzy logic systems for engeneering: a tutorial". In: *Proceedings of the IEEE*, v. 83, nº3, March, 1995.
- MÉNDEZ, A. STORNINI, A. SALAZAR, E. et al., 1994, *Acustica Arquitectonica*. 1ª ed, Buenos Aires, Universidade del Museo Social Argentino,.
- MILL, P. A.D.; HARTKOPF, V. LOFTNESS., 1986, "Evaluating the quality of the workplace". In: Rany Weder, (Ed), *The ergonomics payoff: designing the eletronic office*. New York, Nicols Publidhing Company.
- MILLER, J. D., 1974, "Effects of noise on people". In: *Journal of Acoustical Society of America*, v. 56, pp. 112-144.
- MUZET, A. "Les effects du bruit sur le sommeil". In: *Acoustique & Techiniques. Dossier: Spécial bruit et santé*. 1<sup>er</sup> trimestre, nº28, pp.13-19, 2002.
- O MUNDO DA BARRA DA TIJUCA, JACAREPAGUÁ E RECREIO DOS BANDEIRANTES *ON LINE*. *Barra on Line*. Disponível em <http://www.barraonline.com.br>. Acesso em 6 de Janeiro de 2003.
- ORGANISATION DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE (OACI/ICAO), 1988, *Normes et pratiques recommandées internationales. Protection de l'environnement. Anexe 16. La convention relative à l'aviation civile internationale, Bruit des aéronafs*. 12ª Ed., vol. I.
- \_\_\_\_\_. *Airport Planning Manual (ICAO DOC 9184). Land Use and Environmental Control*, 4ª ed., em divulgação 2005.

- \_\_\_\_\_. *Guidance on the balanced approach to airport noise*. Final Draft, 2004.
- ORNSTEIN, S.W., 1992, *A avaliação pós-ocupação (APO) do ambiente construído*. São Paulo, Livros Studio Nobel Ltda.
- PARLEMENT EUROPÉEN. *Directive 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 Juin 2002, relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement*.
- PHILLIS, Y.A.; ANDRIANTIATSAHOLINIAINA, L.A. "Sustainability: an ill-defined concept and its assessment using fuzzy logic." In: *Ecological Economics, Elsevier Science*, v. 37, pp. 435-456, 2000.
- PORTNEY, P.R., "The growing role of economics in environmental decisionmaking". In: *Environment*. v. 40, n° 2, pp 14-38, 1998.
- PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 1996, *Manual para elaboração de projetos de alinhamento na Cidade do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, IBAM.
- \_\_\_\_\_. *Lei Complementar N°16, de 4 de junho de 1992*. Dispõe sobre a política urbana do município, institui o Plano Diretor Decenal da Cidade do Rio de Janeiro e dá outras providências.
- \_\_\_\_\_. *Lei N°3268, de 29 de agosto de 2001*. Altera a Lei N°3268, de 29 de agosto de 2001, que alterou o regulamento n° 15, aprovado pelo decreto N° 1601, de 21 de junho de 1978, e alterado pelo Decreto N° 5412, de 24 de outubro de 1985.
- \_\_\_\_\_. *Lei N°3342, de 28 de Dezembro de 2001*. Altera o regulamento n° 15, aprovado pelo decreto N° 1601, de 21 de junho de 1978, e alterado pelo Decreto N° 5412, de \_\_\_\_\_.
- \_\_\_\_\_. *Resolução SMAC N° 198, de 22 de Fevereiro de 2002*. Dispõe sobre a padronização dos procedimentos de fiscalização da poluição sonora.
- PREISER, W. F.E., RABINOWITZ, H.Z. WHITE, E. T., 1988, *Post Occupancy Evaluation*. New York, Van Nostrand Reinhold.
- RABINOWITZ, J. "Les effets physiologiques du bruit". In: *La recherche*, vol.22, pp. 178-187, Fevrier, 1991.
- ROADS AND TRAFFIC AUTHORITY (RTA), 2001, *RTA Environmental Noise Management Manual*. 1ª ed., Austrália, RTA Publication. Disponível em: <http://www.rta.nsw.gov.au>. Acesso em 19 de outubro de 2004.
- REIS, T, LAY, M. C., "As técnicas de APO como instrumento de análise ergonômica do ambiente construído". In: *ANTAC - Mini-curso*, Gramado, RS, 1995.



- RHEINGANTZ, P. A., 2000, *Aplicação do modelo de análise hierárquica Coppetec - Cosenza na avaliação do desempenho de edifícios de escritórios*. Tese de Doutorado, COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SAMBA DO AEROPORTO. *Jornal O Globo*. Rio de Janeiro, 12/02/2004. Disponível em <http://www.arquivoglobo.globo.com>. Acesso em: 13/02/2004.
- SANOFF, H. (1977), *Methods of architectural programming*. United States, Edition Hardcover.
- SCANDURRA, E., 1995, *L'ambiente dell uomo. Verso il progetto della città sostenibile*. 1ª ed. Itália, Etaslibri.
- SCHULLER, W.M., PEUTZ, V.M.A., STEVENS, A.P.P.J. *et al.*, 1981, *Contrôle du bruit en milieu industriel*. Paris, Editions Eyrolles.
- SCHULTZ, T. J. "Synthesis of social surveys on noise annoyance". In: *Journal Acoustic Society of America*, v. 64, pp. 377 – 405, 1978.
- SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE (SMAC). *A Paisagem Sonora da Cidade*. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 199-.
- SENADO FEDERAL, 1996, *Conferência das nações unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento - Agenda 21*. Brasília, Subsecretaria de Edições Técnicas.
- SHAW, E. A.G. "Noise pollution – What can be done?" In: *Physics today*, pp. 12-22, 1975.
- SHAW, E. A.G. "Noise environments outdoors and the effects of community noise exposure". In: *Noise control Engeneering*. v. 44, June, pp. 109-119, 1996.
- SHAW I. S.; SIMÕES, M.G., 1999, *Controle e Modelagem Fuzzy*. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda.
- SILVA, P., 1971, *Acústica arquitetônica*. Belo Horizonte, Edições Engenharia e Arquitetura.
- SILVA, J. A., 1997, *Curso de Direito Constitucional Positivo*. 13ª ed, São Paulo, Malheiros Editores.
- SINGLY, F. D., 1992, *L'enquête et ses méthodes: le questionnaire*. Paris, Éditions Nathan.
- SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, INC, *Standard Values of Atmospheric Absortion as a Function of Temperature and Humidity*, Aerospace Recommended Pratices ARP 866A , SAE Committee A-21 " (SAE ARP866A, Março 1975) ,

\_\_\_\_\_. *Procedure for the calculation of Airplane Noise in the Vicinity of Airports* (SAE-AIR-1845, 1986)

STANSFIELD, S.A., “ The non-auditory health effects of noise exposure”. In: *Acoustique & Techniques. Dossier: Spécial bruit et santé*. 1<sup>er</sup> trimestre, n<sup>o</sup>28, pp.5-11, 2002.

SUNKEL, O., 1981, *La Dimensión Ambiental em los Estilos de Desarrollo de América Latina*. Santiago, CEPAL.

TOBAR, F. , YALOUR, M.R., 2003, *Como fazer teses em saúde pública? Conselhos e idéias para formular projetos e redigir teses e informes de pesquisas*. 1<sup>a</sup> ed.. Rio de Janeiro, Editora Fiocruz.

*circulation. Application de l'arrêté de 1978*. Paris, Eyrolles.

UALFRIDO, D.C.; ORSTEIN, S.W. “As pesquisas de avaliação pós-uso à luz das relações sociais”. In: *Seminário “Avaliação Pós-Usos-APU* . São Paulo, Universidade de São Paulo, 1989.

VACHER, M, PONNAT, 198-, *Etude de la reduction du bruit des avions legers a helice*. Comunicação pessoal: SLAMA, G., 2002.

VALLET, M, “Annoyance after changes in airport noise environment”. In: *Internoise, Liverpool*, 1996. Disponível em <http://www.person.wanadoo.fr>. Acesso em 29 de abril de 2003.

VALLET, M. “Caractéristiques et indicateurs de la gêne due au bruit des avions”. In: *Synthèse INRET*, N<sup>o</sup> 29, Juin, 1996. Disponível em <http://www.ufcna.com/mesurebruit1.html>. Acesso em 26 de abril de 2003.

VALLET, M, 1996, *Caractéristiques et indicateurs de la gêne due au bruit des avions*”. France, Institut National de Recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS).

VALLET, M, JACOB, L. “Noise control at night around Paris-Roissy Airport”. In *Internoise*, Chirstchrch, 1998. Disponível em <http://www.perso.wanadoo.fr>. Acesso em 29 de abril de 2003.

VALLET, M, “Airport noise and Epidemiological study of health effects: a feasibility study”. In: *Internoise*, USA, December, 1999. Disponível em <http://www.perso.wanadoo.fr>. Acesso em 29 de abril de 2003.

VALLET, M, “Aircraft noise regulations for long term land planning and short term action”.In: *Internoise*, 2001. Disponível em , <http://www.perso.wanadoo.fr>. Acesso

- em 29 de abril de 2003.
- VALLET, M., “Acoustic pollution due to aircraft traffic and the ways to reduce it”. In *Euronoise*, Madrid, 2002. Disponível em <http://www.person.wanadoo.fr>. Acesso em 29 de abril de 2003.
- VALLET, M., “La gêne due bruit autour des aéroports.” In: *Acoustique & Techniques. Dossier: Spécial bruit et santé*. 1<sup>er</sup> trimestre, n° 28, pp.26-33, 2002.
- VÉZINA, J. “Les avions silencieux”. Disponível em: <http://www.chucara.com/dossiers>. Acesso em 29/10/2004.
- WCDE (World Commission on Environment and Development), 1987, *Our Common Future*. Oxford, Oxford University Press.
- WIJNEN, R.A.A., VISSER, H.G., “Optimal departure trajectories with respect to sleep disturbance”. In: *Aerospace science and technology. Elsevier Science*, v.7, pp. 81-91, 2003. Disponível em [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). Acesso em 31 de Outubro de 2004.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 1995, *Communité Noise*. Stockholm, Center for Sensory Research, p.195.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 1999, *Guide Lines For Communité Noise*. London, Stockholm University and Karolinska Institute.
- WONNACOTT, R. , WONNACOTT, T. H., 1985, *Fundamentos de Estatística: descobrindo o poder da estatística*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- ZADEH, L.A. “Outline of a New Approach to the analysis of complex systems and decision process”. In: *IEE transactions on systems, man, and cybernetics*, vol. Smc-3, n°1, January, 1973.
- ZEIZEL, J., 1981, *Inquiry by design: Tools for environment- behavior research*, Cambridge, Cambridge University Press.

## BIBLIOGRAFIA

- AGENDE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ENERGIE, 1993, *Le bruit dans les logements collectifs*. France, CIDB.
- ALUCCI, M.P., CARNEIRO, C. M. & BARING, J.G..A., 1986, *Implantação de Conjuntos Habitacionais: Recomendações Para Adequação Climática e Acústica*. São Paulo, IPT.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Acústica em Edificações*. Rio de Janeiro: Fórum Nacional de Normalização, 1989 (NBR 10830).
- \_\_\_\_\_. *Caixilho para edificação - Janela - Medição da Atenuação Acústica*. Rio de Janeiro: Fórum Nacional de Normalização, 1989 (NBR 10829).
- \_\_\_\_\_. *Referências Bibliográficas*. Rio de Janeiro: Fórum Nacional de Normalização, 1989 (NBR 6023).
- AZEVEDO, R., LIMA, M.L. “Componentes Psico-sociais do ruído: as mediações cognitivas do ruído em diferentes grupos profissionais.”In: *1º Colóquio Psicologia espaço e ambiente*. Universidade de Évora, Maio, 2002.
- BAIRD, G., GRAY, J., ISAACS, N., 2002, *Building evaluation techniques*. Centre for Building Performance Research, Victoria University of Wellington.
- BARING, J.G. “Desenvolvimento tecnológico em acústica das edificações: conceituação (1ª parte)”. In: *Tecnologia de Edificações. Projeto de divulgação tecnológica*. São Paulo, Ed. Pini/IPT, pp.415-418, 1988.
- \_\_\_\_\_. “Desenvolvimento tecnológico em acústica das edificações: conceituação (2ª parte)”. In: *Tecnologia de Edificações. Projeto de divulgação tecnológica*. São Paulo, Ed. Pini/IPT, pp.419-424, 1988.
- \_\_\_\_\_. “Isolação sonora de fachadas”. In: *Tecnologia de Edificações. Projeto de divulgação tecnológica*. São Paulo, Ed. Pini/IPT., pp. 425-428, 1988.
- \_\_\_\_\_. “Acústica de Escritórios (1ª parte)”. In: *Tecnologia de Edificações. Projeto de divulgação tecnológica*. São Paulo, Ed. Pini/IPT, pp. 439-442, 1988.
- \_\_\_\_\_. “Acústica de Escritórios (2ª parte)”. In: *Tecnologia de Edificações. Projeto de divulgação tecnológica*. São Paulo: Ed. Pini/IPT, pp. 443-446, 1988.
- BALDWIN, J.H, 1981, *Environmental Planning and Management*. Boulder, Westview Press.

- BERLAND, T. , 1972, *Ecologia y ruido*. Buenos Aires, Ed. Marimar.
- BEZERRA, M. C. de L.; BURSZTYN, M. , 2000, *Subsídios à Elaboração da Agenda 21 Brasileira. Ciência e Tecnologia para Desenvolvimento Sustentável*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, IBAMA, Consórcio CDS/UnB/Abipti.
- BEZERRA, M. C. de L.; FERNANDES, M. A., 2000, *Subsídios à Elaboração da Agenda 21 Brasileira. Cidades Sustentáveis*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, IBAMA, Consórcio CDS/UnB/Abipti.
- BATISTA, N., SLAMA, J. “Qualidade acústica da edificação”. In”: *Anais do Nutau*. São Paulo, USP, 1996.
- BELIAKOV, G; WARREN, J., “Appropriate Choice of Aggregation Operators in Fuzzy Decision Support Systems”. In: IEE transactions on fuzzy systems, vol. 9, nº6. IEE Neural Networks Council, December, 2001
- BOGO, A.J. “O conceito de desenvolvimento sustentável incorporado ao ensino e ao projeto do ambiente construído: algumas considerações”. In: *Anais eletrônicos do ENCAC*. São Pedro, SP, 2001.
- \_\_\_\_\_. *Lei Nº 10257, de 10 de Julho de 2001*. Estatuto da Cidade. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.
- \_\_\_\_\_. *Decreto -Lei Nº 1413, de 14 de agosto de 1975*. Dispõe sobre o Controle da Poluição do Meio Ambiente Provocada por Atividades Industriais.
- \_\_\_\_\_. *Portaria Nº 92, de 19 de junho de 1980*. Dispõe sobre a Emissão de Sons e Ruídos em Decorrência de Quaisquer Atividades Industriais, Comerciais, Sociais e Recreativas. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, p. 12683, 25 jun. 1980, seção 1.
- \_\_\_\_\_. *Portaria MAer nº13, de janeiro de 1994*. Ministério da Aeronáutica. Diário Oficial da União. Brasília: 07-01-1994.
- \_\_\_\_\_. *Portaria Mdef nº 717, de 04 de novembro de 1999*. Diário Oficial da União. Brasília: 24-11-1999.
- \_\_\_\_\_. *Portaria MAer nº 1141/GM5, de 8 de dezembro de 1987*. Publicada no Diário Oficial da união, seção 1, de 9 de dezembro de 1987.
- BRASILEIRO, A. MELLO, D.L., SILVA, F.A.R et al.. *Desenvolvimento e política urbana*. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM),

- 1976.
- BRULE, J. F. “Fuzzy Systems – a tutorial”. Disponível em <http://austinlinks.com/fuzzy/tutorial.html>. Acesso em 24 de agosto de 2003.
- CAMPOS, V.F.. TQC: *Controle da qualidade total (no estilo japonês)*. Rio de Janeiro: Bloch Editores S. A., 1992.
- CHRISTOFOLETTI, A., 1979, *Análise de sistemas em geografia*. São Paulo, Editora Hucitec, Editora da Universidade de São Paulo.
- CENTRE D’INFORMATION ET DE DOCUMENTATION SUR LE BRUIT. *Le bruit dans les logements collectifs*. França: Agence de l’Environnement et de la Maîtrise de l’Energie, 1993.
- COPPE/UFRJ., 1996, *Norma para elaboração gráfica de teses*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- CREMONESI, J.F.C. “Ruído Urbano - Natureza, Medição e Controle”. In: *Tecnologia de Edificações*. Projeto de divulgação tecnológica. São Paulo, Ed. Pini/IPT, p. 447-452, 1988.
- DUARTE, A.C.P.B., “Avaliação Pós Ocupação do Parque Urbano dos Moinhos de Sant’Ana em Lisboa”. In: *1º Colóquio psicologia espaço e ambiente*. Universidade de Évora, Maio, 2002, Disponível em [acduarte@iol.pt](mailto:acduarte@iol.pt).
- EGAN, M.D. *Concepts in Architectural Acoustics*. United States of America: McGrall-Hill, 1972.
- FARRELA. ; HART, M. “What does sustainability really mean? The search for useful indicators”. In: *Environment*. v.40, nº 9, novembro, p. 5-37, 1998.
- FERNANDES, A. , PORTELA, M., “Plano Ambiental - um instrumento rumo à cidade sustentável”. In: *Anais do VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. ANTAC, Bahia, Salvador, 2000.
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *Area Equivalent Method (Version 6.0 c).User’s Guide*. Office of Environment and Energy. Washington, D.C., 2001.
- FIDELL, S, BARBER, D.S. “Updating a dosage-effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise”. In: *Journal of Acoustical Society of America*, v. 89, pp. 221-233, January, 1990.
- FLEURY E SILVA, B., FALCOSKI, L.A.N. “SIAD-Sistema de indicadores de avaliação de desempenho urbano e ambiental: uma metodologia para o planejamento

- estratégico”. In: *Anais do VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. ANTAC, Bahia, Salvador, 2000.
- GAVINOWICH, D.S.; RUFFA, F. “Actualizacion de estudios sobre ruido dentro del plan urbano ambiental de ciudad de Buenos Aires”. In: *Revista de Acústica e Vibrações* - Sobrac, nº 26, Dezembro, p. 12 –17, 2000.
- GALLOPIN, G., RASKIN, P., “Windows on the future. Global Scenarios Sustainability”. In: *Environment*, v. 40, nº 3, April, 2003.
- GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. *Lei Nº 126, de 10 Maio de 1977*. Dispõe sobre a proteção contra a poluição sonora, estendendo, a todo o Estado do Rio de Janeiro, o disposto no Decreto-lei Nº 112, de 12 de Agosto de 1969, do Ex-Estado da Guanabara, com as modificações a que menciona.
- \_\_\_\_\_. *Lei Nº 3827 de 13 de Março de 2002*. Altera a redação da Lei Nº 126, de 10 de Maio de 1977.
- HADDAD, A. N. “O Direito Urbanístico na Engenharia, Arquitetura e Urbanismo”. In *Qualidade e Tecnologia na Habitação*. vol.II. Rio de Janeiro, Entac., p. 427-431, 1995.
- HOLGER, D.K. “Prediction of changes in aircraft noise exposure”. In: *Noise control engineering*. v. 14, Nº 3, June, 1980.
- HUALPA, B. N.; BERTOLI,S.R; ARRUDA, J.R. de F. *A utilização de redes neurais para o cálculo de “loudness”* . In Anais do ENCAC. São Pedro, SP, 2001.
- IHAB, E. “Environmental quality – shaping places for people: A systemic framework for conceptualizing people in their workplaces”. In: EDRA proceedings, v.34, pp.71-79, 2003.
- IAMAGUCHI, S; SAEKI, T. *A Practical Prediction Method of Psychological Response to Arbitrary Non-white Random Noise Based on Simplified Patterns of Membership Functions*. In Applied Acoustics. Elsevier Science, v.48. Nº22, p.155-174, 1995.
- IGNACCOLO, M. “Environmental capacity: noise pollution at Catania-Fontanarossa international airport”. In: *Journal of Air Transport Management*. Elsevier Science. Nº 6, p. 191-199, 2000.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social*. São Paulo: FINEP/PBQP, 1998.
- IORIO, O., 1966, “Introdução à teoria da amostragem”. *Revista Brasileira de*

- Estatística*, v.27, Rio de Janeiro, out./dez, pp.215-253.
- ISO 1996/1 — *Acoustics - description and measurement of environmental noise – Part 1: Basic quantities and procedures*, 1982.
- ISO 140 - *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements*, 1995.
- ISO 14001- *Sistemas de Gestão Ambiental - Especificações e diretrizes para uso*, 1996.
- JOHN, V. M. “Avaliação de materiais, componentes e edifícios em uso enquanto avaliação de desempenho”. In: *Anais do Seminário “Avaliação pós-uso”-APU*. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1989.
- KATO, Y. YUICHI, S. “A systematical study for psychological impression caused by fluctuating random noise based on fuzzy set theory”. In: *Journal of Acoustical Society of America*, v. 91, nº 5, May, p. 2748 – 2755, 1992.
- KIOJI, A.; SUGENO, M., 19--, “Fuzzy systems theory and its applications”. In: Toshiro Terano, (Ed), Boston, Inc. Harcourt Brace & Company Publishers.
- KOENIGSBERGER, O; INGERSOLL, T.G; MAYHEW et al., 1977, “*Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Madri , Ed. Paraninfo S.A.
- KROG, N. H.; ENGAHI, B. *Aircraft noise in recreational areas: Effects on visitors' experience and well-being*. In: *Noise Control Engineering*, v. 47, nº4, p. 147 – 149, 1999.
- LABONNE, B.,“Public-private partnerships in natural resources management”. In: *Natural Resources Forum*.vol.22, Nº 2, pp.75-76, United Nations, Elsevier science Ltd., 1998.
- LAKATOS, E. *Fundamentos de Metodologia Científica*. São Paulo: Atlas,1995.
- LALLI, F. P. “Critérios de Ruído”. In: *Tecnologia de Edificações. Projeto de divulgação tecnológica*. São Paulo, Ed. Pini/IPT, p. 453-456, 1988.
- LAMAS, J. R. G. *Morfologia urbana e desenho da cidade*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1993.
- LAY, M.C., “Effects of compositional and contextual factors on performance evaluation and appropriation of residential streets and public open spaces”. In: *EDRA Proceedings*, v.34, pp. 112-122, 2003.
- BASTOS, L.R., PAIXÃO, L., FERNANDES, L.M. et al., 1995, *Manual para elaboração de projetos e relatórios de pesquisa, teses, dissertações e monografias*. 4<sup>a</sup>



- ed., Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Koogan S.A.
- LIMA, I.L., ABREU, T.M., “Gestão ambiental: Uma proposta para Salvador. In: *Anais do Encontro Nacional de Conforto no ambiente Construído*. FAUFBA/LACAN-ANTAC, pp. 67-71, Salvador, BA, 1997.
- LOOFTNESS, V.; HARTKOPF, V., MILL, P.A.D. *The intelligent office*. In *Progressive Architecture*. Penton Publishing Company, 1990.
- LOUREIRO, C.; ALUCCI, M.P.; CARDIA, N. “Avaliação pós-ocupação em conjuntos habitacionais: um estudo de caso”. In: *Anais do Seminário Avaliação pós-uso - APU*. São Paulo: Universidade de São Paulo, pp. 158-159, 1989.
- MACEDO, M.R.V., SANTOS, M.C.O; SLAMA, J.G. “A qualidade acústica de habitações destinadas à população de baixa renda”. In: *Anais do NUTAU*. São Paulo: USP, 1998.
- MACEDO, M.R.V; SLAMA, J.G. “Avaliação pós-ocupação acústica e gestão ambiental Urbana”. In: *Anais do Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC)*. Belo Horizonte, pp. 392-397, 2000.
- MACEDO, M.R.V., SLAMA, J.G.; SANTOS, M. C. O. *Avaliação pós-ocupação acústica de edificações*. Revista Interfaces. Centro de Letras e Artes/UFRJ, Ano V, n° 6: 2000.
- MARCO, C.S. *Elementos de Acústica Arquitetônica*. São Paulo: Editora Nobel, 1990.
- MASLOW, A . H. *Introdução à psicologia do ser*. (Álvaro Cabral. Trad.) Rio de Janeiro: Livraria Eldorado Tijuca LTDA., (19--)
- ORNSTEIN, S., BRUNA, G., ROMÉRO, M., 1995, *Ambiente Construído & comportamento: a avaliação pós-ocupação e a qualidade ambiental*. São Paulo, Livros Studio Nobel Ltda.
- ORNSTEIN, S.W., 1995, *La evaluation pos occupation applicata agli edifici adibiti ad uffici in São Paulo*. In:\_\_\_\_\_. *Ricchezza e Marginalità Nella Città Subtropicale*. Roma, Gangemi Editore, pp. 185-200.
- PINTO, F. A. R, “Poluição sonora: Um levantamento de dados da cidade de Fortaleza no período e 1988 a 1998”. In: *Revista Acústica e Vibrações - SOBRAC*, n° 25, Julho, pp. 51 – 58, 2000.
- PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO, 1997, *Código de Obras do Município do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, Gráfica Auri-verde Ltda.

- \_\_\_\_\_. *Decreto Nº 5412, de 24 de outubro de 1985*. Altera o regulamento 15 da proteção contra ruídos, aprovado pelo decreto Nº 1601, de 21 de junho de 1978, e dá outras providências.
- REGO, A . Q. *Sistema para análise do conforto acústico*. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: FAU/UFRJ, 1993.
- RHEINGANTZ, P. A., 1995, *Centro Empresarial Internacional Rio: análise pós-ocupação por observação participante das condições de conforto*. Dissertação de Mestrado. Dissertação de Mestrado, FAU/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- REZENDE, V. , 1982, *Planejamento Urbano e Ideologia. Quatro Planos para a Cidade do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, Civilização Brasileira.
- RIBEIRO, M., SLAMA, J. “A Qualidade acústica de habitações destinadas à população de baixa renda”. In: *Anais do Nutau*. São Paulo, SP, 1989.
- ROMERO, M. A. “O Edifício da EPUSP-CIVIL: Um exercício da metodologia de avaliação pós-uso”. In: *Seminário Avaliação Pós-uso -APU-ANAIS*. São Paulo, USP, 1989.
- ROMERO, M.; DUARTE, J.; OLIVEIRA, M. et al. “Análise ambiental como instrumento para intervenções em espaços urbanos”. In: *Anais eletrônicos do ENCAC*. São Pedro, SP, 2001.
- ROTHMAN, M.L.; FENWICK, S.; SULLIVAN, F. “Designing state-of-the-art ambulatory care facilities on human scale”. In: *Neocon World’s Trade Fair*, pp. 195 – 206, 1995.
- RUDIO.F.V., 1986, *Introdução ao projeto de pesquisa científica*. Petrópolis, Vozes.
- RUSCHEL, R.C.; FACCIN, R. KOWALTOWISKI, D.C.C.K. “Aplicação de automação em APO: Um estudo de caso”. In: *Anais eletrônicos do ENCAC*. São Pedro, SP, 2001.
- RUSSO, M., CAVALCANTI, I.G.M., FELIX, A. et al., 2001, *Manual para elaboração e normalização de dissertações e teses*. 2ª ed., Universidade Federal do Rio de Janeiro-SiBI, Rio de Janeiro, Brasil.
- SAMPAIO, M. C..H., 1995, *Conforto térmico em habitações populares: um resgate da arquitetura bioclimática*. Dissertação de Mestrado, FAU/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SANTOS, C.N.F., 1988, *A cidade como um jogo de cartas*. Niterói, Universidade

- Federal Fluminense – Editora Universitária.
- SARAIVA, G.J. de P. “Lógica Fuzzy”. In: *Revista Militar de Ciência e Tecnologia*. vol. XVII – N°3 – 3º quadrimestre, Rio de Janeiro, 2000.
- SATTLER, M.A, ROTT, J. A; CORADINI, R.A. “Avaliação do ruído ambiental em Porto Alegre, RS. Qualidade e tecnologia na Habitação”. In: Anais do ENTAC. Rio de Janeiro, ENTAC, 1995.
- SCHIMITZ, A; MEIER, A. “Total loss factor in building Acoustics: measurement and application”. In: *Revista Acústica e vibrações - SOBRAC*, n°25, Julho, p. 18 – 34, 2000.
- SEAMAN, J, LACEY, J., BOWMAN, J. , 1994, *Health and the Environment*. Bryan Cartledge, University of Oxford, N.Y.
- SECOVI-SP-SINDICATO DA HABITAÇÃO. *Indústria Imobiliária e a Qualidade Ambiental: subsídios para desenvolvimento urbano sustentável*. São Paulo: Pini, 2000.
- SEGAWA, H. Clave de sol. In Anais do ENCAC. São Pedro, SP: 2001.
- SCHULLER, W.M., PLOEG., F. D. van der, BOUTER, P. “Impact of diversity in aircraft noise ratings”. In: *Noise Control Engineering*, v. 43, December, 1995.
- SILVA, E. *Matéria, Idéia e Forma: uma definição de arquitetura*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1994.
- SILVA, P. *Acústica Arquitetônica*. Belo Horizonte: Edições Engenharia e Arquitetura, 1971.
- SIMÕES, J.R.L. “Avaliação Pós-Ocupação II (APO II) Instituto de Geociências USP/SP- Intervenção Física”. In: *Seminário de Avaliação Pós-Uso: Relatório Final*. São Paulo, Fundação para a Pesquisa Ambiental. p.19-35 , 1990.
- SPERRY, W. C. “Effectiveness of aircraft takeoff procedures for noise abatement”. In: *Noise control engineering*, v.12, n° 3, pp. 116- 129, May-June, 1979.
- STEVENSON, D.C. “Noise from speedways”. In: *Noise Control Engineering*, v. 47, pp. 153-161, July-August, 1999.
- STOEL, T. B. J. “Reining in Urban Sprawl. What can be done to tackle this growing problem?” In: *Environment*, v. 41, n° 4, May, pp.8 – 33, 1999.
- STOKES, J.B., LEESE, D.J., MONTGOMERY, S. L. “Citizens get relief from recreational noise: The case in the skies from Hawaii”. In: *Noise Control*

- Engineering*, v. 47, n<sup>o</sup>4, p. 142-146, 1999.
- SUBASIC, P. HUETTNER, A. “Affect Analysis of Text Using Fuzzy Semantic Typing”. In: *IEE transactions on fuzzy systems*, v. 9, n<sup>o</sup>4, August, pp. 483-495, 2001.
- TATUESCO, D., 1981, *Protection acoustique des bâtiments contre les bruits de*
- VALLET, M, BRUYÈRE, J. C., AUDY, F. “The contribution of aircraft and road traffic noise sources to global noise around airports”. In *Anais do Euronoise*, Munich, 1998. Disponível em <http://www.perso.wanadoo.fr>. Acesso em 29 de abril de 2003.
- VALLET, M, BRUYÈRE, J. C., “Low frequency noise”. Disponível em <http://www.perso.wanadoo.fr>. Acesso em 29 de abril de 2003.
- VARELA, L. “Declaração de Istambul sobre assentamentos humanos”. In: *Revista Arquitetura*, IAB, Rio de Janeiro, n<sup>o</sup> 79, p.21-23, 1997.
- VIVEIROS, E. B. *Introdução à acústica arquitetônica*. Santa Catarina: 2<sup>o</sup> Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1993.
- WIJNEN, R.A.A., VISSER, H.G. “Optimal departure trajectories with respect to sleep disturbance”. In: *Aerospace Science and Technology*. N<sup>o</sup>7, pp.81-91, 2003. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/aesct>.
- YAGER, R.R. “Penalizing Strategic Preference Manipulation in Multi-agent decision Making”. In: *IEE Transactions on fuzzy systems*.v.9, N<sup>o</sup>3, June, pp. 393-403, 2001.
- YERGES, L.F. *Sound, Noise and Vibration Control*. New York: Van Nostrand & Reinhold Company, 1969.
- ZADEH, L. A. “Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic”. In: *Fuzzy sets and Systems*, Elsevier Science,v. 90, pp. 111-127, 1997.
- ZIMMERMAN, H.J., 1994, *Fuzzy Set Theory and its applications*. Kluwer academic Publishers Group. Massachusetts, USA.



## APÊNDICE

## APÊNDICE 1 - METRICAS

### 1. O nível sonoro, em decibéis, ou pressão quadrática média (SPL), ponderado na escala A.

O mais simples método empregado para medir a sonoridade é aquele em que se utiliza um filtro ou uma série de filtros que simulam a resposta do sistema auditivo humano<sup>1</sup>, criando-se um circuito de ponderação. O decibel ponderado (A) é amplamente utilizado em medidores de nível sonoro e em dosímetros. Ele procura representar o que o ouvido percebe quando um ruído o atinge (SHAW, 1975). A acústica dos transportes, desde as primeiras pesquisas realizadas na França, utiliza o decibel ponderado em (A) como unidade para medir o ruído (CETUR, 1981). Cabe ressaltar que existem outros sistemas de ponderação cuja utilização responde a necessidades específicas.

*O decibel (dB), por definição, corresponde a :*

$$NPS = 10 \log \left[ \frac{P}{P_0} \right]^2$$

*Onde:*

**P** é a pressão eficaz instantânea provocada por uma fonte que se deseja avaliar em um instante dado.

**P<sub>0</sub>** é o limiar de audibilidade médio para uma frequência de 1000Hz ( $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pascal).

Embora venha sendo empregado amplamente, o Nível de Pressão Sonora ponderado na escala A apresenta limitações como critério de quantificação da magnitude do ruído percebido. Com efeito, o dB(A) não considera o espectro do ruído, portando não pode simular nem a seletividade espectral do ouvido humano, nem a sua relação não linear com a intensidade sonora. Deste modo, quando se comparam sons com diferentes espectros (tais como os ruídos comunitários), o Nível de Pressão Sonora obtido em dB(A) pode ser um inexato indicador da resposta subjetiva do ouvido humano.

Diversas pesquisas indicam que as previsões de sonoridade e incômodo decorrente do ruído comunitário, com base na ponderação A, são muito imprecisas. O

---

<sup>1</sup> Observar que o ouvido humano não tem a mesma sensibilidade nas diferentes frequências do domínio audível. A ponderação A consiste na soma de 1 dB aos valores medidos entre 1.000 e 4.000 Hz e na supressão de um número crescente de dB à medida que se afasta dos agudos ou dos graves. (Maiores detalhes, podem ser vistos em BERANECK,1971; BERENDT, 1976; CETUR,1981).

Nível de Pressão Sonora, ponderado em A, subestima a influência dos componentes de ruído de baixas frequências (de 15 a 400Hz), de componentes tonais existentes em sons complexos, bem como a relação da exposição sonora com o tempo. Todavia, apesar de suas limitações, é amplamente utilizado na prática (WHO,1995).

## 2. Os índices estatísticos $L_x$

A análise da distribuição do Nível de Pressão Sonora é um método amplamente utilizado, no qual produz-se um gráfico da percentagem do tempo total que um nível de pressão sonora dado é excedido.

Estes índices representam o nível que excedeu x% do tempo de medição. Assim sendo, o  $L_{90}$  e o  $L_{99}$  procuram representar o ruído de fundo, o  $L_{50}$  indica o nível médio,  $L_{10}$  e  $L_1$  indicam os picos (SHAW,1975; LALLI, 1988).

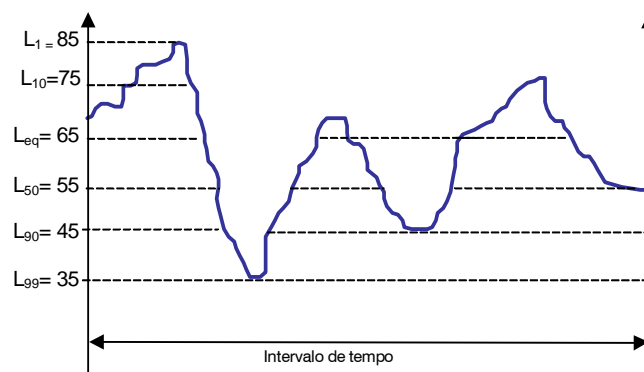


Figura 2.1. Índices

A composição do ambiente sonoro em áreas residenciais está relacionada a fatores como o ruído de fundo e picos em intervalos curtos e constantes, podendo provocar grande incômodo. Assim, a elevação do nível de ruído de fundo poderá acarretar interferência na comunicação e ser um elemento de degradação da qualidade acústica do ambiente urbano.

## 3. O Nível de Energia Equivalente ou Nível de Pressão Sonora Contínua Equivalente ou Média Energética ( $L_{eq}$ )

Este índice baseia-se na energia sonora média obtida durante um determinado intervalo de tempo. O  $L_{eq}$  representa um nível de ruído estacionário (constante e contínuo) que tem a mesma pressão sonora média quadrática, medida na escala de ponderação A, que um ruído de interesse (flutuante ou intermitente) durante um período

considerado (RABINOWITZ, 1991). Assim, apresenta características que permitem avaliar e comparar ruídos de diferentes e variados tipos. Ele é sobretudo o resultado de uma medida da integração dos níveis instantâneos (VALLET, M., 1996).

O Leq tem tido ampla aceitação, sendo utilizado na Europa e em muitos países. É defendido pelo EPA (Environmental Protection Agency) Level Documents como um dos critérios para medir o ruído ambiental. A ISO 1996, 1982, 1987a e 1987c o adota em medições da exposição a ruído comunitário e a ISO 1999 e 1990 em medições de riscos de danos auditivos (WHO,1995). É definido por:

$$Leq = 10 \log \left\{ \int_{t_1}^{t_2} P_A^2 dt / [P_o^2 (t_2 - t_1)] \right\} (dB)$$

Onde:

$P_A$ , é a pressão sonora ponderada em A.

$P_o$ , é a pressão de referência.

$t_1$  e  $t_2$ , intervalo de tempo de integração.

Embora forneça uma base para compor índices mais elaborados, tais como Ldn (Day-Night Weighted Sound Pressure Level), o Noise Number Index, dentre outros, o Leq é inadequado para predição de efeitos adversos a longo tempo, pois não considera a hora do dia e o número de eventos em sua distribuição temporal de exposição. Todavia, SHAW (1975) considera que "sua utilidade como um índice único está associada à sensibilidade a altos níveis de pico".

#### 4. O Nível Sonoro Médio Day-Night (Ldn)

É uma variante do Leq. Foi definido em 1973 pela US Environmental Protection Agency (US EPA) e adotado em 1980 pela US Federal Interagency Committee on Urban Noise (FICUN) como um apropriado descritor de ruído ambiental em áreas residenciais. Vem sendo substancialmente aceito como uma medida de exposição sonora de comunidades. Esse índice considera que, em geral, as pessoas são mais sensíveis ao ruído produzido em período noturno. Assim sendo, utiliza-se a ponderação A e multiplica-se a energia sonora produzida durante a noite por dez (entre 22 h e 7h). Toda a energia sonora produzida por um evento, como o sobrevôo de uma aeronave, é integrada sobre a duração de todo o evento, assim como sua sonoridade. Além disso,



toda a energia sonora resultante de cada evento é adicionada de uma forma separada no total.

$$L_{dn} = 10 \log \left\{ \int_{7:00}^{22:00} P_a^2 dt + 10 \int_{22:00}^{7:00} P_a^2 dt \right\} / [24 P_o^2] \text{ (dB)}$$

Existe uma relação entre a percentagem de pessoas altamente incomodadas e uma apropriada medida de nível de ruído externo, tal como o Ldn. São amplas as discussões sobre como tratar o ruído noturno e sobre a eficiência da ponderação A. Todavia nos EUA o Ldn é considerado amplamente útil e válido, sendo utilizado para avaliar o incômodo provocado pelo ruído aeronáutico.

Onde o tempo é medido em horas e os limites específicos para dia e noite. A ponderação da energia em Ldn é análoga à ponderação do número de eventos no CNR e NEF, apresentados a seguir. Esta ponderação reconhece a queda do ruído de fundo durante a noite, a qual é da ordem de 8dB(A).

Outros índices como o Composite Noise Rating (CNR) e o Noise Exposure Forecast (NEF) também incorporam este conceito. Segundo SHAW (1975), ambos tem sido amplamente utilizados para avaliar ruído no entorno de aeroportos.

### 5. Nível sonoro dia-anoitecer -noite ( $L_{den}$ )

Esta métrica também deriva do Nível Sonoro Equivalente ( $L_{eq}$ ). Segundo a Diretriz Européia (2002), o Nível sonoro dia-anoitecer –noite,  $L_{den}$ , em decibéis (dB(A)), é definido pela seguinte fórmula:

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left( 12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right)$$

*Sendo:*

$L_{day}$  é o nível sonoro médio de longa duração, ponderado na escala A, conforme definido na norma ISO 1996-2/ 1987, determinado durante todos os períodos diurnos de um ano,

$L_{evening}$  é o nível sonoro médio de longa duração, ponderado na escala A, conforme definido na norma ISO 1996-2/1987, determinado durante todos os períodos vespertinos de um ano,

$L_{night}$  é o nível sonoro médio de longa duração, ponderado A, conforme definido na norma ISO 1996-2/1987, determinado durante todos os períodos noturnos de um ano.

*Em que:*

- O dia corresponde a 12 horas, o anoitecer a 4 horas e a noite a 8 horas.

- um ano corresponde ao ano em questão no que se refere à emissão sonora e a um ano médio no que diz respeito às condições meteorológicas;
- É considerado o som incidente, o que significa que se ignora o som refletido pela fachada da habitação em causa (regra geral, isso implica uma correção de 3 dB em caso de medição).
- A altura do ponto de avaliação do  $L_{den}$  depende da aplicação:
  - Em caso de cálculo, para fins da elaboração de mapas de ruído estratégicos no que se refere à exposição ao ruído no interior dos edifícios e na sua proximidade, os pontos de avaliação são fixados a uma altura de  $4,0 \pm 0,2$  m (3,8 a 4,2 m) acima do solo e na fachada mais exposta. Para este efeito, a fachada mais exposta será a parede exterior em frente da fonte sonora específica e mais próxima da mesma; para outros fins, podem ser feitas outras escolhas,
  - Em caso da medição, para fins da elaboração de mapas de ruído estratégicos de exposição acústica dentro dos edifícios e na sua proximidade, poderão ser escolhidas outras alturas, que, todavia, nunca poderão ser inferiores a 1,5 m acima do solo e os resultados deverão ser corrigidos de acordo com uma altura equivalente a 4 m,
  - Para outros fins, como zoneamento acústico, poderão ser escolhidas outras alturas, nunca inferiores a 1,5 m acima do solo.

## 6. Métricas específicas para avaliar ruído emitido por aeronaves

Na década de 1950, as reações comunitárias aos altos níveis sonoros gerados pelo tráfego aéreo de aviões comerciais e militares estimularam o desenvolvimento de índices tais como o CNR (Composite Noise Rating). Posteriormente, foram desenvolvidos índices mais sofisticados que fornecem “avaliações numéricas para as perturbações subjetivas sofridas por pessoas expostas ao ruído de aeronaves” (WHO,1995; IAC,2000). Dentre estes está o Perceived Noise Level (PNL), expresso em dB(PN). Este índice permite fazer comparações mais refinadas entre sons complexos, especialmente aqueles que têm fortes componentes tonais (SHAW, 1975).

Este índice é baseado na ruidosidade percebida (definida como o som indesejável), a qual considera-se mais relevante que a sonoridade percebida quando se trata de aeronaves. Contudo, passou-se a incluir no mesmo uma especial ponderação para componentes de frequência discreta, ou seja, para irregularidades no espectro causadas por componentes periódicos da hélice, do motor e do compressor. Esta modificação quantitativa é conhecida como Effective Perceived Noise Level, sendo expressa em dB(EPN) (WHO,1995).

A avaliação do ruído aeroportuário não engloba apenas o ruído produzido por cada aeronave, mas engloba o efeito de todos os ruídos produzidos sobre a circunvizinhança (IAC, 2000). Visto que o nível de incômodo dependerá do período de tempo ao qual um receptor estará exposto, do número de sobrevôos e do nível de ruído percebido, é necessário que o índice a ser utilizado para avaliar o incômodo decorrente do ruído emitido por aeronaves correlacione o nível sonoro produzido por cada evento, o número de eventos medidos, o espaço de tempo entre o primeiro e o último evento medido, dentre outros.

Alguns destes índices são baseados no ruído medido na escala A ou no Leq, tais como o CNEL (Community Noise Equivalent Level). Outros mais complexos são baseados no PNL (tais como o Noise Number Index (NNI) e a versão de 1965 do Composite Noise Rating) e no EPNL (Noise Exposure Forecast (NEF) e o Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise (WECPNL)).

No Brasil é utilizado o Índice Ponderado de Ruído (IPR), o qual é análogo ao WECPNL(2) que apresenta algumas características do NEF (IAC, 2000). O IPR pondera os vôos noturnos e diurnos, considerando como referência um dia e possibilita sua utilização em programas de geração de curvas isofônicas.<sup>2</sup>

$$IPR = 10 \log \left[ \sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^{n(k)} p_{(k)} \cdot 10^{\left( \frac{EPNL_{(i,k)}}{10} \right)} \right] - 68$$

*Sendo:*

$i$ , o tipo de aeronaves que percorrem uma trajetória  $j$ , durante um período  $k$  do dia .

$n_{(k)}$ , o número de eventos ocorridos durante o período  $k$  do dia;

$k=1$ , para período diurno (de 7:00h às 22:00h);

$k=2$ , para período noturno (de 22:00h às 7:00h);

$p_{(k)}$ , é um peso que é função do período do dia:

para  $k=1$ ,  $p_{(1)}=1$ ;

para  $k=2$ ,  $p_{(2)}=10$ .

## 6. Índice de Ruído de Tráfego e Nível de Poluição Sonora

O TNI (Índice de Ruído de Tráfego) e o LNP (Nível de Poluição Sonora) foram desenvolvidos na Inglaterra, visando acrescentar nos demais índices a idéia das flutuações do ruído de tráfego (CREMONESI,1988). Assim sendo, considera-se que o

<sup>2</sup> As curvas isofônicas foram desenvolvidas por FLETCHER e MUNSON, em 1934, a partir de estudos realizados tomando-se por base que o nível de intensidade psicológica de um tom puro de 1000 Hz, medido em fones, é igual ao nível de pressão sonora ou de intensidade física do som, medida em dB (GINN,G.B, 1978).

ruído de tráfego resulta da superposição de diversos tipos de ruídos gerados por motocicletas, caminhões, ônibus e automóveis, os quais variam em função de diversos fatores. O TNI consiste numa associação do  $L_{10}$  e do  $L_{90}$ , sendo dado pela seguinte expressão:

$$TNI = 4 (L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30$$

*Sendo :*

$L_{10}$  = Nível de ruído de pico, (em dB(A)).  
 $L_{90}$  = Nível de ruído de fundo, (em dB(A)).

Com o LNP, foram desenvolvidos testes sobre o ruído de tráfego rodoviário e aéreo. Nesse índice, o nível sonoro equivalente é somado ao desvio padrão da variação dos níveis de ruído, medidos em dB(A), sendo consideradas as variações da poluição sonora com o tempo.

$$LNP = L_{eq} + 2,56 \sigma$$

*Sendo:*

$L_{eq}$  = energia acústica média percebida durante um determinado período de observação.  
 $\sigma$  = desvio padrão da variação dos níveis de ruído  $L_1$  medidos em dB(A).

## 7. Exposição Sonora/ Nível de Exposição Sonora

Em área urbana é importante ressaltar o problema da poluição sonora, a qual tem relação com a frequência da perturbação. O fenômeno do ruído pode aparecer esporadicamente, mas se ele acontecer com frequência estará caracterizada a poluição sonora. Existe uma carga de poluição sonora que se relaciona com o quanto uma pessoa suportou ou suporta o ruído durante o ano. Essa carga pode ser facilmente expressa pela fórmula:

$$ES = \int_0^t P^2(t) dt$$

*Sendo:*

ES = Exposição Sonora em um determinado lugar, em Pasques. (PAscal SQUarred Secund).  
P = pressão sonora.  
t = tempo.

A sensação sonora é a carga modificada pelo ouvido. Conforme mencionado, na cidade existem atividades que produzem uma carga de ruído sobre os seus cidadãos. Esta carga denomina-se Exposição Sonora (*Sound Exponsure*) e representa o acúmulo do estímulo, sendo dada pela carga de ruído (nível de pressão em função do tempo). Utilizando o logaritmo para relacionar a sensação ao estímulo, tem-se:

$$NES = 10 \log_{10} \frac{ES}{P_0^2}$$

*Sendo:*

*NES* = nível de exposição sonora, em dB, que representa o acúmulo do estímulo.

*ES* = exposição sonora (*sound exposure*).

*P*<sub>0</sub> = pressão sonora de referência.

A exposição sonora (ES) pode ser relacionada com a pressão sonora quadrática (NPS) pela fórmula:

$$NPS = \frac{1}{T_1 - T_2} ES(M, T_1, T_2)$$

## APÊNDICE 2 - QUESTIONÁRIOS



**QUESTIONÁRIO DE ACÚSTICA AMBIENTAL - Escolas - Alunos**

Este questionário é parte de um projeto da Universidade Federal do Rio de Janeiro que visa avaliar a qualidade ambiental sonora de áreas urbanas.

1) Como você escuta sua professora? Muito mal Mal Moderadamente Bem Muito Bem

2) Sua professora precisa falar mais alto para que a turma a escute? Sim Não  
Em caso positivo, quando? \_\_\_\_\_

3) Você acha que existe algum barulho que atrapalhe a aula? Sim Não  
Qual? \_\_\_\_\_

Para responder as questões seguintes, considere que S = Sim; P = Pouco; MP = Muito Pouco; Mod = Moderadamente.

4) A seguir assinale com um X os locais de onde você escuta sons e indique se os mesmos o incomodam:

Escuta sons provenientes do(a)	SIM	NÃO	INCOMODAM					
			Não	MP	Pouco	Mod.	Muito	Demais
a) Do pátio								
b) Estacionamento								
c) Escada								
d) Corredor interno								
e) Outros - especifique:								

5) A seguir assinale com um X os sons que você escuta e indique se os mesmos o incomodam:

Escuta sons provenientes de	SIM	NÃO	INCOMODAM					
			Não	MP	Pouco	Mod	Muito	Demais
a) Trânsito de veículos								
b) Aviões								
c) Helicópteros								
d) Outros								

6) Você sente que fechando a janela diminui o ruído externo?  
Não Muito Pouco Pouco Moderadamente Muito Demais

7) O ruído provoca em você alguma reação? Sim Não  
Em caso positivo, que tipo de reação?  
Irritação Stress Insônia Outros (especifique: \_\_\_\_\_)

8) Você acha que existe alguma solução para a questão do ruído? Sim Não  
Qual? \_\_\_\_\_

9) Em relação às perguntas anteriores, existe algo que você gostaria de acrescentar?  
\_\_\_\_\_





**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**COPPE - PROGRAMA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Generalidades:**

10) Nome:		11) Sexo: F <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/>
12) Idade:		13) Série:
14) Turno:	15) Sala:	Data : ____/ ____/ _____
Observações:		

**MUITO OBRIGADO POR SUA ATENÇÃO!!!**





**QUESTIONÁRIO ACÚSTICA AMBIENTAL - Escolas/ Professor**

Este questionário é parte de um projeto da Universidade Federal do Rio de Janeiro que visa avaliar a qualidade ambiental sonora de áreas urbanas.

1) Você precisa falar mais alto para que a turma o (a) escute? Sim Não  
Em caso positivo, quando? \_\_\_\_\_

2) Você acha que existe algum ruído na escola que prejudique o desempenho dos alunos? Sim Não  
Qual? \_\_\_\_\_

**Para responder as questões seguintes, considere MP = Muito Pouco; Mod = Moderadamente.**

3) A seguir assinale com um **X** os locais de onde você escuta sons e indique se os mesmos o incomodam:

Escuta sons provenientes do(a)	SIM	NÃO	INCOMODAM					
			Não	MP	Pouco	Mod.	Muito	Demais
a) Do pátio								
b) Estacionamento								
c) Escada								
d) Corredor interno								
e) Outros - especifique:								

4) A seguir assinale com um **X** os sons que você escuta e indique se os mesmos o incomodam:

Escuta sons provenientes de	SIM	NÃO	INCOMODAM					
			Não	MP	Pouco	Mod	Muito	Demais
a) Trânsito de veículos								
b) Aviões pequenos								
c) Aviões grandes								
d) Helicópteros								
e) Outros								

5) Você sente que fechando a janela diminui o ruído externo?  
Não Muito Pouco Pouco Moderadamente Muito Demais

6) O ruído provoca em você alguma reação? Sim Não  
Em caso positivo, que tipo de reação?  
Irritação Stress Insônia Outros (especifique: \_\_\_\_\_)

7) Você acha que existe alguma solução para a questão do ruído? Sim Não  
Qual? \_\_\_\_\_

8) Você já teve algum problema nas cordas vocais por necessitar falar mais alto para ser escutado?  
\_\_\_\_\_





**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**COPPE - PROGRAMA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

9) Em relação às perguntas anteriores, existe algo que você gostaria de acrescentar?

---

---

**Generalidades:**

10) Nome:	11) Sexo: F <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/>
12) Idade:	13) Horário de Trabalho
14) Disciplina que leciona:	Data: ___/___/_____
Observações:	

**MUITO OBRIGADO POR SUA ATENÇÃO!!!**



### QUESTIONÁRIO DE ACÚSTICA AMBIENTAL

*Este questionário é parte de um projeto da Universidade Federal do Rio de Janeiro que visa avaliar a qualidade ambiental sonora de áreas urbanas, buscando orientar o planejamento ambiental. Por favor, responda-o com atenção. A sua contribuição será de grande importância!*

*O ruído urbano aumenta a cada dia, afetando a qualidade de vida da população. As principais fontes sonoras que causam impactos ambientais nas grandes cidades são o trânsito de veículos e o ruído aeroportuário.*

*Na Barra da Tijuca, essas duas fontes sonoras são marcantes. Deste modo, o planejamento ambiental é fundamental para o desenvolvimento sustentável do bairro.*

**Para responder às questões seguintes, considere: S = Sim; P = Pouco; MP = Muito Pouco; Mod = Moderadamente.**

1) Marque um **X** se o ruído do trânsito de veículos:

	Não	MP	P	Mod.	Muito	Demais
a) Incomoda quando você fala ao telefone						
b) Incomoda quando você assiste TV						
c) Provoca em você dificuldade para adormecer						
d) Faz você acordar durante a noite						
e) Faz você acordar mais cedo						
f) Dificulta a leitura						
g) Perturba sua concentração						

2) A seguir assinale com um **X** os sons que você escuta e indique se os mesmos o incomodam:

Escuta sons provenientes de:	S	Não	INCOMODAM					
			Não	MP	P	Mod	Muito	Demais
a) Aviões grandes								
b) Aviões pequenos								
c) Helicópteros								
d) Outros. Especifique:								

3) Marque com um **X** se o ruído de aeronaves:

	Não	MP	P	Mod.	Muito	Demais
a) Incomoda quando você fala ao telefone						
b) Incomoda quando você assiste TV						
c) Provoca em você dificuldade para adormecer						
d) Faz você acordar durante a noite						
e) Faz você acordar mais cedo						
f) Dificulta a leitura						
g) Perturba sua concentração						
h) Outros. Especifique:						



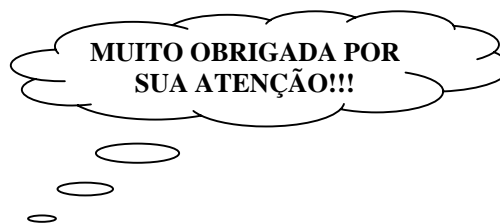


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**COPPE - PROGRAMA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

- 4) Você sente que fechando a janela diminui o ruído externo?  
Não      MP      Pouco      Mod.      Muito      Demais
- 5) O ruído provoca em você alguma reação ?      Sim      Não  
Em caso positivo, que tipo de reação?  
Irritação      Stress      Insônia      Outros (especifique: \_\_\_\_\_)
- 6) Você acha que existe alguma solução para a questão do ruído?      Sim      Não  
Qual? \_\_\_\_\_
- 7) Se você comprar um apartamento no futuro, que importância dará à qualidade acústica?  
Nenhuma      MP      Pouca      Mod.      Muita      Demais
- 8) Em relação às perguntas anteriores, existe algo que você gostaria de acrescentar?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Generalidades:**

9) Endereço:	10) Proprietário:    Sim      Não
11) Nome:	12) Sexo: F <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/>
13) Idade: <input type="checkbox"/> até 20 anos                  de 20 a 35 anos                  de 36 a 45 anos                  acima de 45 anos.	
14) Profissão:	15) Data : ___/ ___/ _____
16) Há quanto tempo você reside neste local?	



**POR FAVOR, APÓS RESPONDER,  
ENTREGUE ESTE QUESTIONÁRIO À  
ADMINISTRAÇÃO!**



**QUESTIONÁRIO DE ACÚSTICA AMBIENTAL (Bosque da Barra)**

**Este questionário é parte de um projeto da Universidade Federal do Rio de Janeiro que visa avaliar a qualidade ambiental sonora de áreas urbanas.**

1) Com que frequência você vem ao Bosque?  
 Raramente    uma vez ao mês    duas vezes ao mês    uma vez p/semana    duas vezes ou mais p/semana    diariamente

2) Há um dia específico?  
 Domingo    Segunda    Terça    Quarta    Quinta    Sexta    Sábado

3) Em que horário você costuma vir ?

4) Você acha o Bosque um lugar agradável?  
 Não    MP    Pouco    Mod.    Muito    Demais  
 Porque? \_\_\_\_\_

5) Você acha que alguma coisa poderia ser feita para melhorá-lo?    Sim    Não   O que?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Para responder as questões seguintes, considere S = Sim; P = Pouco; MP = Muito Pouco; Mod = Moderadamente.**

6) A seguir assinale com um **X** os locais de onde você escuta sons e indique se os mesmos o incomodam:

Escuta sons provenientes de	SIM	NÃO	INCOMODAM					
			Não	MP	Pouco	Mod	Muito	Demais
a) Trânsito de veículos								
b) Aviões pequenos								
c) Aviões grandes								
d) Helicópteros								
e) Outros - especifique:								

**Generalidades:**

7) Endereço: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ 8) Sexo: F  M

9) Idade:  até 20 anos    de 20 a 35 anos    de 36 a 45 anos    acima de 45 anos.

10) Profissão: \_\_\_\_\_ Data : \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_

**MUITO OBRIGADO POR SUA ATENÇÃO!!!**

## APÊNDICE 3 - ALGORITMOS

## 1. Algoritmo para obtenção do nível de interferência do ruído rodoviário no desempenho de atividades ( $U_6$ )

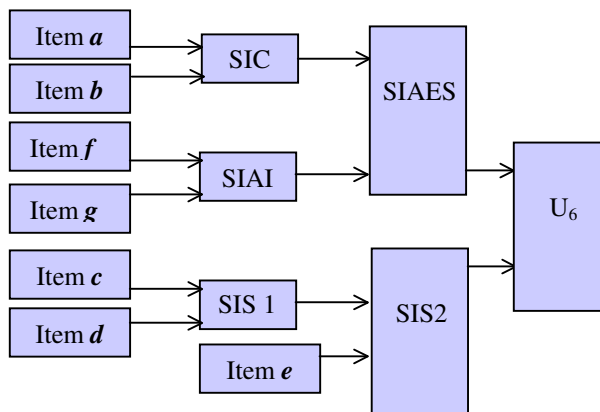
A criação desse algoritmo baseou-se na elaboração de um sistema de inferência para cada item da Questão 1 do questionário elaborado para áreas residenciais, transcrita a seguir. As percentagens indicadas em cada item foram obtidas a partir da tabulação dos questionários aplicados, com a utilização do programa estatístico *EPI Info 6.0*, conforme mencionado no Capítulo 5.

Para responder às questões seguintes, considere: S = Sim; P = Pouco; MP = Muito Pouco; Mod = Moderadamente.

1) Marque um **X** se o ruído do trânsito de veículos:

	Não	MP	P	Mod.	Muito	Demais
a) Incomoda quando você fala ao telefone	58%	7%	10%	13%	9%	3%
b) Incomoda quando você assiste TV	46%	8%	8%	9%	13%	16%
c) Provoca em você dificuldade para adormecer	57%	12%	12%	6%	9%	4%
d) Faz você acordar durante a noite	73%	7%	9%	6%	4%	1%
e) Faz você acordar mais cedo	67%	7%	12%	7%	6%	1%
f) Dificulta a leitura	60%	7%	12%	12%	6%	3%
g) Perturba sua concentração	59%	7%	9%	12%	9%	4%

No Fluxograma 1, verifica-se que os itens *a* e *b* da Questão 1 serviram como entrada para o Sistema Nível de Interferência na Comunicação (SIC). Os itens *c* e *d* serviram como entrada para o Sistema Nível de Interferência no Sono 1 (SIS1). O Sistema Nível de Interferência no Sono 1 e a questão *e* serviram de entrada para o Sistema Interferência no Sono 2 (SIS2). Os itens *f* e *g* serviram de entrada para o Sistema Nível de Interferência nas Atividades Intelectuais (SIAI).



Fluxograma 1.

Uma vez desfuzificados, os sistemas Nível de Interferência na Comunicação (SIC) e Nível de Interferência nas Atividades Intelectuais (SIAI) serviram de entrada para o Sistema Nível de Interferência nas Atividades Exceto o Sono (SIAES). Por sua vez, este sistema (SIAES) e o Sistema Nível de Interferência no Sono 2 (SIS2) deram origem ao

Subsistema Nível de Interferência do Ruído Rodoviário no desempenho de Atividades ( $U_6$ ).

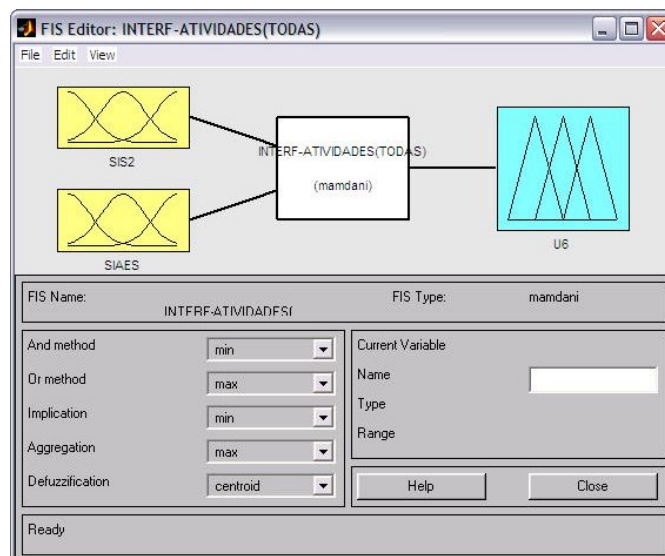
Os procedimentos para obter  $U_6$  serão descritos a seguir. Observa-se que os algoritmos foram organizados seguindo uma escala hierárquica, de  $U_6$  até as variáveis de entrada.

As variáveis de entrada (SIAES e SIS2) e a variável de saída ( $U_6$ ) assumiram os valores lingüísticos Não (N), Muito Pouco (MP), MOraderadamente (MO), Muito (M) e Demais (D). O sistema de inferência criado é apresentado na Figura 1 e as funções de pertinência na Figura 2. Os universos do discurso adotados encontram-se no intervalo [0,10]. A Tabela de decisão 1 serviu de base para definir as regras de inferência editadas no *Matlab* (Figura 3). No visor de regras foram inseridos os valores obtidos nas Seções 1.1. e 1.2, cuja desfuzificação resultou um valor “crisp” igual a 4,07 para o Nível de Interferência do Ruído Rodoviário no Desempenho de atividades ( $U_6$ ).

**Tabela de decisão 1.** Nível de interferência do Ruído Rodoviário no Desempenho de atividades ( $U_6$ ).

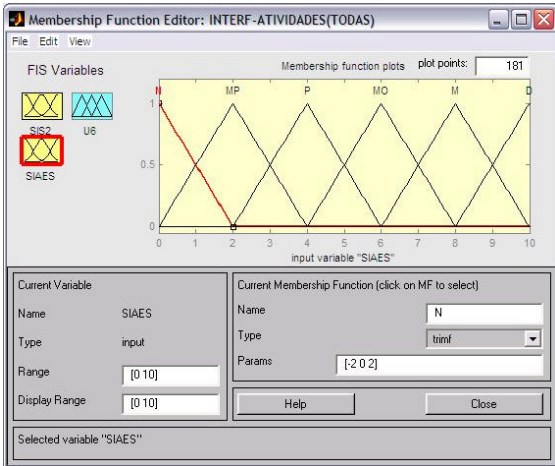
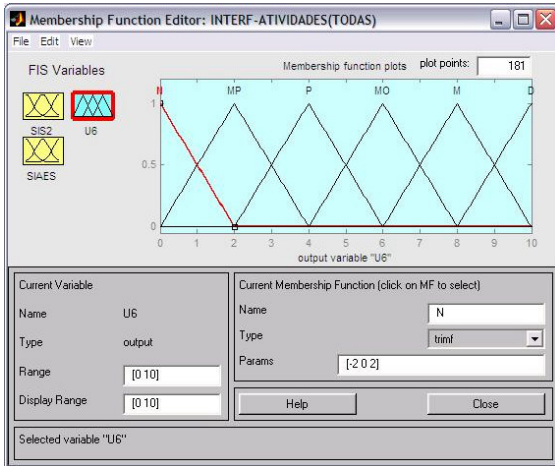
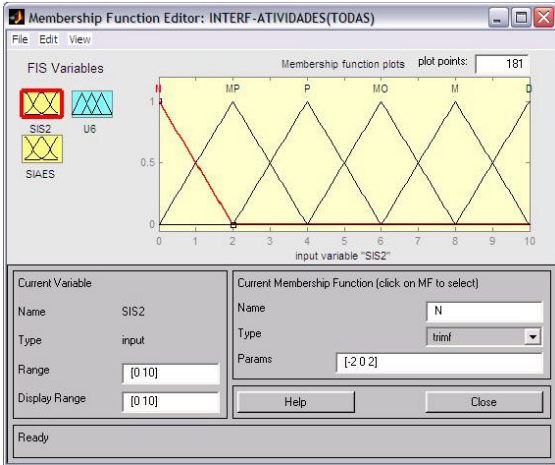
SIS2 \ SIAES	N	MP	P	MO	M	D
N	N	MP	P	MO	M	D
MP	MP	MP	P	MO	M	D
P	P	P	P	MO	M	D
MO	MO	MO	MO	B	M	D
M	M	M	M	B	M	D
D	D	D	D	D	D	D

**REGRA:** Se “Nível de interferência nas atividades, exceto o sono (SIAES)” é ... E “Nível de Interferência no Sono (SIS2)” é ..., ENTÃO “Nível de interferência do Ruído Rodoviário no Desempenho de atividades ( $U_6$ )” é...

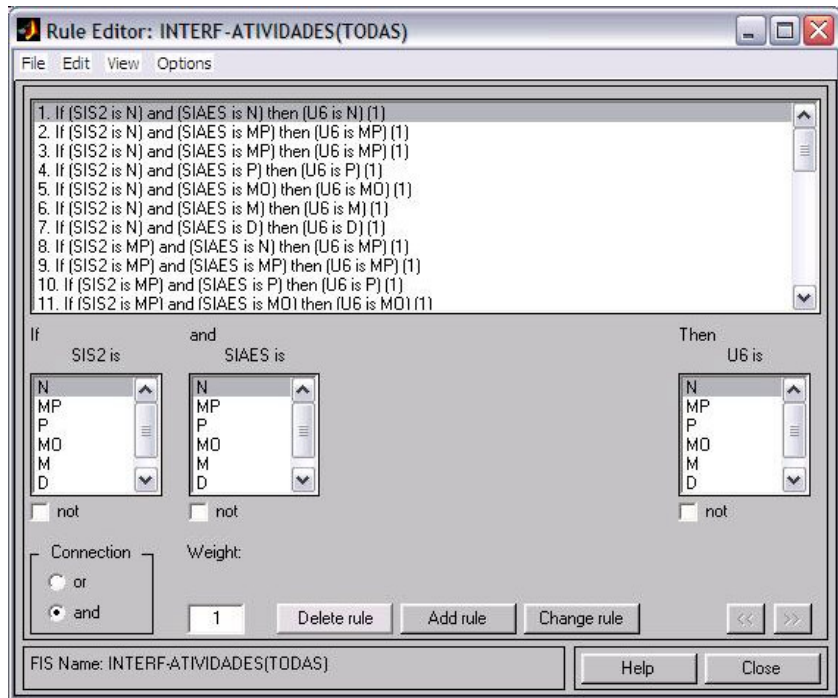


**Figura 1.** Sistema de inferência *fuzzy*.

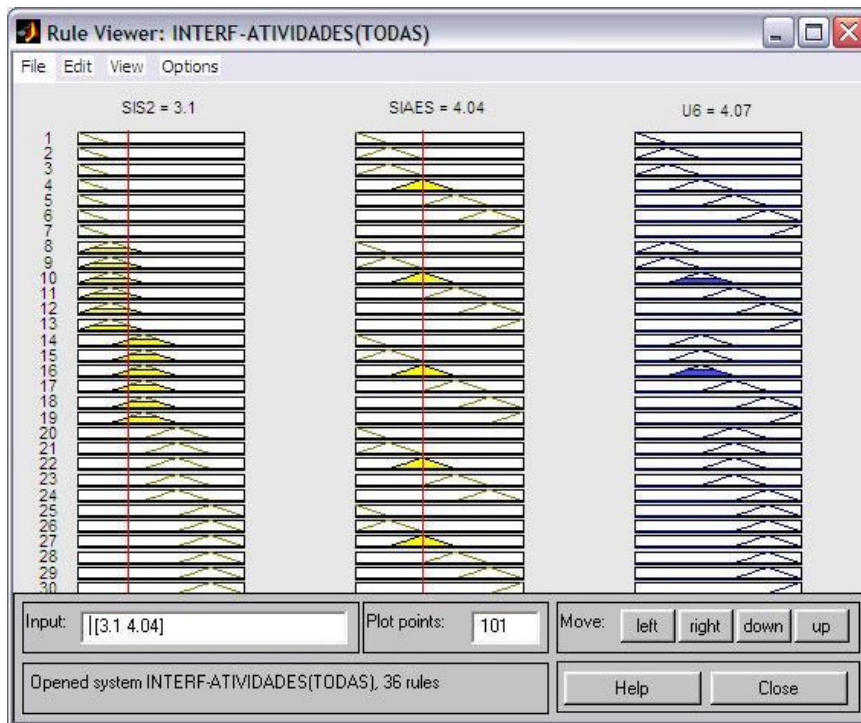




**Figura 2.** Funções de pertinência relativas às variáveis de entrada (SIS2 e SIAES) e saída (U<sub>6</sub>).



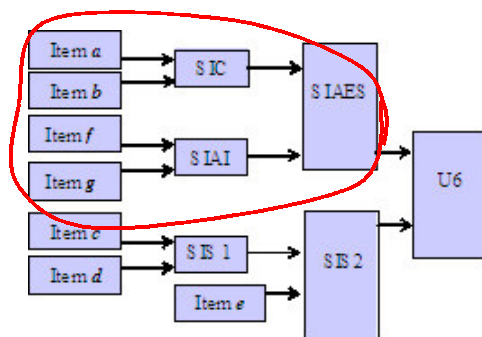
**Figura 3.** Regras de inferência.



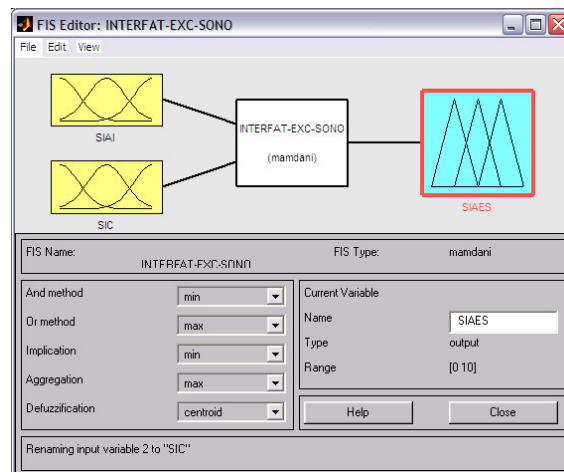
**Figura 4.** Desfuzificação, considerando as entradas SIS2=3.1 e SIAES=4.04, obtidas nas seções 1.1 e 1.2, resultando  $U_6=4.07$ .

### 1.1. Algoritmos elaborados para obter o Nível de Interferência nas Atividades, Exceto o Sono.

Para obter o nível de interferência nas atividades exceto o sono, dado pelo Subsistema Interferência nas Atividades, Exceto o Sono (SIAES), inicialmente foi necessário chegar aos níveis de interferência na comunicação (SIC) e de interferência nas atividades



**Fluxograma 2**



**Figura 5.** Sistema de inferência criado para obter o Nível de Interferência em Atividades Exceto o Sono.

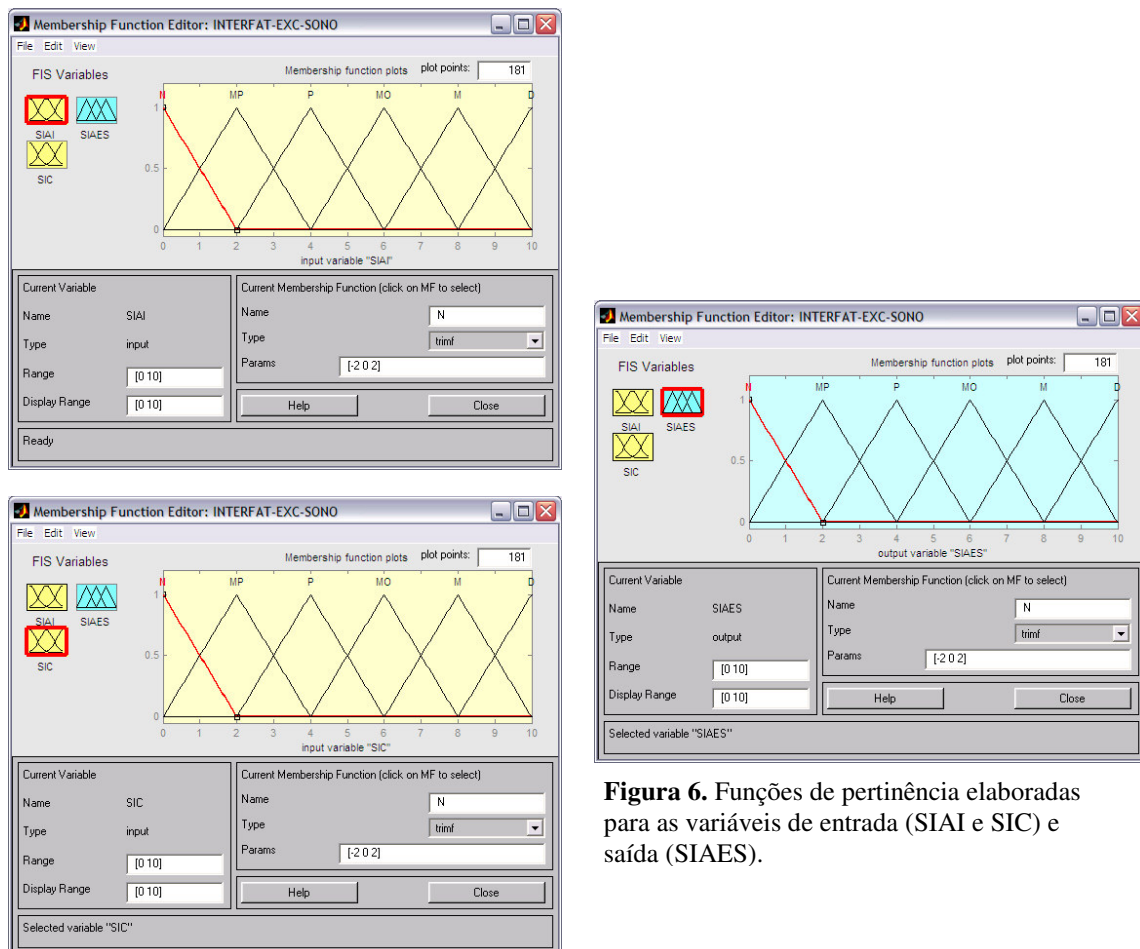
intelectuais (SIAI), obtidos, respectivamente, nas seções 1.1.1 e 1.1.2, conforme se verifica no Fluxograma 1.

Com base na Tabela de decisão 2, seguindo os mesmos critérios adotados para U<sub>6</sub>, foram elaborados o sistema de inferência apresentado na Figura 5, as funções de pertinência (Figura 6) e regras de inferência (Figura 7), resultando um valor “crisp” igual a 4.04 (Figura 8) para o Nível de Interferência nas Atividades, exceto o Sono.

**Tabela de decisão 2.** Nível de Interferência nas Atividades, Exceto o Sono (SIAES).

SIC \ SIAI	N	MP	P	MO	M	D
N	N	MP	P	MO	M	D
MP	MP	MP	P	MO	M	D
P	P	P	P	MO	M	D
MO	MO	MO	MO	B	M	D
M	M	M	M	B	M	D
D	D	D	D	D	D	D

REGRA: Se “Nível de interferência nas atividades intelectuais (SIAI)” é ... E “Nível de interferência na comunicação (SIC)” é ...; ENTÃO o “Nível de Interferência nas Atividades Exceto o Sono (SIAES)” é ...



**Figura 6.** Funções de pertinência elaboradas para as variáveis de entrada (SIAI e SIC) e saída (SIAES).

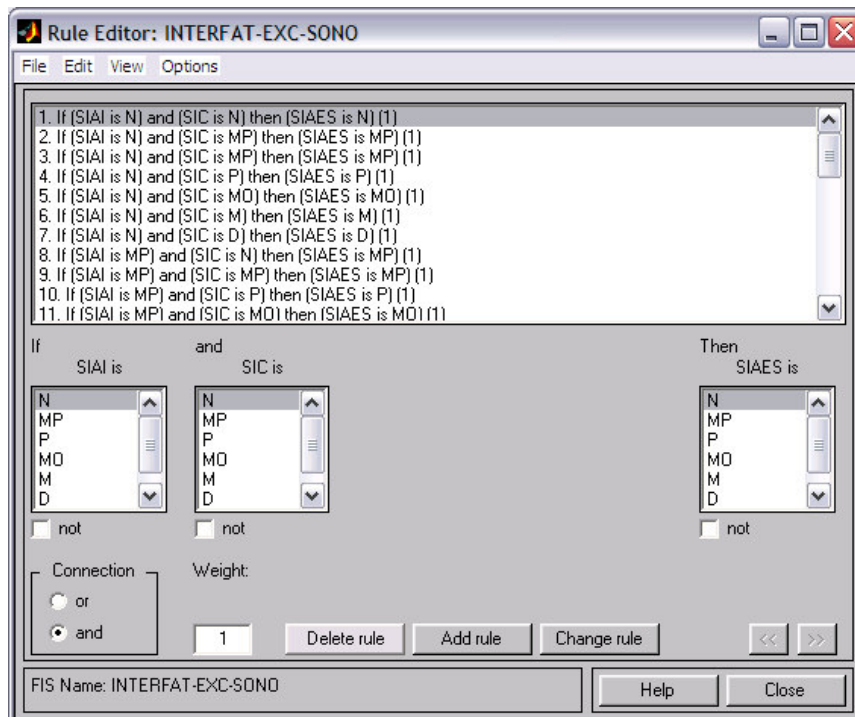


Figura 7. Regras de inferência.

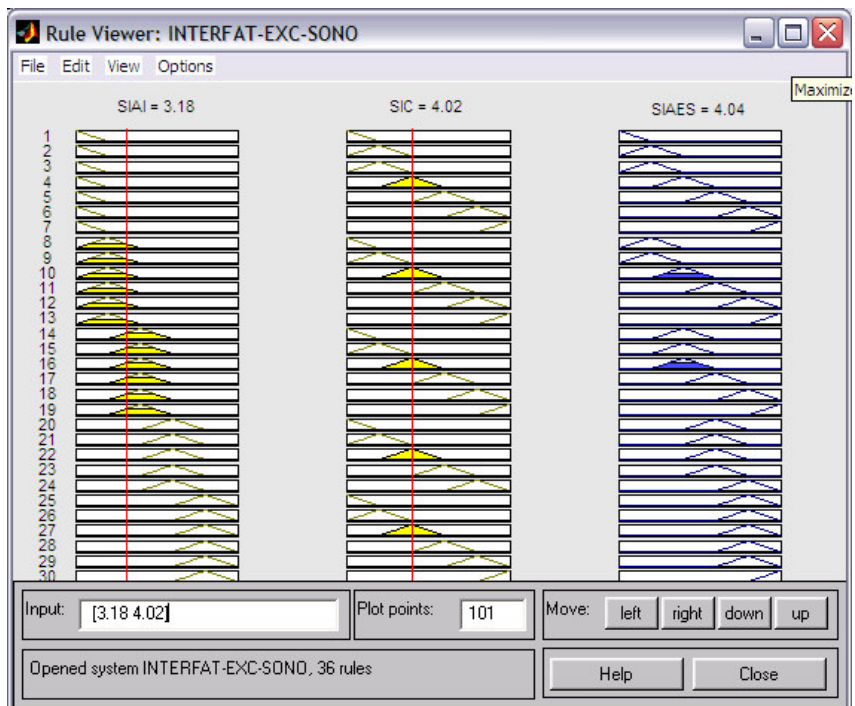
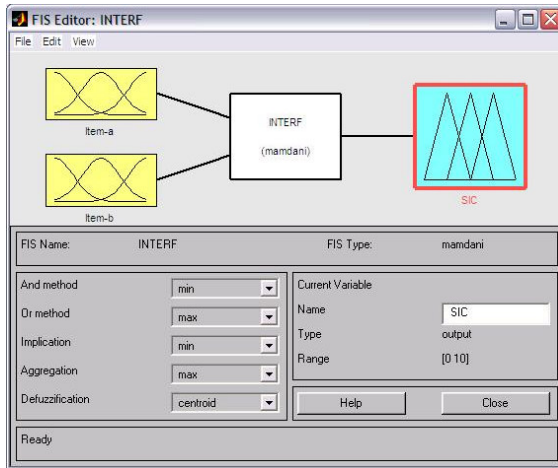
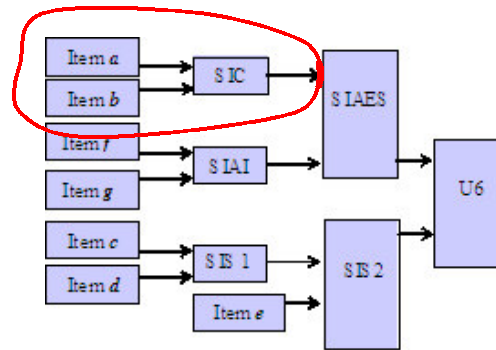


Figura 8. Desfuzificação, resultando um valor 4,04 para a variável Nível de Interferência nas Atividades Exceto o Sono, dada por SIAES.

### 1.1.1. Algoritmos elaborados para o Subsistema Interferência na Comunicação (SIC).



**Figura 9** Sistema de inferência *fuzzy* criado para avaliar o Nível de Interferência na Comunicação



**Fluxograma 3.**

O Nível de Interferência na Comunicação foi obtido a partir dos resultados da desfuzificação dos subsistemas criados para os itens *a* e *b* da Questão 1, conforme pode ser verificado nas seções 1.1.1.1 e 1.1.1.2, os quais fornecem, respectivamente o Nível de interferência na comunicação ao telefone e Nível de interferência ao assistir TV. A Figura 9 apresenta o sistema de inferência proposto. Foram elaboradas as funções de pertinência para as variáveis de entrada e de saída, considerando-se o universo do discurso situado no intervalo [0,10] (Figura 10) e lhes atribuindo valores lingüísticos correspondentes a uma das seis possibilidades de resposta apresentadas no questionário: Não (N), Muito Pouco (MP), Pouco (P), Moderado (MO), Muito (M) ou Demais (D).

**Tabela de decisão 3.** Nível de Interferência na Comunicação

Item <i>a</i> \ Item <i>b</i>	N	MP	P	MO	M	D
N	N	MP	P	MO	M	D
MP	MP	MP	P	MO	M	D
P	P	P	P	MO	M	D
MO	MO	MO	MO	B	M	D
M	M	M	M	B	M	D
D	D	D	D	D	D	D

**REGRA:** Se “item *a* (Nível de interferência na comunicação ao telefone)” é ... E “item *b* (Nível de interferência ao assistir TV) é ..., ENTÃO ‘SIC (o Nível de Interferência na Comunicação)’ é ...

A definição das regras de inferência introduzidas no editor de regras do *Matlab* (Figura 11) baseou-se na Tabela de decisão 3. Os resultados da desfuzificação realizada para cada “item *a*” e “item *b*”(veja tópicos 1.1.1.1 e 1.1.1.2) foram introduzidos no visor de regras



do *Matlab* e, a partir de uma nova desfuzificação, geraram um Nível de Interferência na Comunicação 4,02 (veja Figura 12).

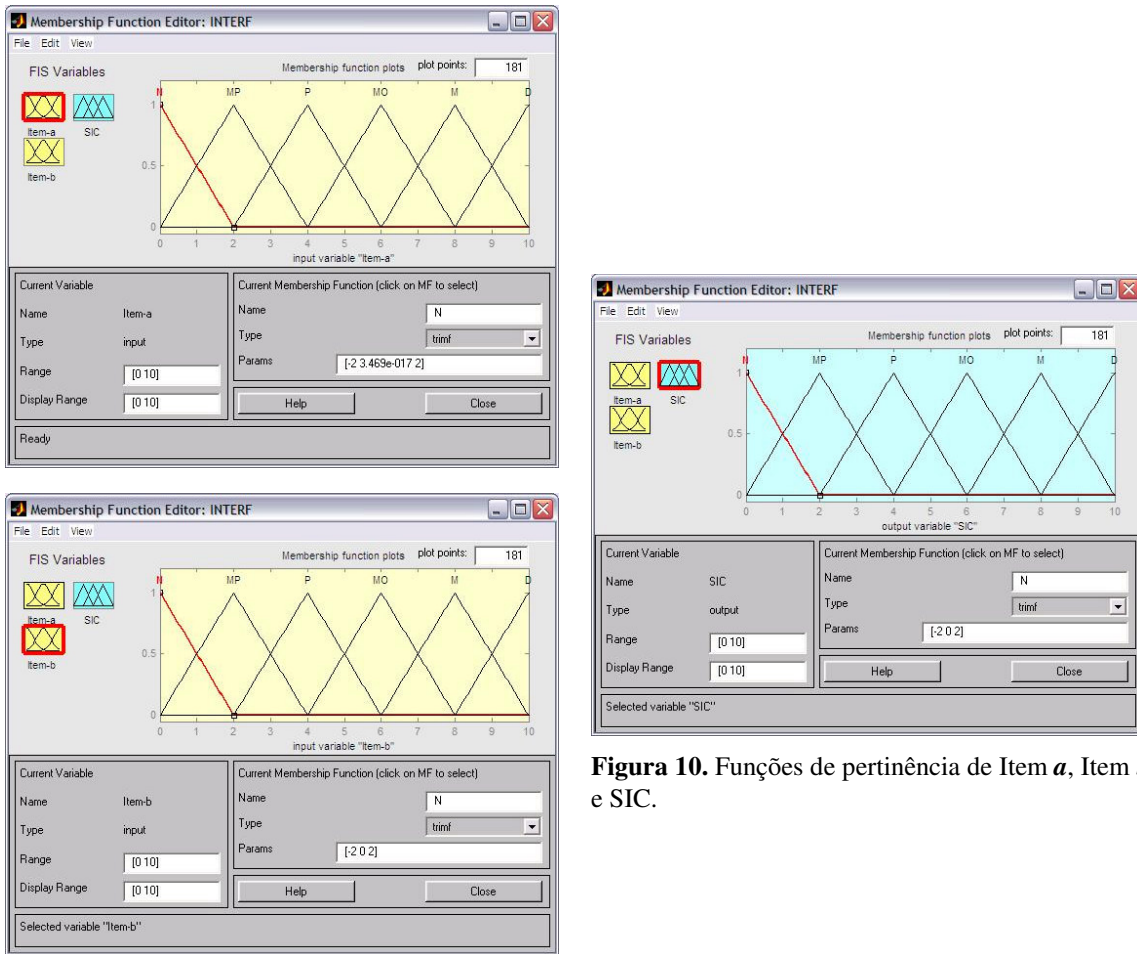


Figura 10. Funções de pertinência de Item *a*, Item *b* e SIC.

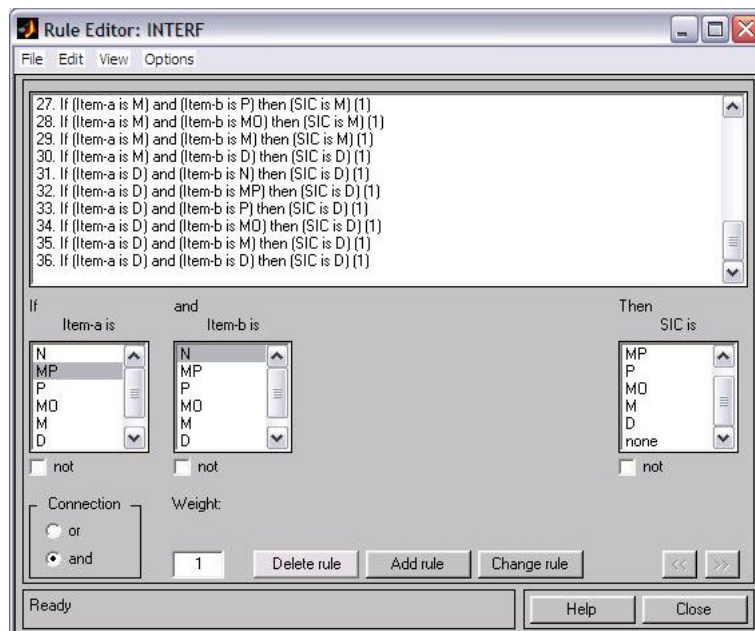
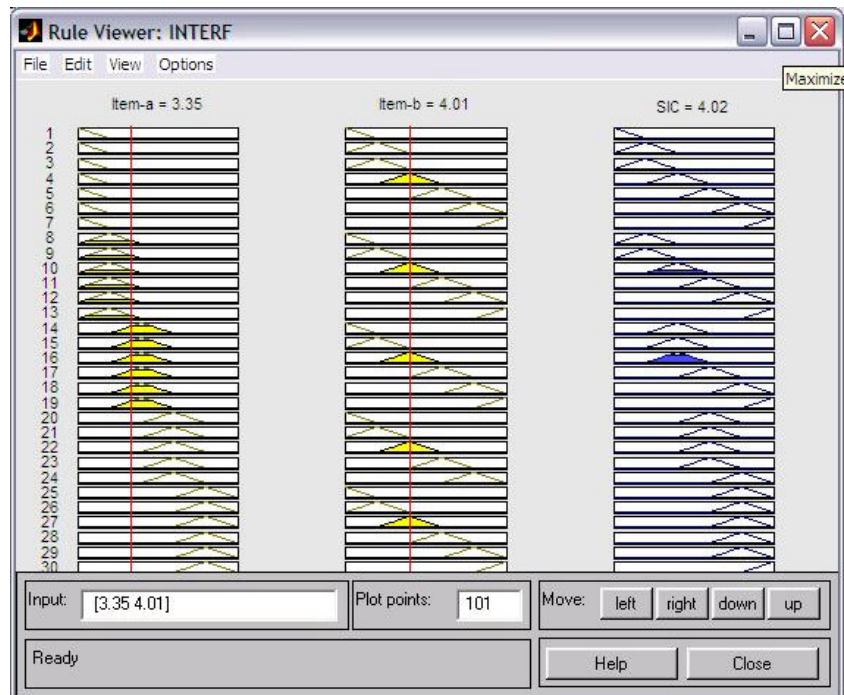
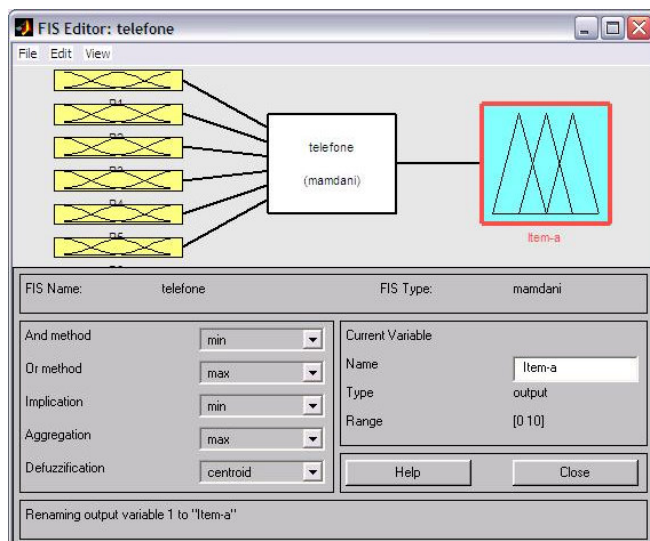


Figura 11. Regras de inferência.



**Figura 12.** Desfuzificação resultando um Nível de Interferência na Comunicação 4.02.

### 1.1.1.1. Algoritmo para obtenção do nível de interferência na comunicação ao telefone (Item *a* : Incomoda quando você fala ao telefone?)



**Figura 13.** Sistema de inferência *fuzzy* elaborado para o item *a* da Questão 1.

Para obter-se o Nível de Interferência na Comunicação ao Telefone, criou-se o sistema de inferência apresentado na Figura 13, o qual teve como variáveis de entrada as seis possibilidades de resposta propostas na Questão 1 do questionário (já mencionadas anteriormente). A cada variável de entrada foi atribuída uma função de pertinência (Figura 14). As percentagens obtidas a partir da

tabulação dos questionários aplicados foram introduzidas no visor de regras e resultaram

o valor ‘crisp’ 3,35 (Figura 15) para o Nível de Interferência na Comunicação ao Telefone (dado no item *a* da Questão 1).

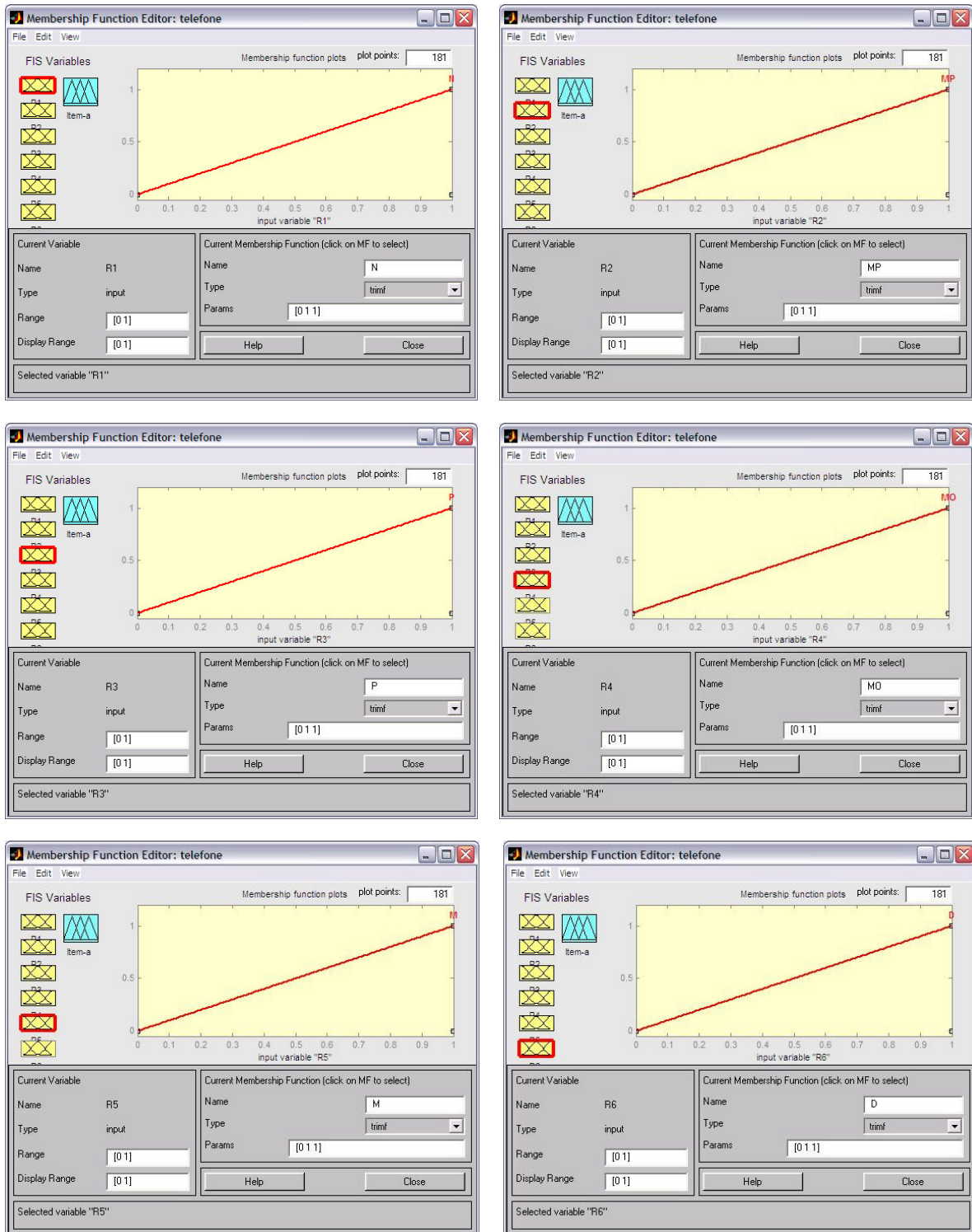
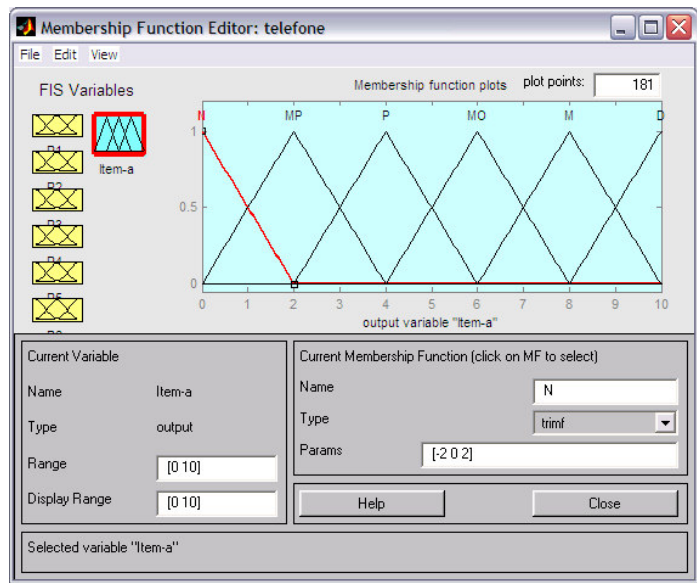
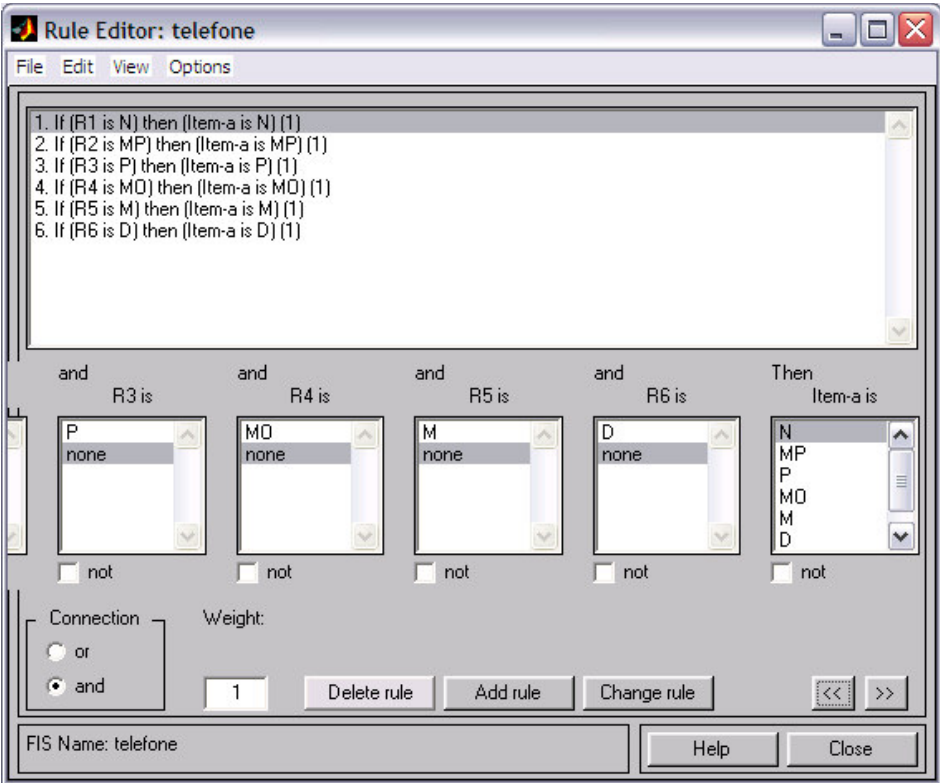


Figura 14. Funções de pertinência relativas às possibilidades de respostas R1,R2,R3,R4, R5 e R6

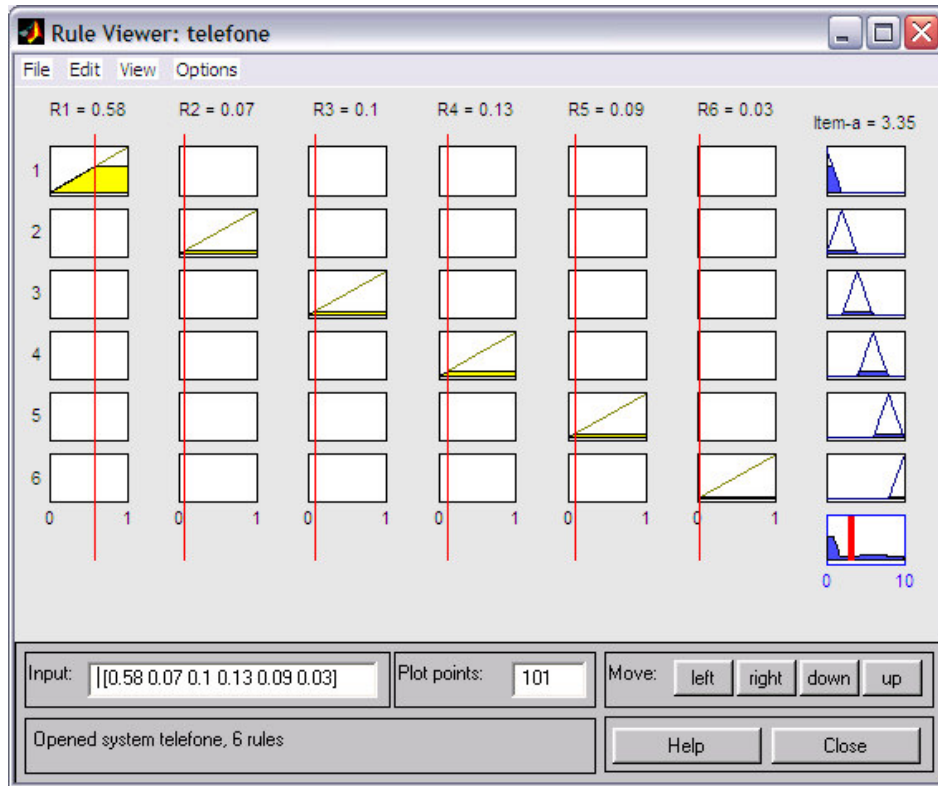




**Figura 15.** Funções de pertinência relativas à variável de saída: Nível de interferência na comunicação ao telefone (Item *a*).

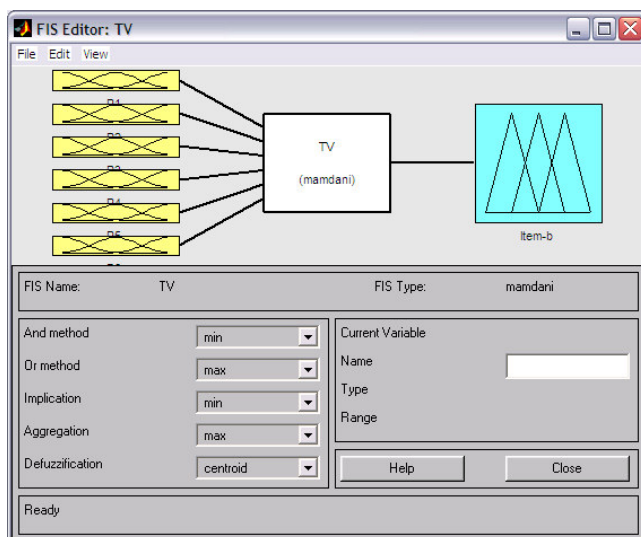


**Figura 16.** Edição das Regras de inferência.



**Figura 17.** Desfuzificação resultando um nível de interferência na comunicação ao telefone 3,35.

### 1.1.1.2 Algoritmo para obtenção do nível de interferência ao assistir TV (Item *b* : Incomoda quando você assiste TV?)



**Figura 18.** Sistema de inferência *fuzzy*.

Os mesmos procedimentos adotados na seção 1.1.1.1 foram utilizados aqui. Portanto, não serão descritos novamente. Entretanto, serão apresentadas as figuras extraídas do *Matlab* que representam as operações realizadas, passo a passo.

Na Figura 21 verifica-se que a desfuzificação resultou um valor “crisp” 4,01 para o nível de interferência ao assistir TV .

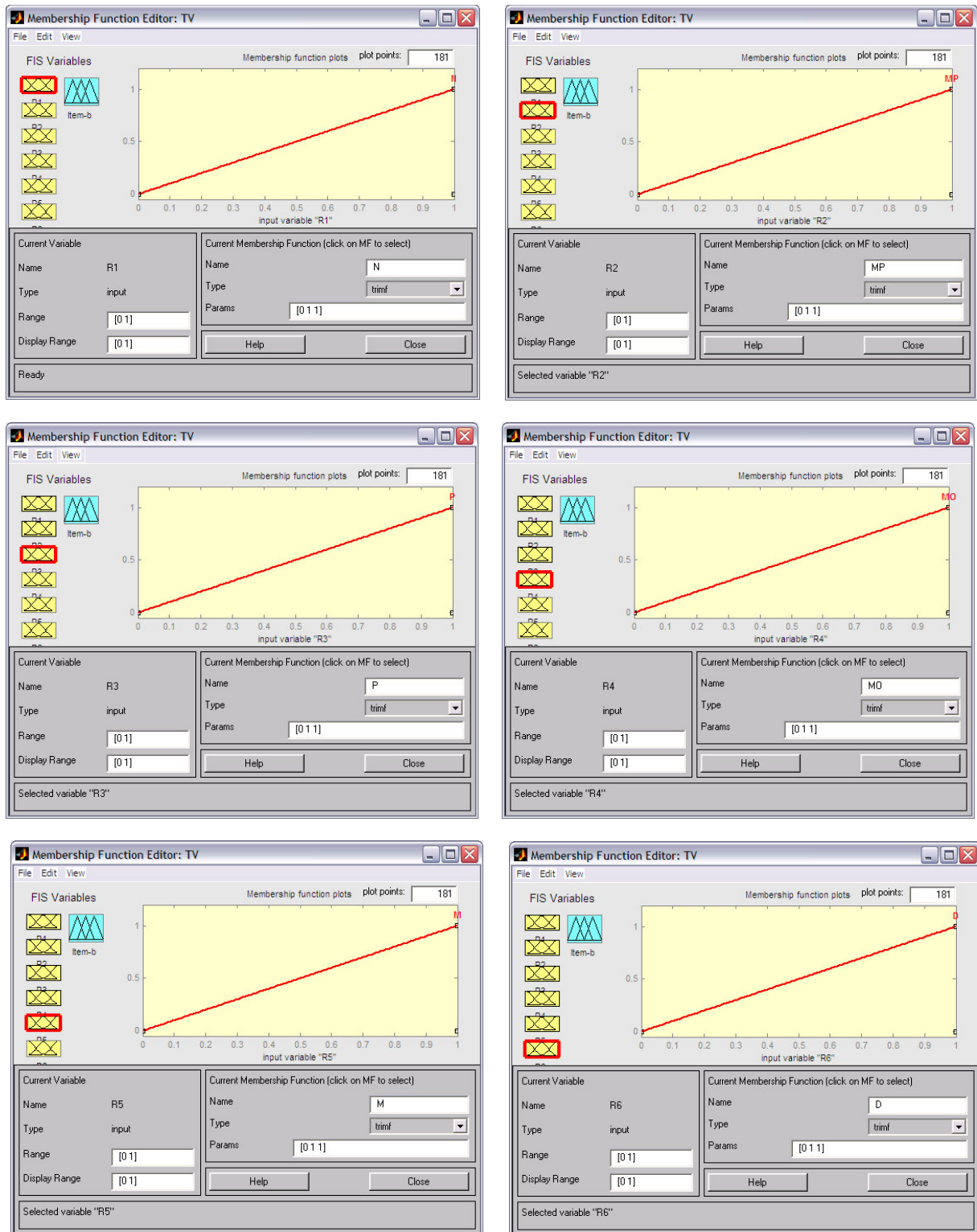
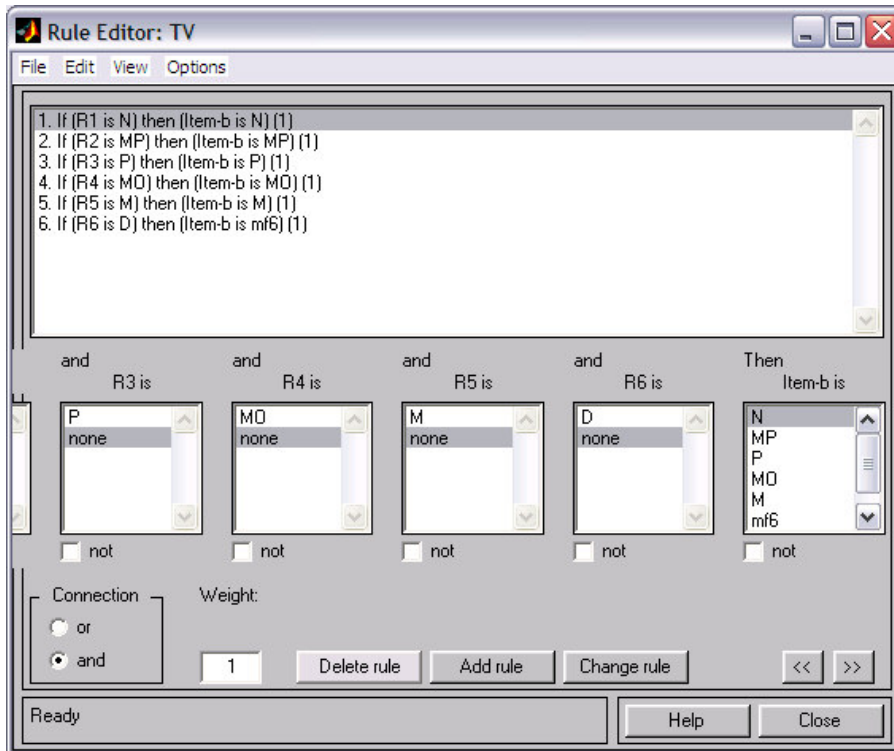
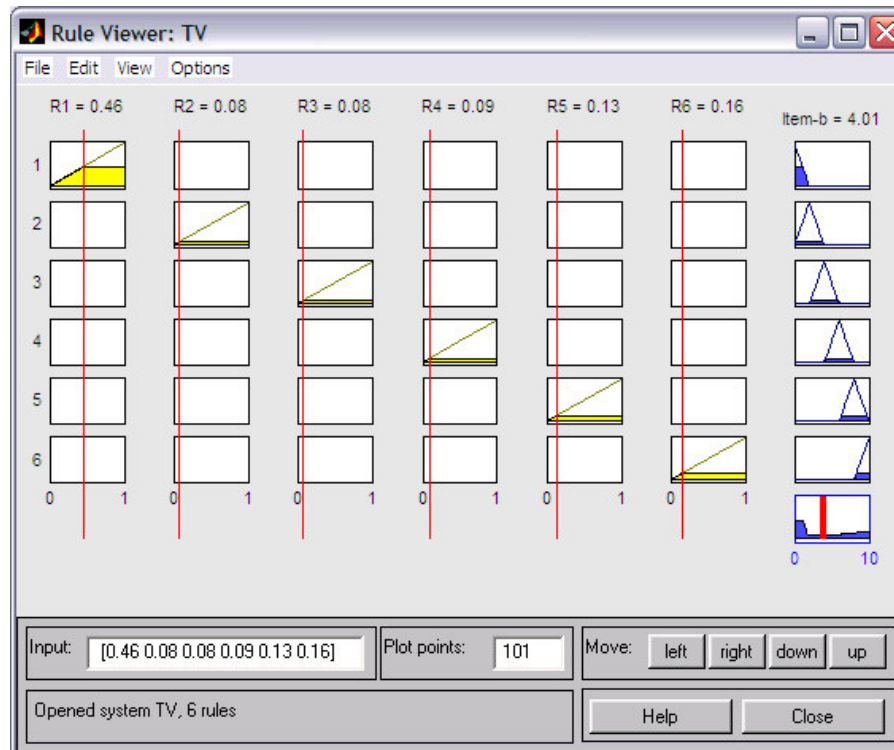


Figura 19. Funções de pertinência desenvolvidas para as variáveis de entrada R5 e R6.



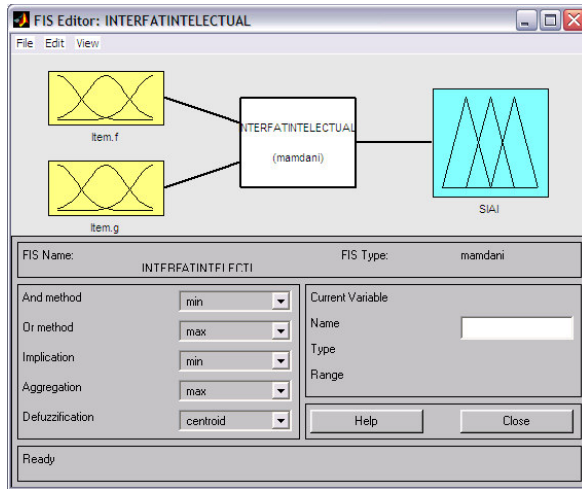
**Figura 20.** Edição das regras de inferência.



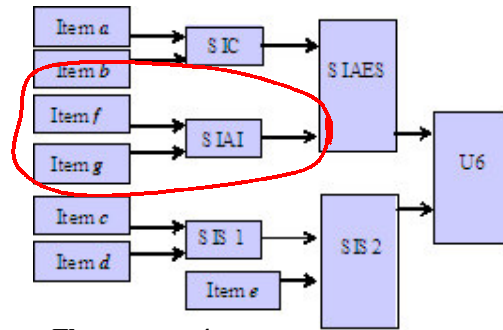
**Figura 21.** Desfuzificação, resultando o valor ‘crisp’4,01 para o nível de interferência ao assistir TV.

### 1.1.2. Algoritmos elaborados para o Sistema Interferência na Atividade Intelectual (SIAI).

Este sistema tem como entrada o Nível de Interferência na Leitura e Nível de Interferência na Concentração (respectivamente, itens *f* e *g* da Questão 1), os quais foram obtidos nas seções 1.1.2.1 e 1.1.2.2. Seguindo os procedimentos já adotados para a obtenção do Nível de Interferência na Comunicação, elaboraram-se funções de



**Figura 22.** Sistema de inferência criado para obter Nível de Interferência nas Atividades Intelectuais.



**Fluxograma 4.**

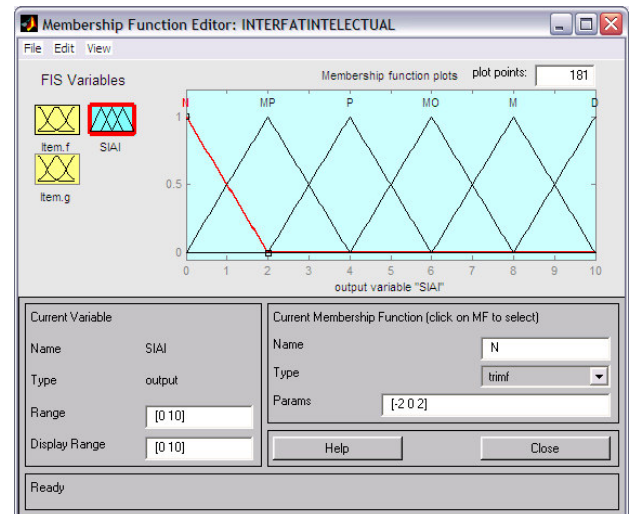
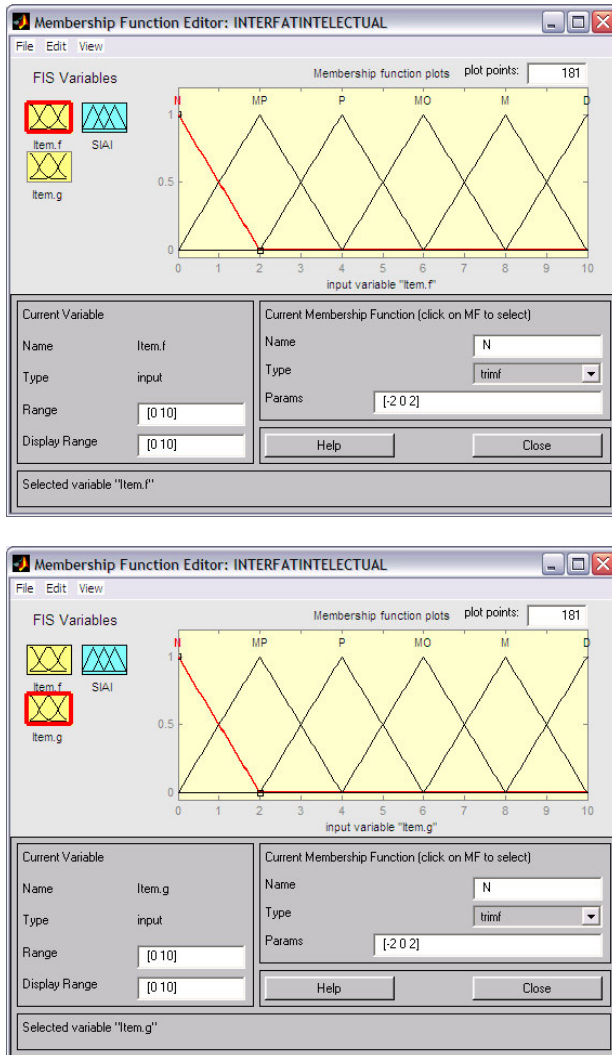
pertinência para as variáveis de entrada e de saída (Figura 24), adotando-se o universo do discurso situado no intervalo [0,10]. A Tabela de decisão 4 orientou a definição das regras de inferência.

**Tabela de decisão 4.** Nível de Interferência na Atividade Intelectual

Item <i>f</i> \ Item <i>g</i>	N	MP	P	MO	M	D
N	N	MP	P	MO	M	D
MP	MP	MP	P	MO	M	D
P	P	P	P	MO	M	D
MO	MO	MO	MO	B	M	D
M	M	M	M	B	M	D
D	D	D	D	D	D	D

**REGRA:** Se “item *f* (Nível de interferência na leitura)” é ... E “item *g* (Nível de interferência na concentração)” é ..., ENTÃO o ‘SIAI (Nível de Interferência na Atividade Intelectual) é ...

Os resultados da desfuzificação realizada para ‘item *f*’ e ‘item *g*’(veja seções 1.1.2.1 e 1.1.2.2) foram introduzidos no visor de regras do *Matlab* e, a partir de uma nova desfuzificação, geraram um Nível de Interferência na Atividade Intelectual 3,18 (veja Figura 25).



**Figura 23.** Funções de pertinência das variáveis de entrada obtidas através dos itens *f* e *g* da Questão 1 e da variável de saída (Nível de Interferência nas Atividades Intelectuais)

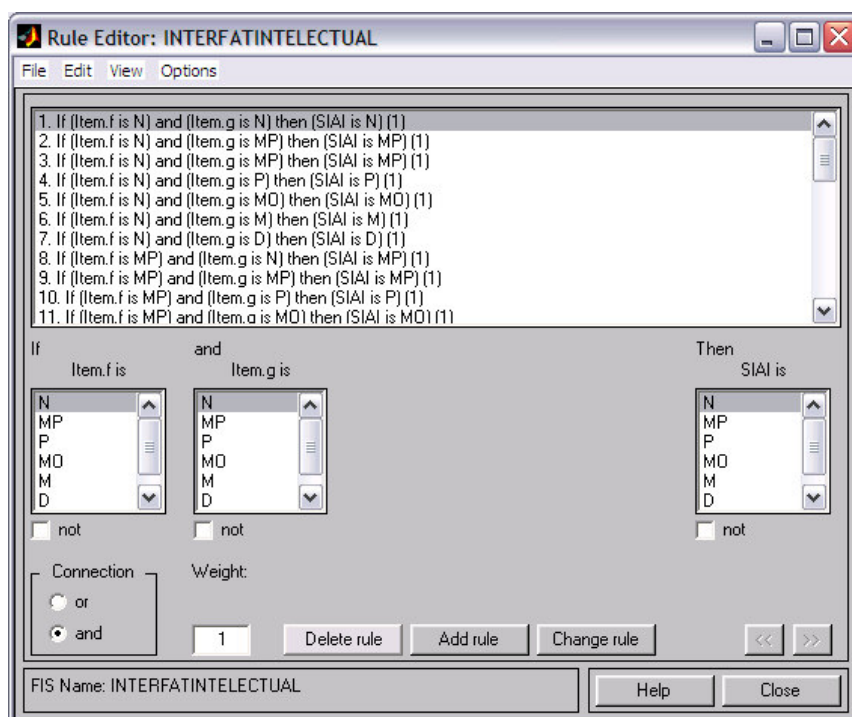


Figura 24. Regras de inferência.

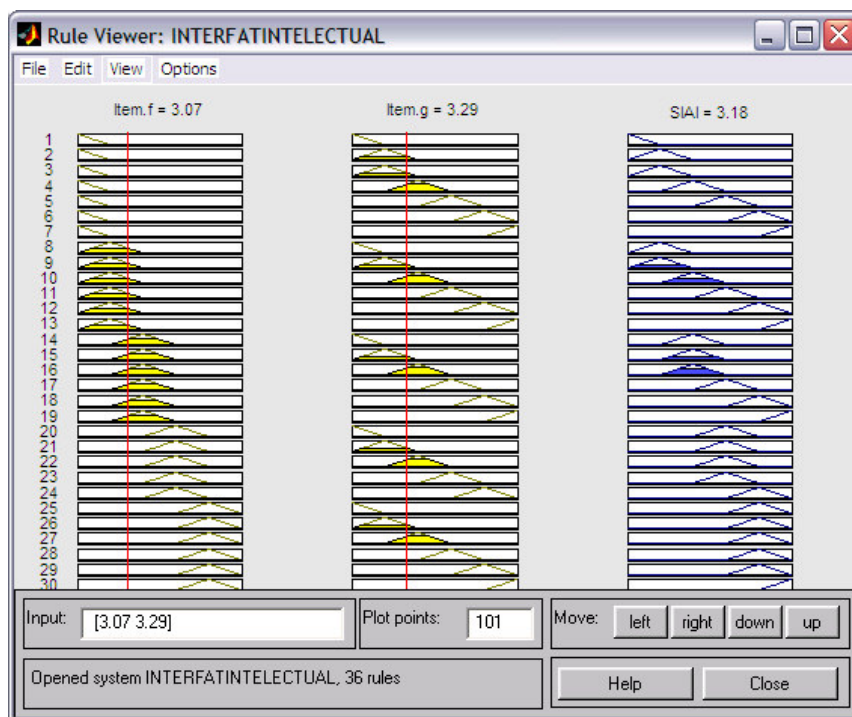
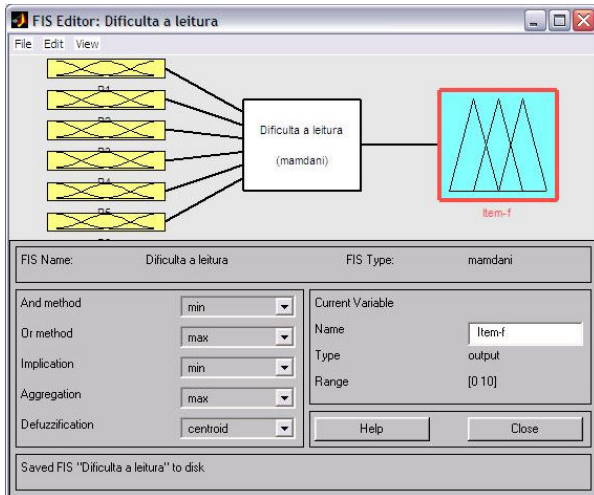


Figura 25. Desfuzificação, tendo como entradas os valores referentes aos itens f e g da questão 1 e resultando um valor “crisp” 3,18 para o Nível de Interferência nas Atividades Intelectuais (dado por SIAI).



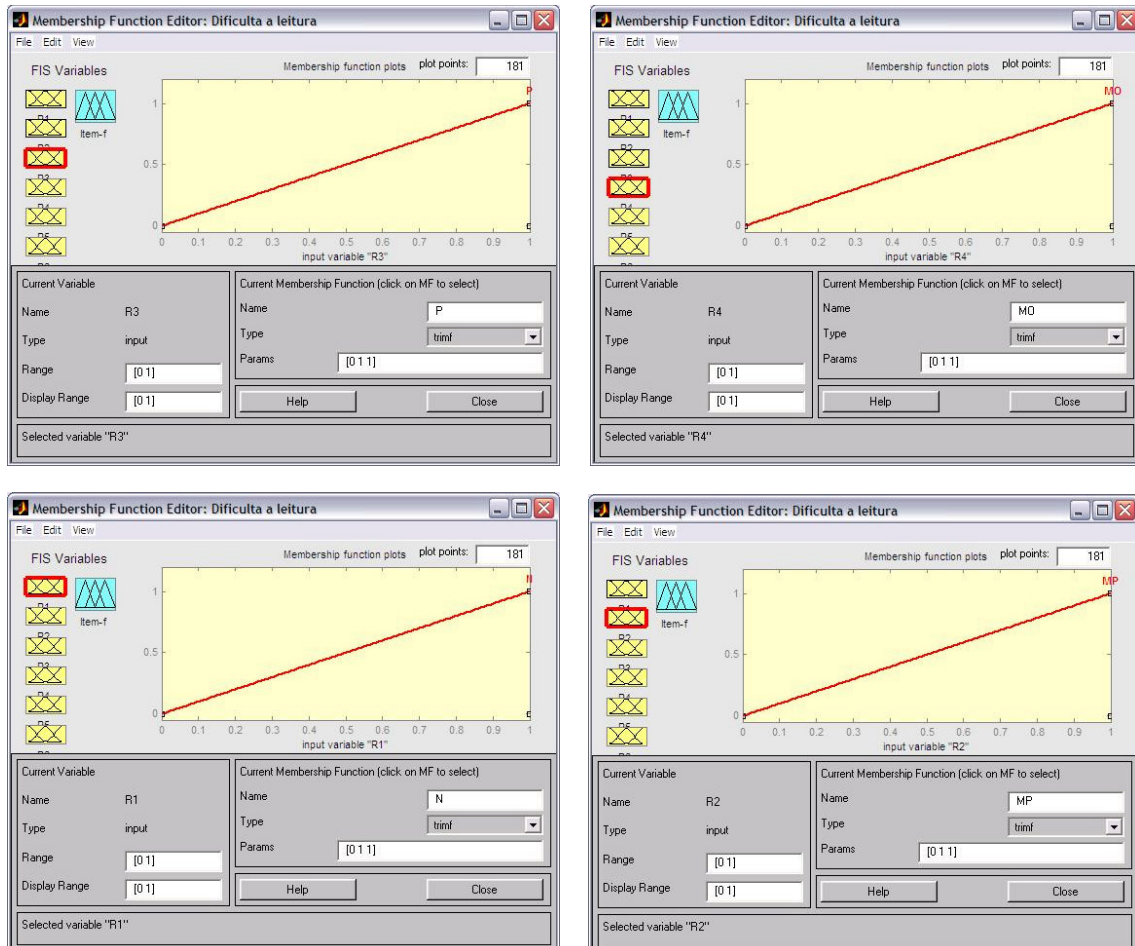
### 1.1.2.1 Algoritmo para obtenção do Nível de Interferência na Leitura (Item *f*: Dificulta a leitura?)



**Figura 26.** Sistema de inferência *fuzzy* criado para obter o Nível de Interferência na Leitura.

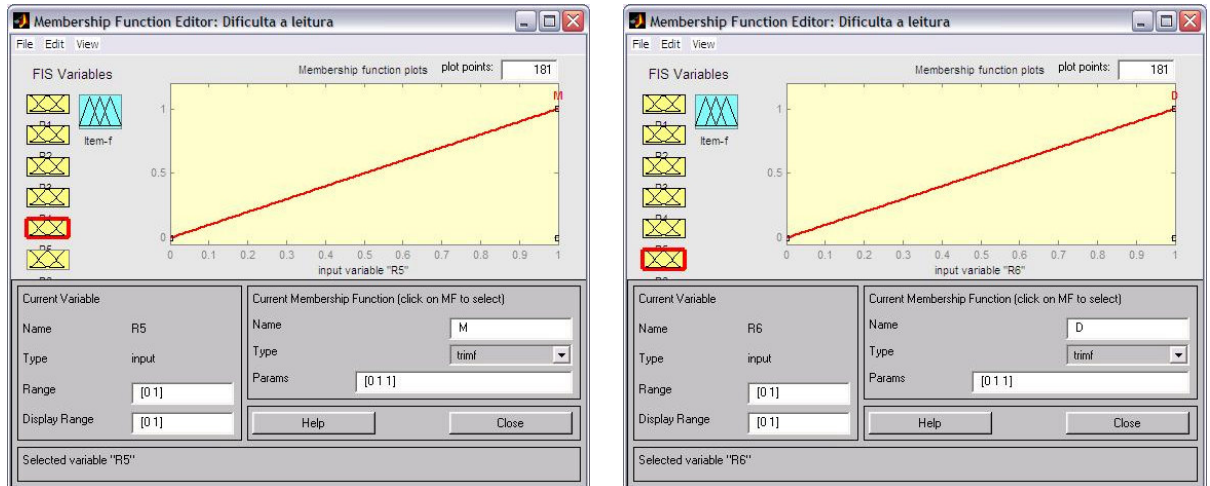
Os critérios adotados para definir o Nível de Interferência na Leitura (item *f*), o Nível de Interferência na Concentração (item *g*), Nível de Interferência no Adormecimento (Item *c*), Nível de Interferência no Despertar Noturno (Item *d*) e Nível de Interferência no Despertar Matinal (Item *e*) foram os mesmos adotados para os itens *a* e *b*, portanto não serão repetidos daqui por diante. Todavia,

serão apresentadas as figuras do *Matlab* que ilustram cada etapa do processo.

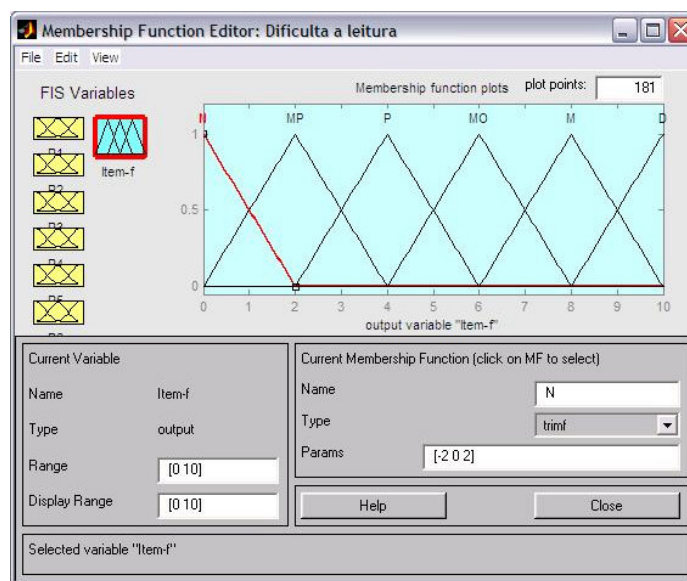


**Figura 27.** Funções de pertinência desenvolvidas para as possibilidades de resposta R1, R2, R3 e R4.





**Figura 28.** Funções de pertinência traçadas para as possibilidades de resposta R5,e R6 .



**Figura 29.** Funções de pertinência elaboradas para a variável de saída.

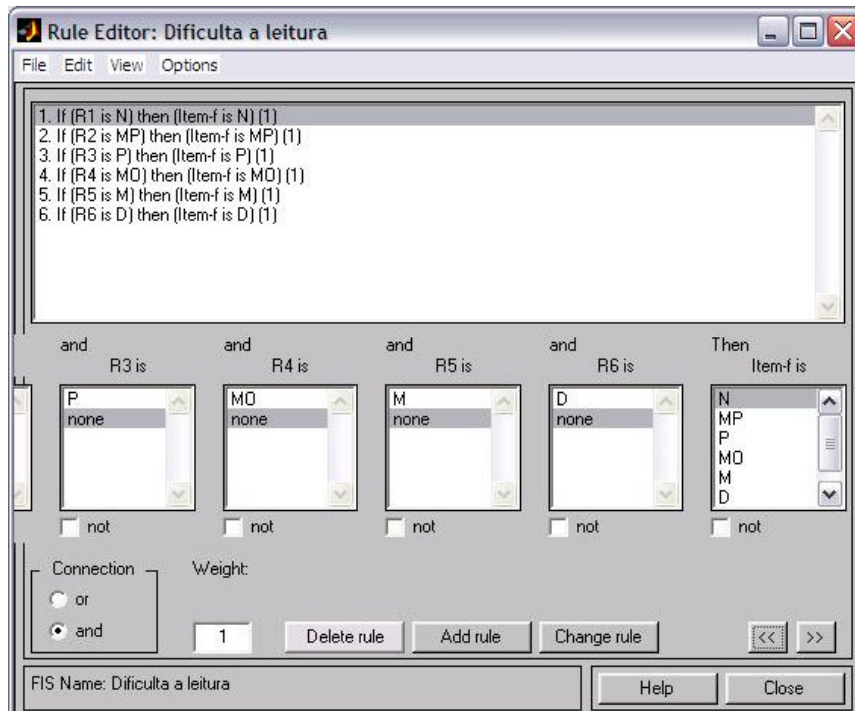


Figura 30. Regras de inferência.

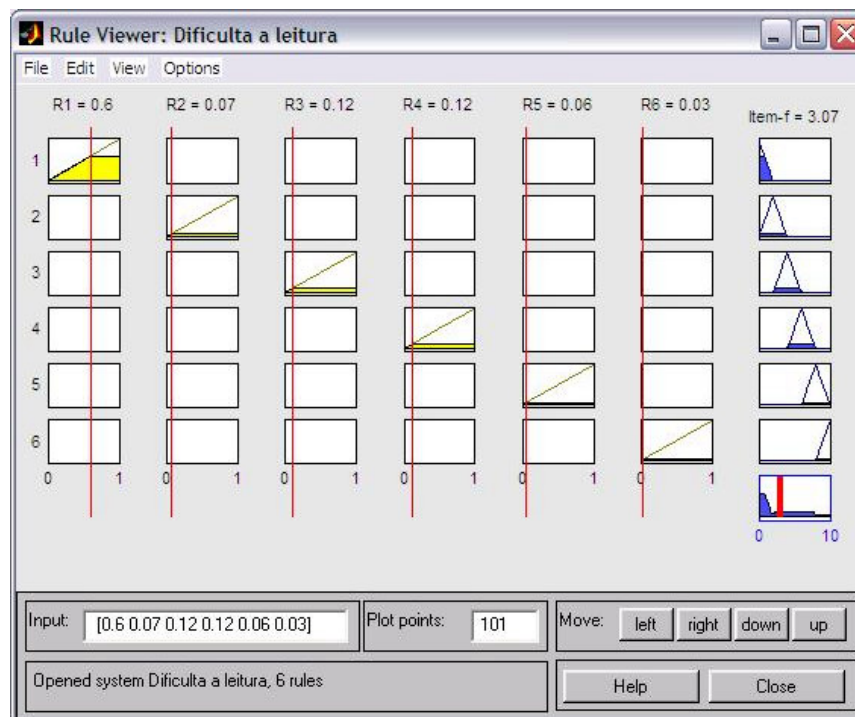
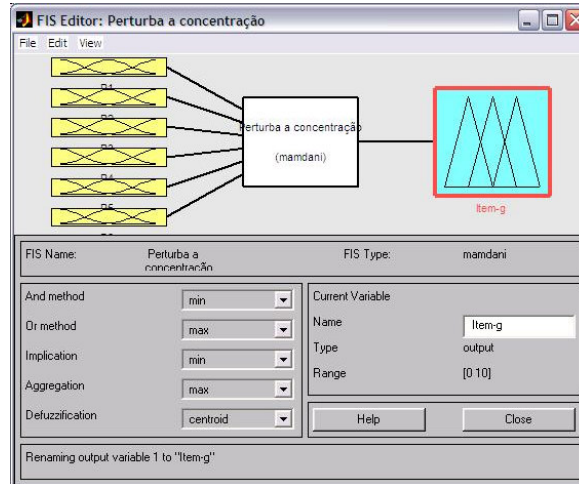
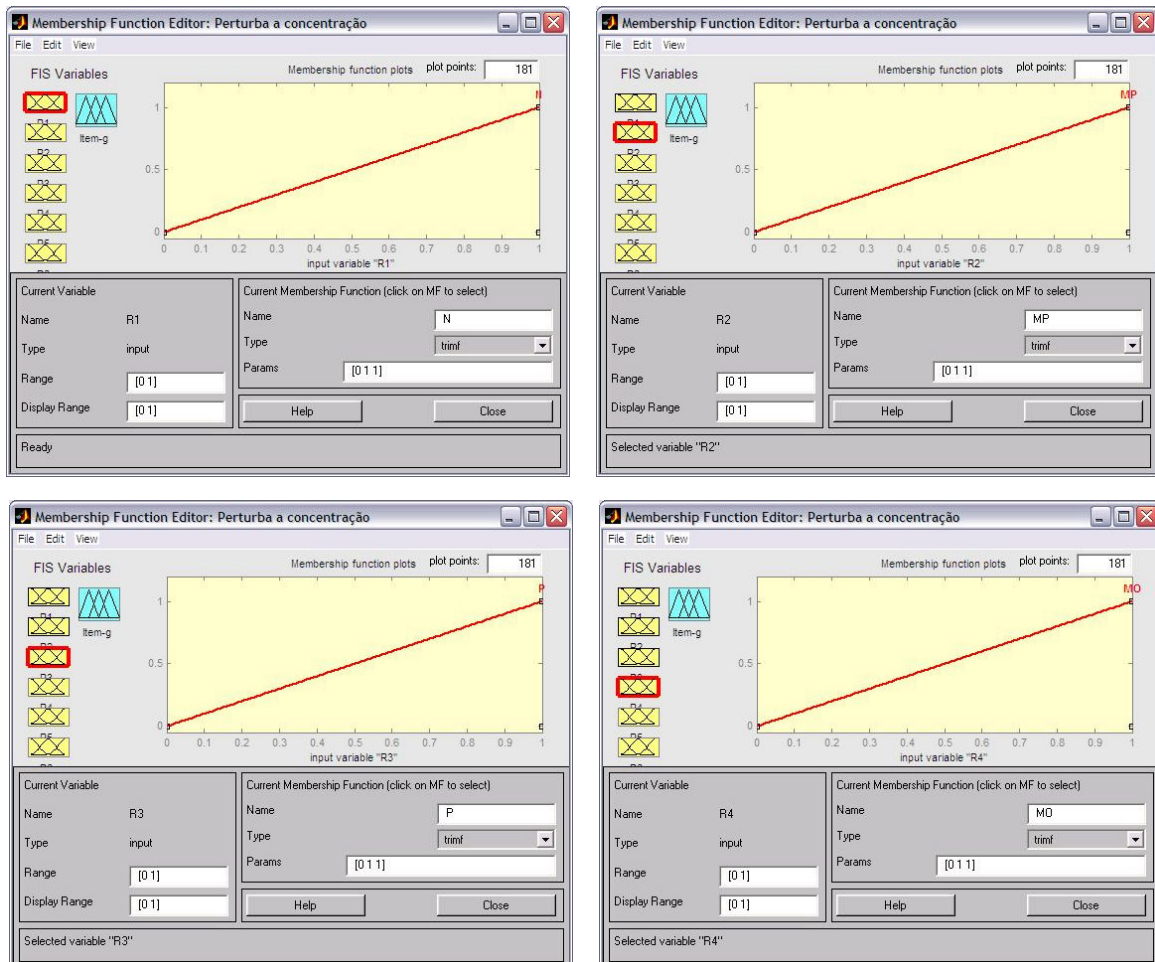


Figura 31. Desfuzificação resultando um valor 3,07 para o Nível de Interferência na Leitura (Item *f* da questão 1)

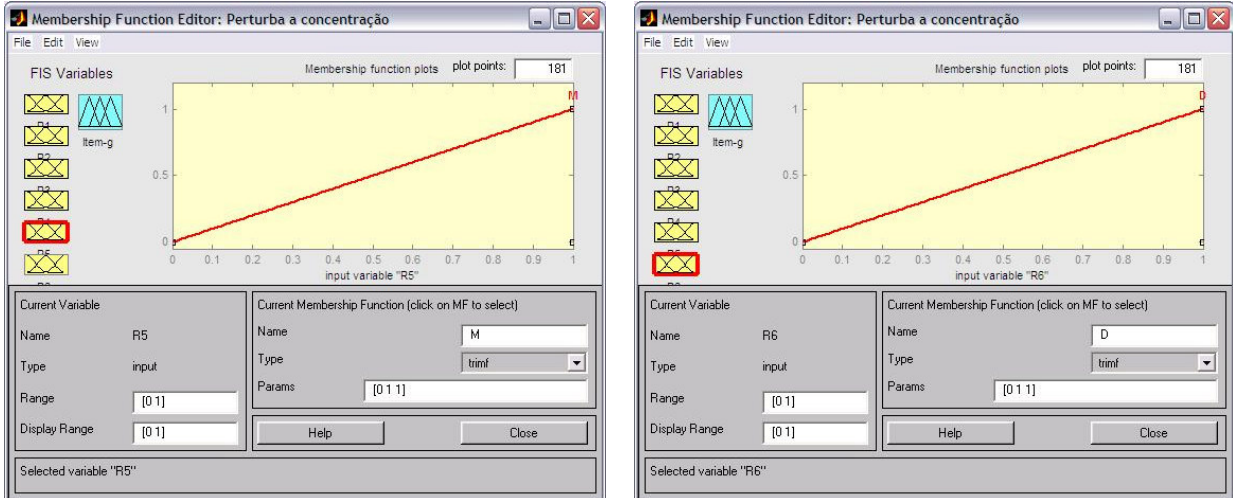
### 1.1.2.2 Algoritmo para obtenção do Nível de Interferência na Concentração (Item g: Perturba a concentração?)



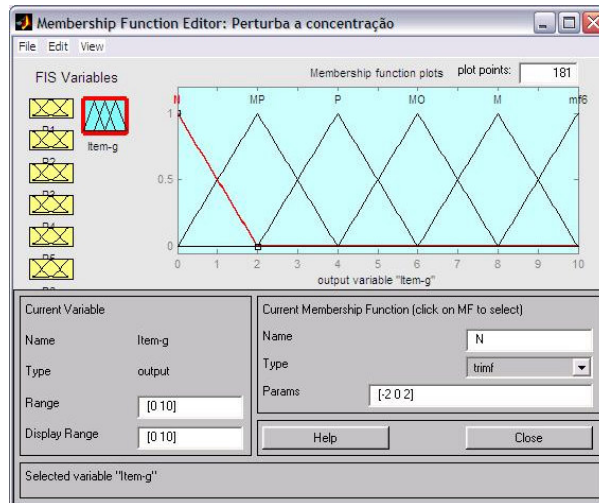
**Figura 32.** Sistema de inferência criado para avaliar o nível de interferência na concentração (Item g da questão 1).



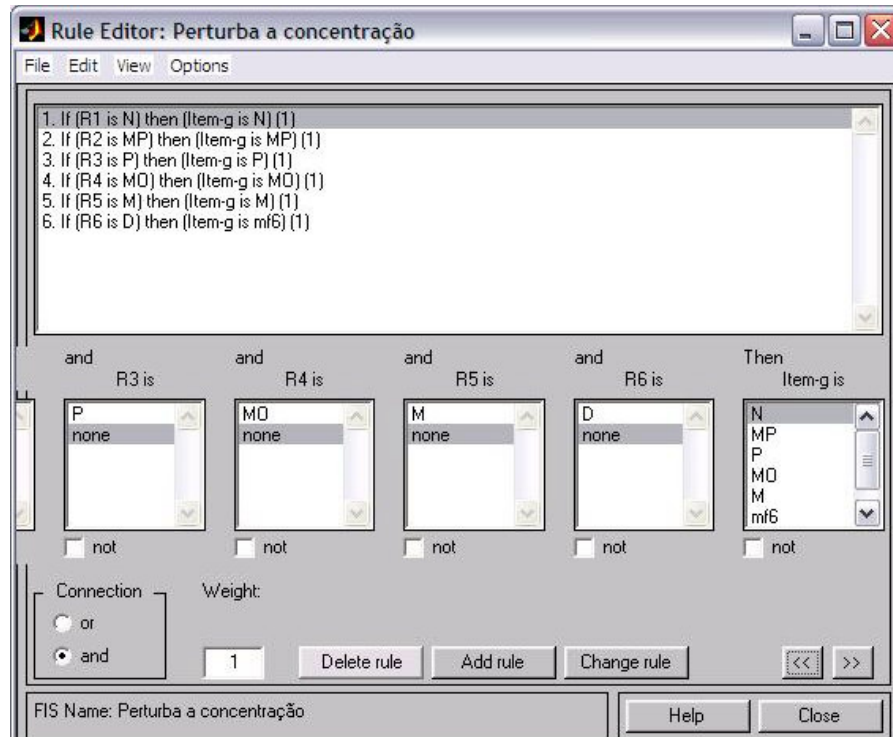
**Figura 33.** Funções de pertinência elaboradas para as possibilidades de resposta (R1,R2, R3 e R4).



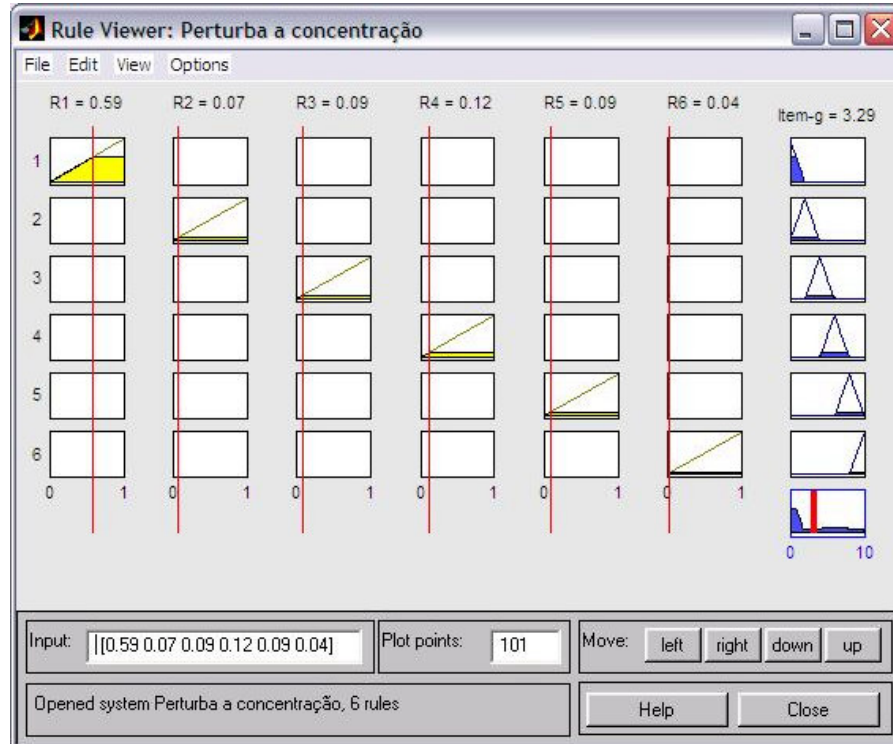
**Figura 34.** Funções de pertinência elaboradas para cada possibilidade de resposta (R5 e R6).



**Figura 35.** Função de pertinência da variável de saída: Nível de Interferência na Concentração (Item g da questão 1).



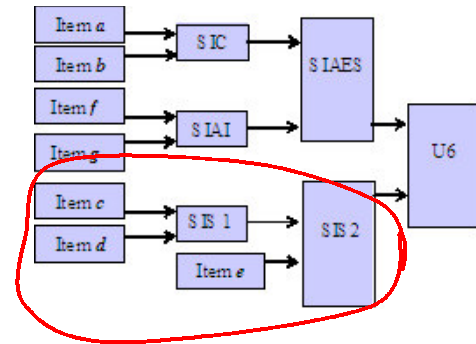
**Figura 36.** Regras de inferência.



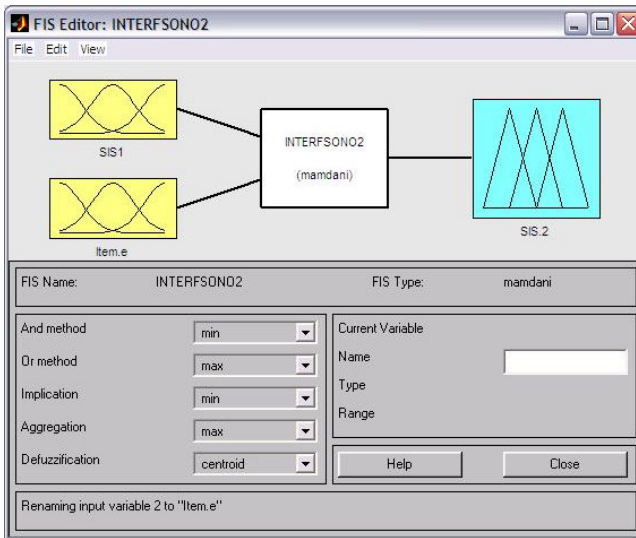
**Figura 37** Desfuzificação, resultando um valor 3,29 para o Nível de Interferência na Concentração.

## 1.2. Algoritmos elaborados para obter o Nível de Interferência no Sono.

Para obter o Nível de Interferência no Sono, a fim de facilitar a entrada de dados no *Matlab* e reduzir o número de regras de inferência a serem elaboradas, foram criados dois sistemas interferência no sono: Sistema Interferência no Sono 1 (SIS 1) e Sistema Interferência no Sono 2 (SIS 2). Os *itens c e d* da Questão 1, respectivamente nível de interferência no adormecimento e nível de interferência no



**Fluxograma 5.**



**Figura 38.** Sistema de inferência elaborado para obter o nível de interferência no sono.

despertar noturno, foram considerados entradas de SIS 1. Em seguida, o *item e*, da Questão 1 (Nível de Interferência no Despertar Matinal), juntamente com SIS 1, serviram de entrada para SIS 2.

Na Figura 38 pode-se visualizar o sistema de inferência criado para obter o Nível de Interferência no Sono (SIS 2). As funções de pertinência atribuídas às variáveis de

entrada e de saída foram associadas aos valores lingüísticos correspondentes às possibilidades de respostas do questionário (Não, Muito Pouco, Pouco, Moderado, Muito e Demais).

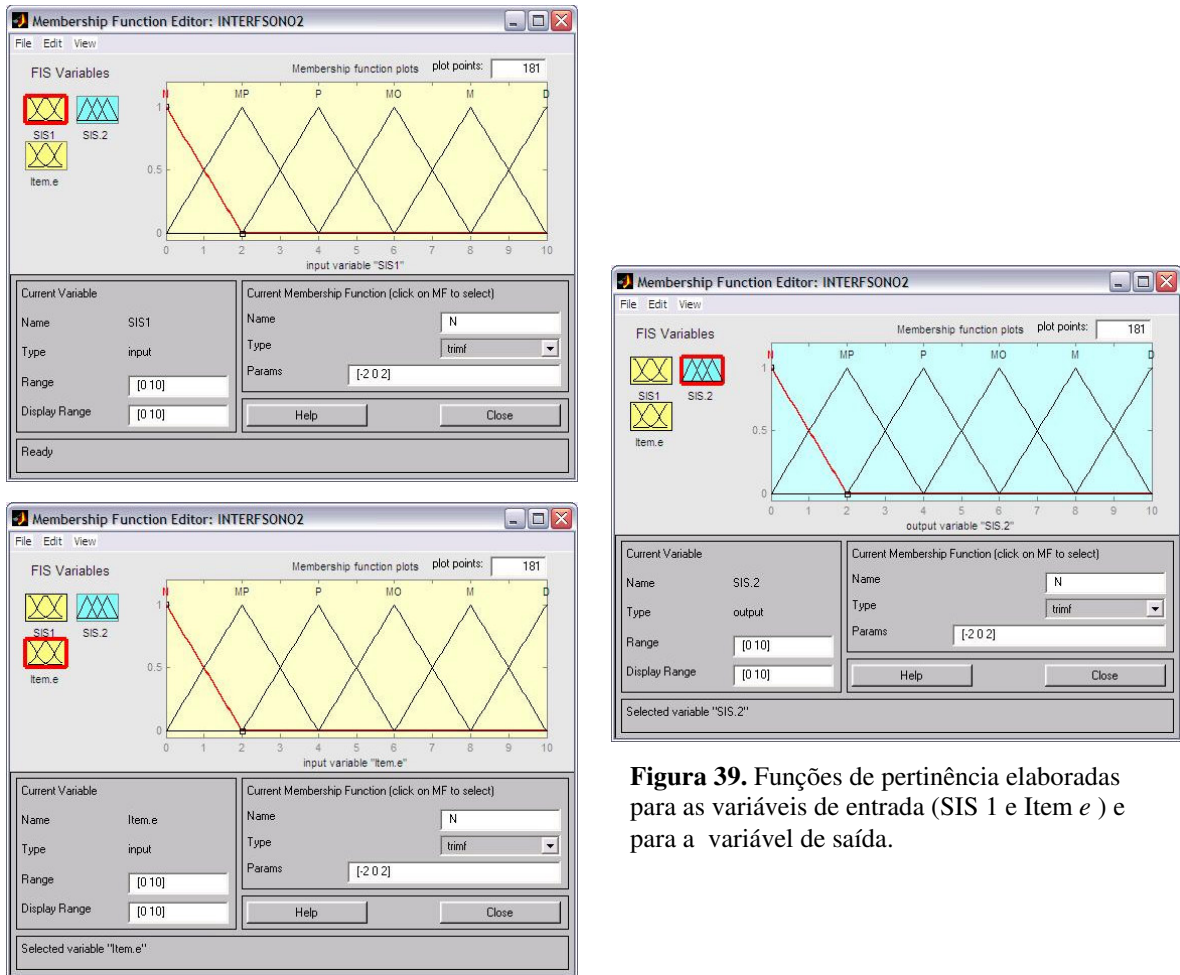
**Tabela de decisão 5.** Nível de Interferência no Sono 2

SIS 1 \ Item e	N	MP	P	MO	M	D
N	N	MP	P	MO	M	D
MP	MP	MP	P	MO	M	D
P	P	P	P	MO	M	D
MO	MO	MO	MO	B	M	D
M	M	M	M	B	M	D
D	D	D	D	D	D	D

**REGRA:** Se “SIS 1” (Nível de Interferência no sono) é ... E “item e” (Nível de interferência no despertar matinal) é ..., ENTÃO “SIS2” ( Nível de Interferência no Sono 2) é ...



O universo do discurso assumido corresponde ao intervalo  $[0,10]$ . A Figura 40 apresenta as funções de pertinência relativas às variáveis de entrada e de saída. A Tabela de Decisão 5 auxiliou na definição das regras de inferência que posteriormente foram editadas no *Matlab* (Figura 40).



**Figura 39.** Funções de pertinência elaboradas para as variáveis de entrada (SIS 1 e Item e ) e para a variável de saída.

Os valores das variáveis de entrada obtidos em 1.2.1 e 1.2.2 foram introduzidos no visor de regras do *Matlab* (Figura 41). A desfuzificação resultou um valor “crisp” 3.1, correspondente ao Nível de Interferência no Sono (SIS 2).

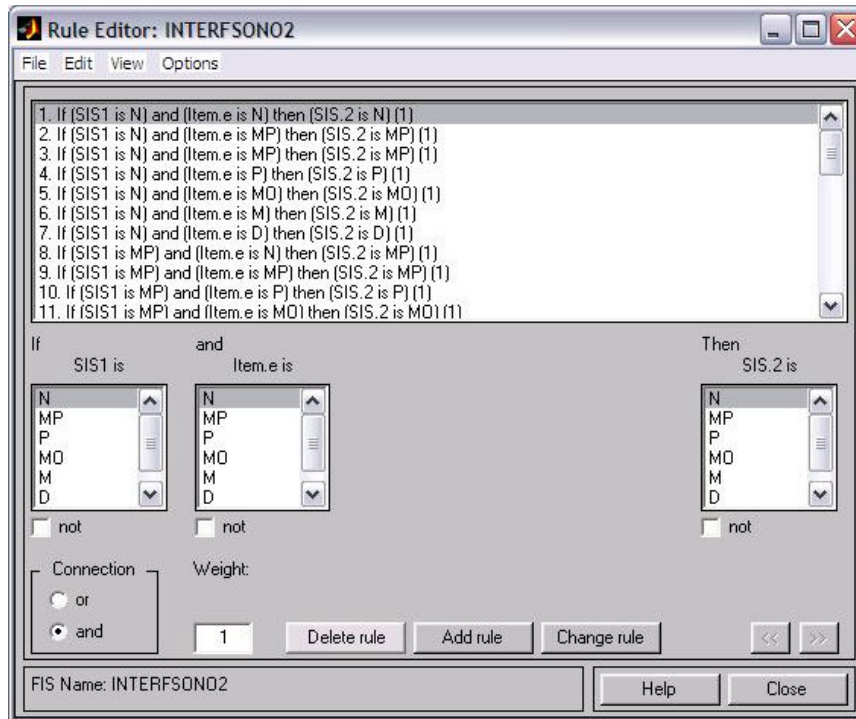


Figura 40. Regras de inferência.

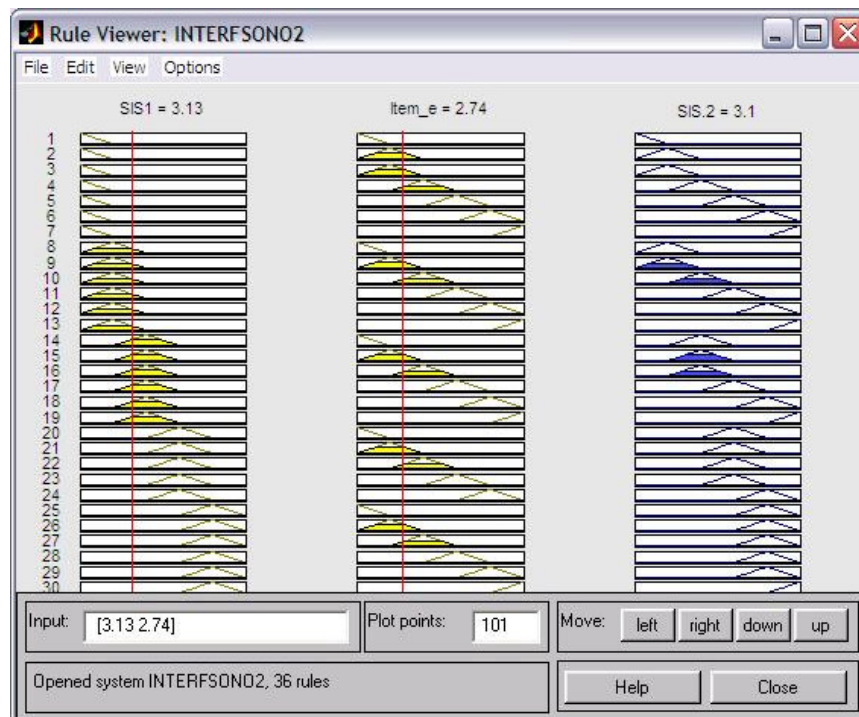
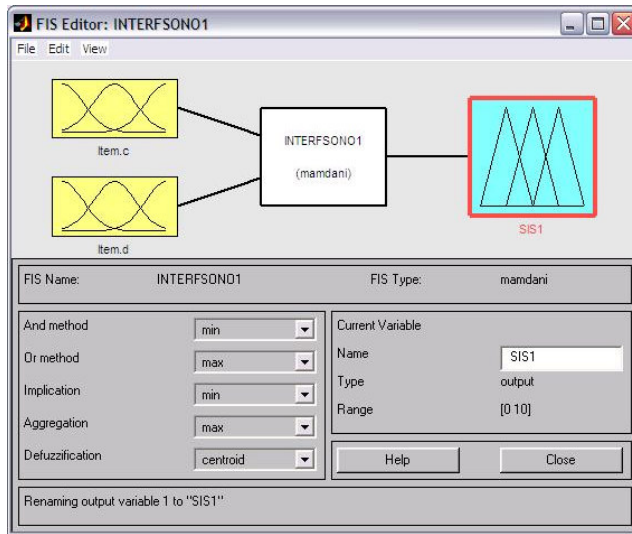


Figura 41. Desfuzificação considerando as entradas SIS 1 = 3.13 e Item  $e$  = 2.74, resultando um valor 3.1 para o Nível de Interferência no Sono



### 1.2.1. Algoritmo para obtenção do nível de interferência no Sono (dado por SIS 1)



**Figura 42.** Sistema de inferência referente ao Nível de Interferência no Sono 1.

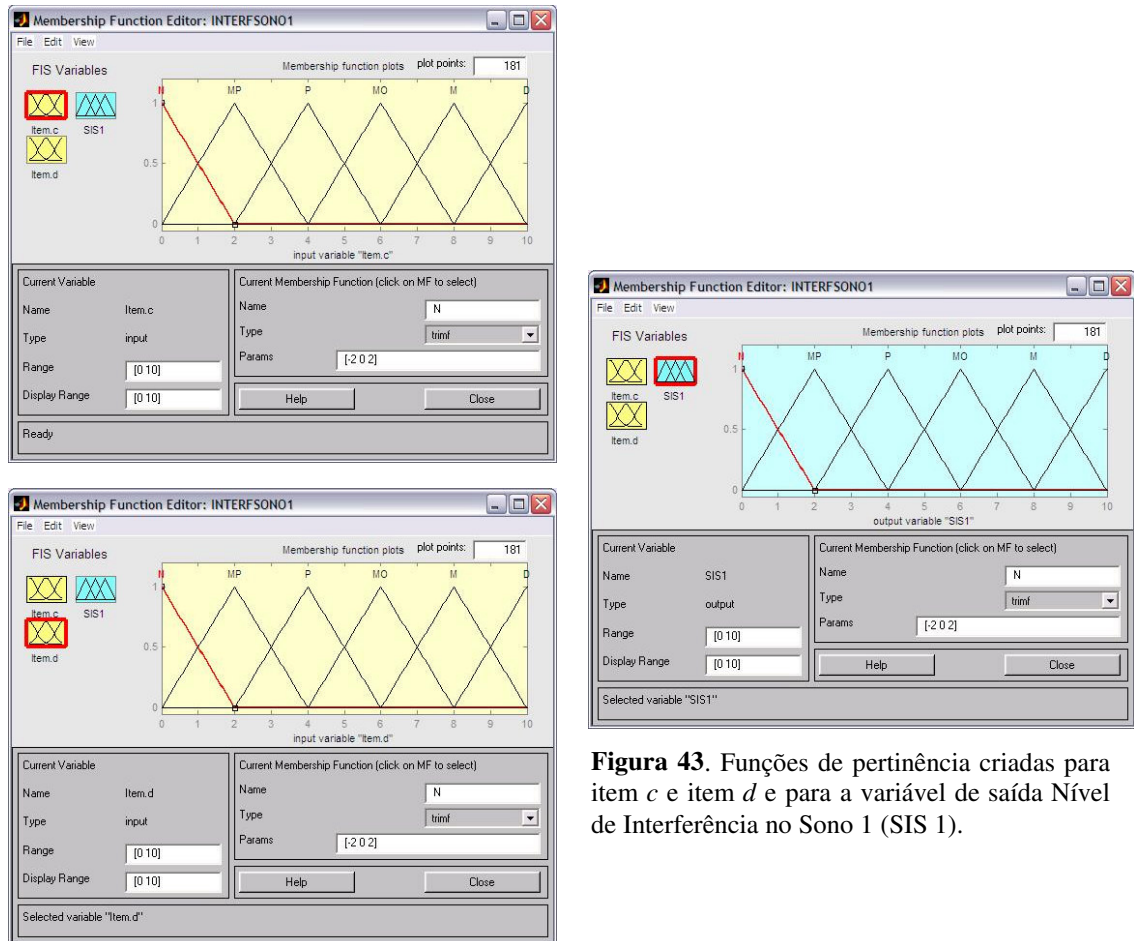
Na determinação do Nível de Interferência do Sono (SIS 1) foram adotados os mesmos procedimentos definidos para o SIS 2. O Sistema de inferência proposto para obter o Nível de interferência no sono teve como entradas o Nível de interferência no adormecimento (item *c* da questão 1) e Nível de interferência no despertar noturno (Item *d* da Questão 1). A Tabela de decisão 6 orientou a designação das regras de inferência

apresentadas na Figura 44. A desfuzzificação resultou um valor 3.13 para o Nível de Interferência no Sono 1 (SIS 1) (Figura 45) .

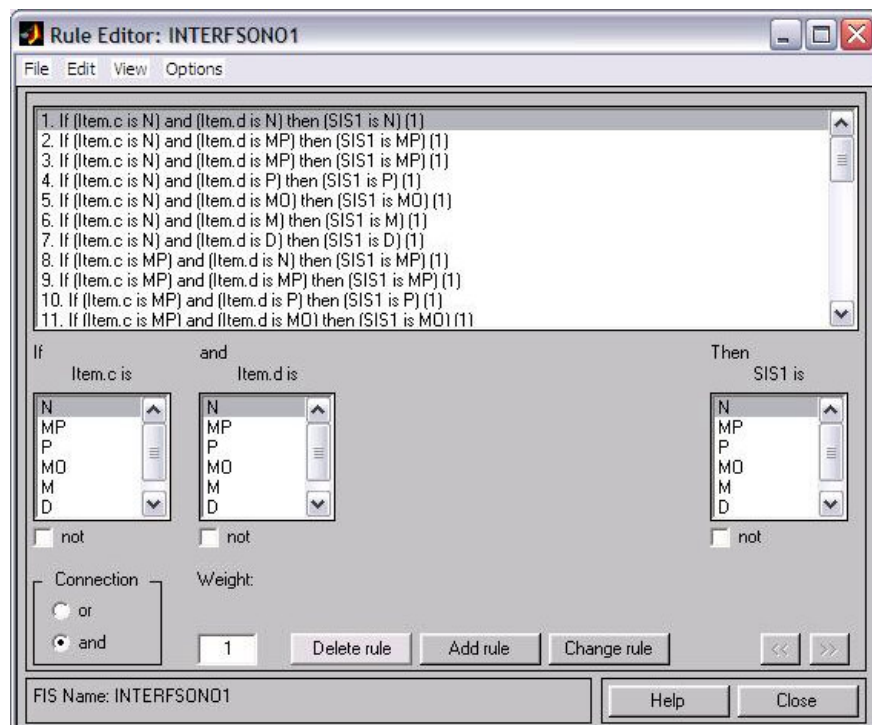
**Tabela de decisão 6.** Nível de Interferência no Sono 1 (SIS 1)

Item c \ Item d	N	MP	P	MO	M	D
N	N	MP	P	MO	M	D
MP	MP	MP	P	MO	M	D
P	P	P	P	MO	M	D
MO	MO	MO	MO	B	M	D
M	M	M	M	B	M	D
D	D	D	D	D	D	D

**REGRA:** Se o Nível de interferência no adormecimento (item *c* ) é ... E Nível de interferência no despertar noturno (Item *d*) é ..., ENTÃO o Nível de Interferência no Sono 1 (SIS 1) é ...



**Figura 43.** Funções de pertinência criadas para item *c* e item *d* e para a variável de saída Nível de Interferência no Sono 1 (SIS 1).



**Figura 44.** Regras de inferência.

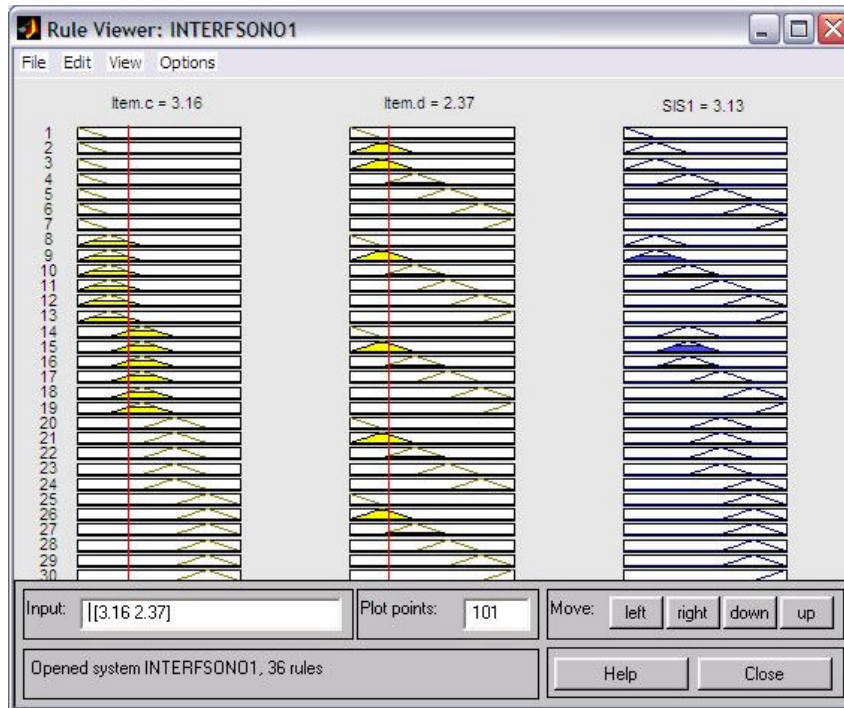


Figura 45. Desfuzificação: item  $c = 3.16$  e item  $d = 2.37$ , resultando  $SIS\ 1 = 3.13$

**1.2.1.1 . a. Algoritmo para obtenção do nível de interferência no adormecimento (Item c: Provoca em você dificuldade de adormecer ?**

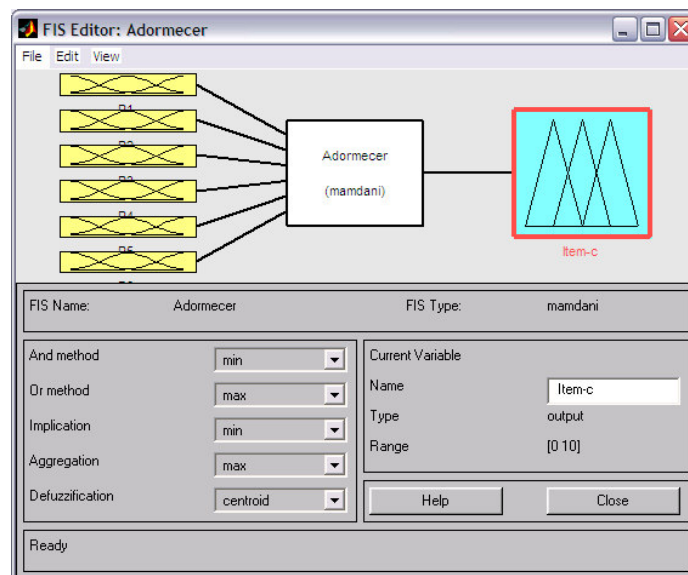
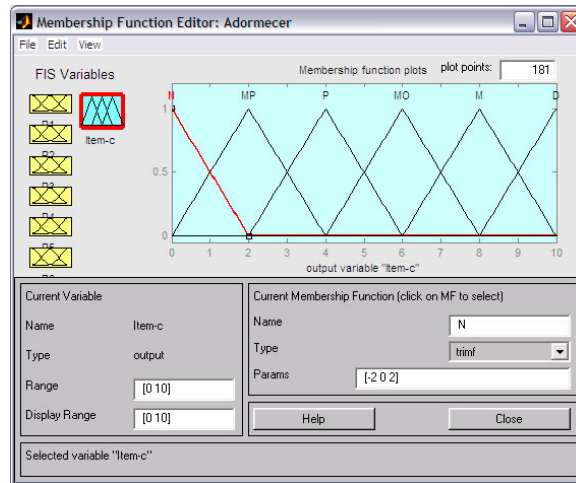


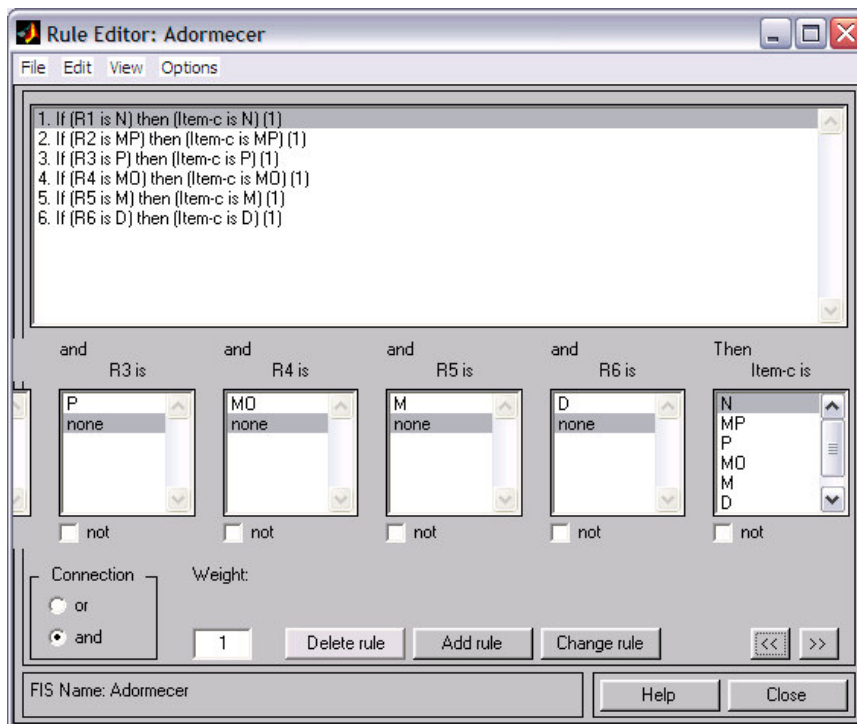
Figura 46. Sistema de inferência elaborado para obter o Nível de interferência no adormecimento.



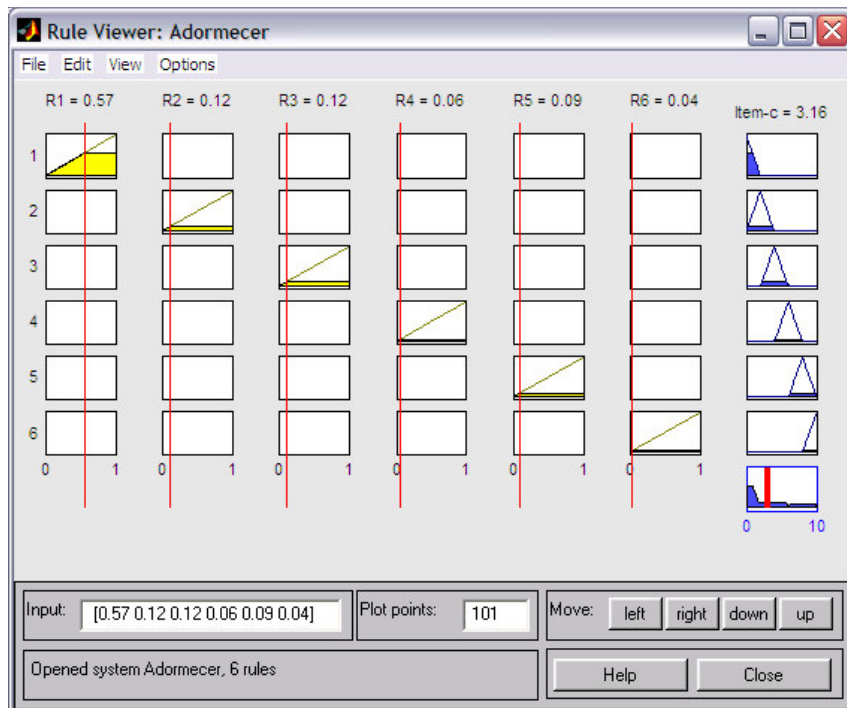
**Figura 47.** Funções de pertinência relativas a cada possibilidade de resposta R1,R2, R3, R4, R5 e R6.



**Figura 48.** Funções de pertinência relativas à variável de saída (Item *c*)

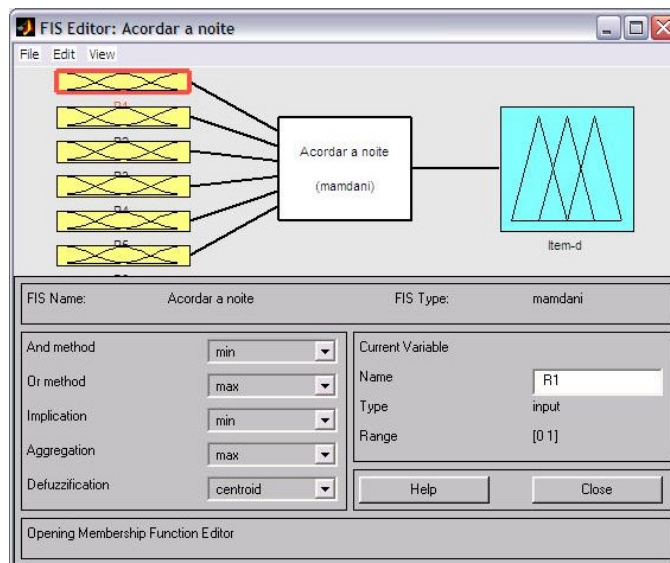


**Figura 49.** Regras de inferência.



**Figura 50** Desfuzificação resultando um nível de interferência no adormecimento 3,16.

### 1.2.1.2. Algoritmo para obtenção do nível de interferência no despertar noturno (Item d: Faz você acordar durante a noite ?)



**Figura 51.** Sistema de inferência relativo ao Nível de Interferência no Despertar noturno.



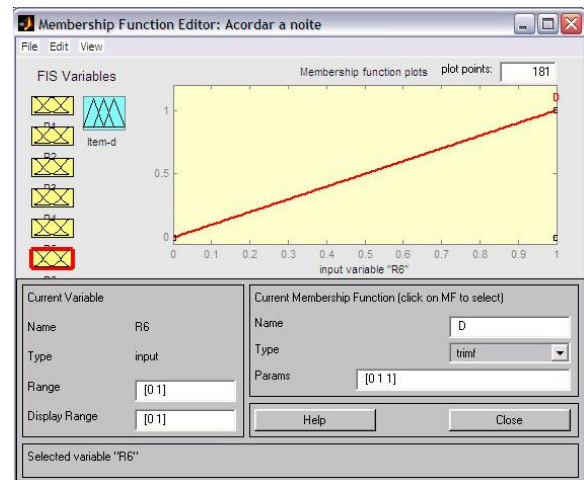
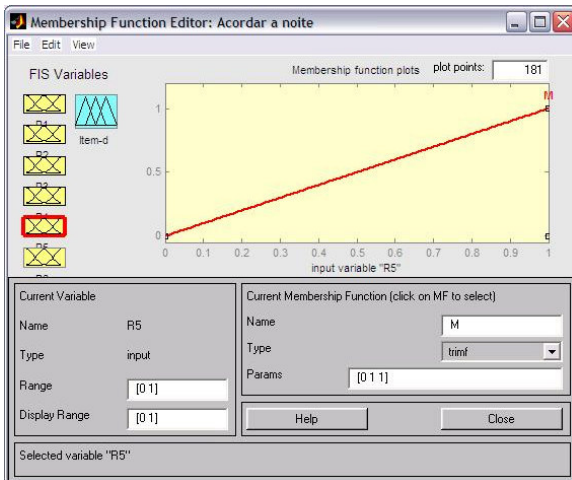
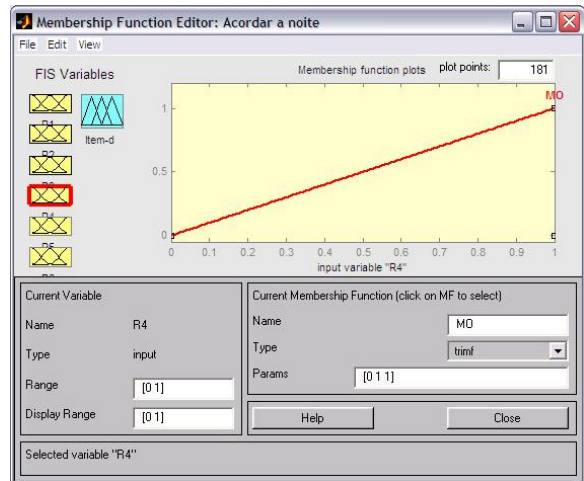
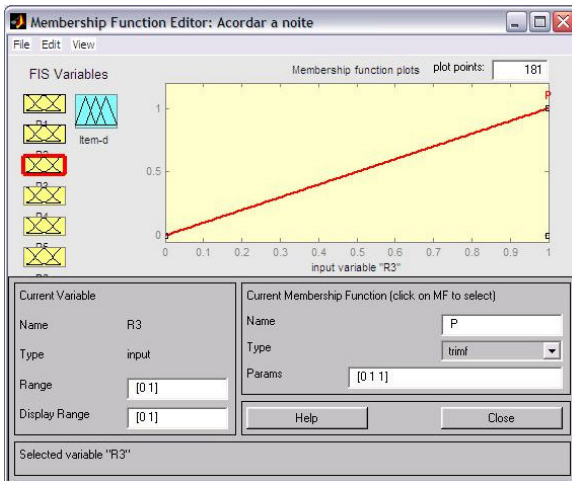
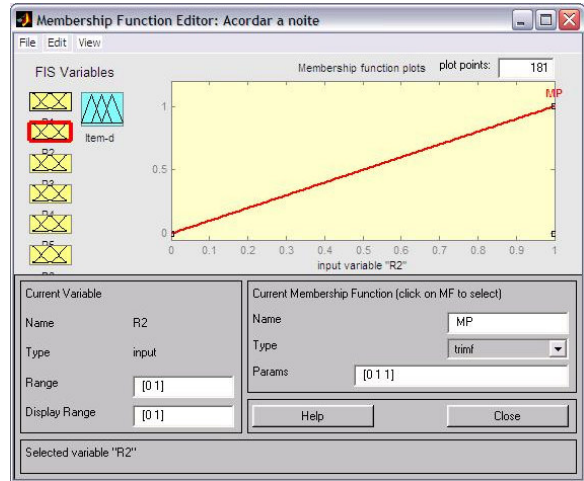
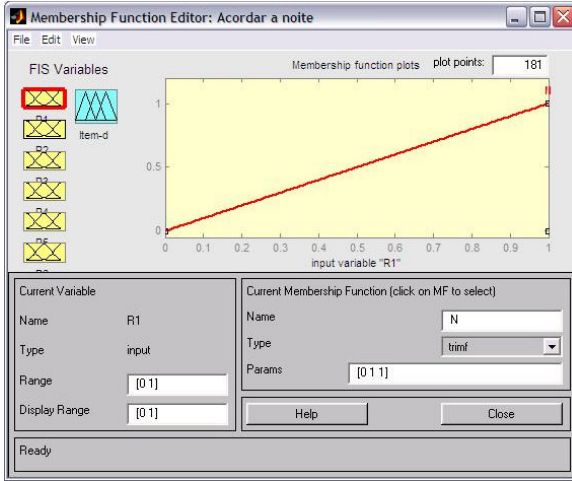


Figura 52. Funções de pertinência relativas a cada variável de entrada

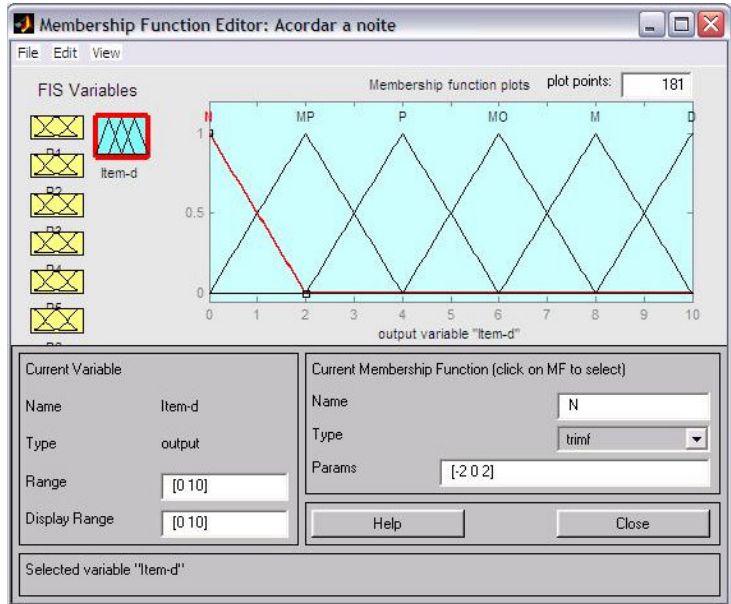


Figura 53. Funções de pertinência relativas à variável de saída: Item *d*.

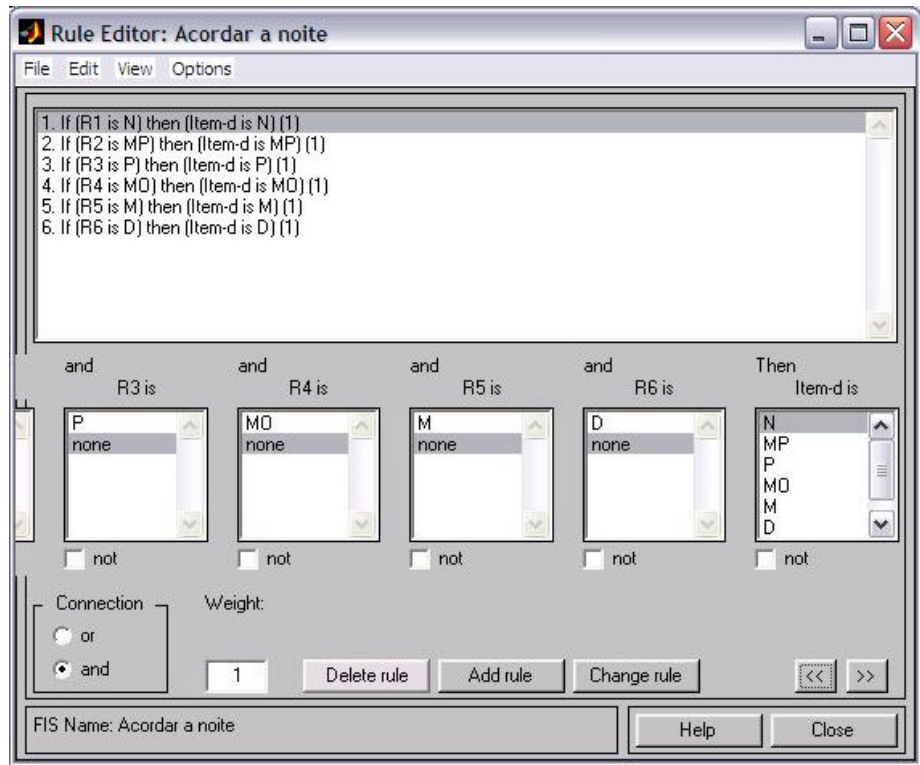
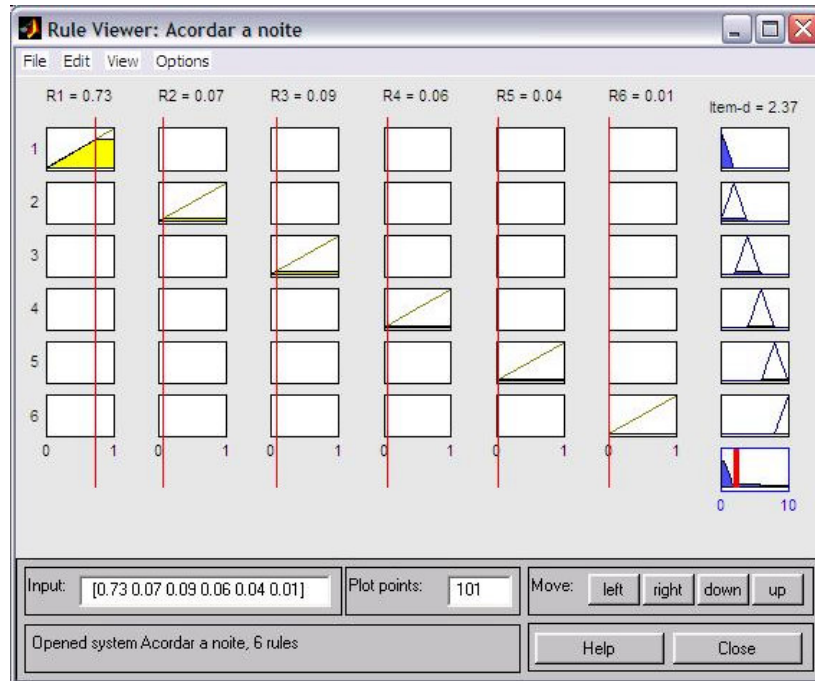


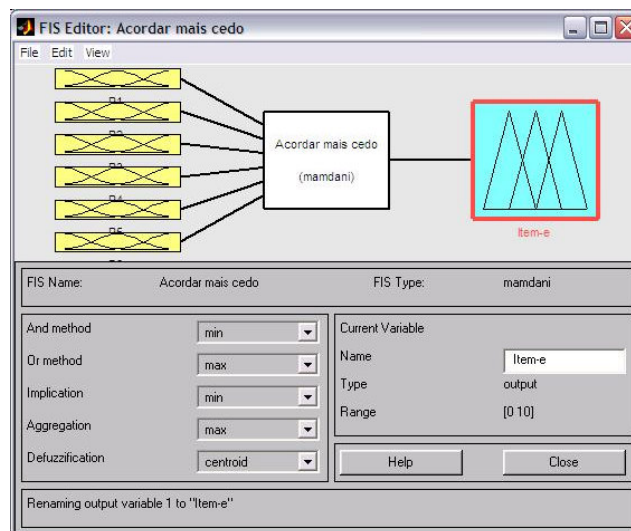
Figura 54. Regras de inferência.





**Figura 55.** Desfuzificação gerando o valor “crisp” 2,37 para o nível de Interferência no Despertar Noturno.

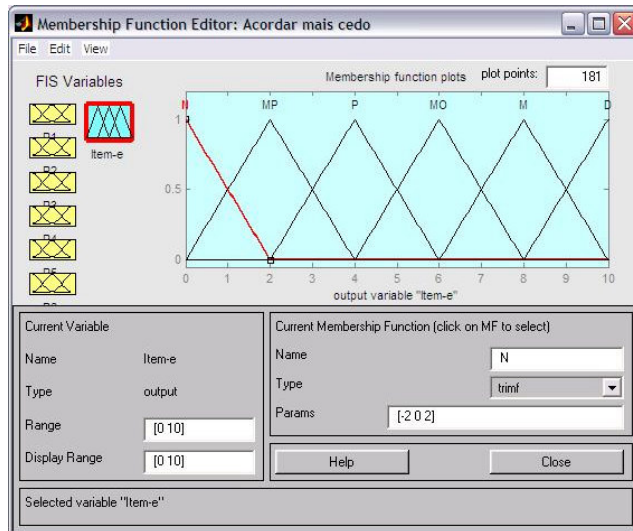
### 1.2.2. Algoritmo para obtenção do Nível de Interferência no Despertar Matinal (Item e: Faz você acordar mais cedo ?)



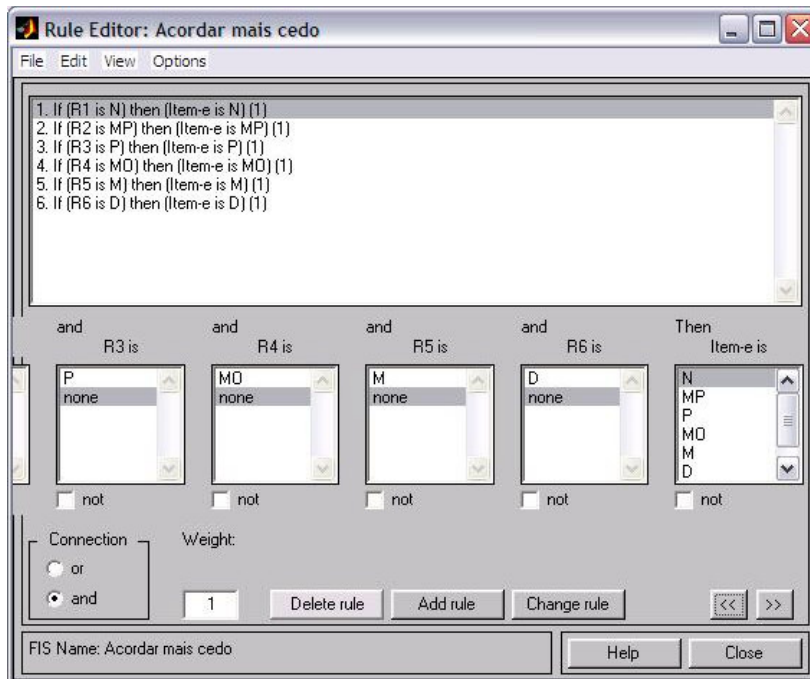
**Figura 56.** Sistema de inferência relativo ao Nível de Interferência no Despertar Matinal.



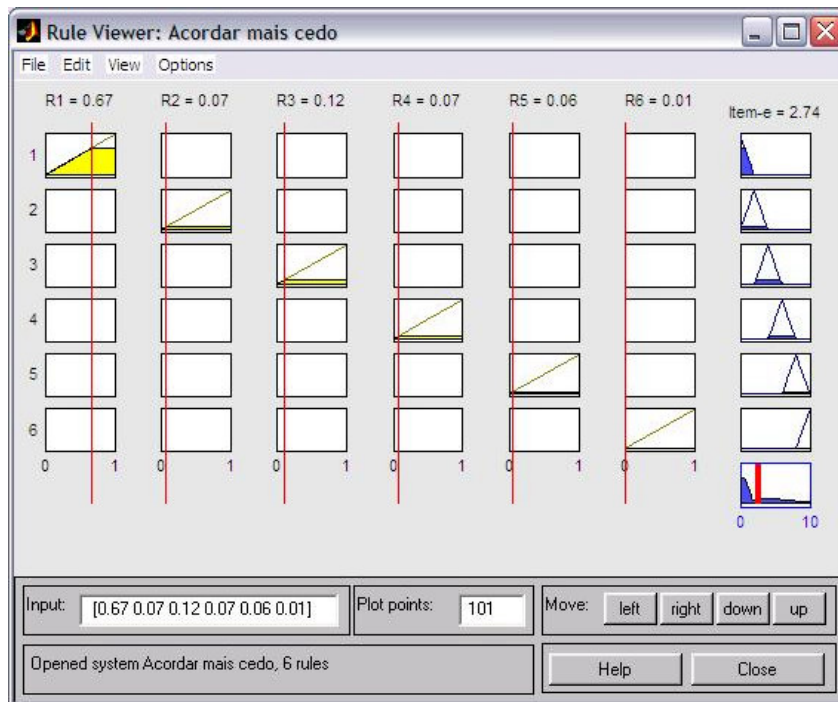
**Figura 57.** Funções de pertinência de cada variável de entrada, considerando as possibilidades de resposta R1, R2, R3, R4, R5 e R6.



**Figura 58.** Funções de pertinência da variável de saída: Item *e*.



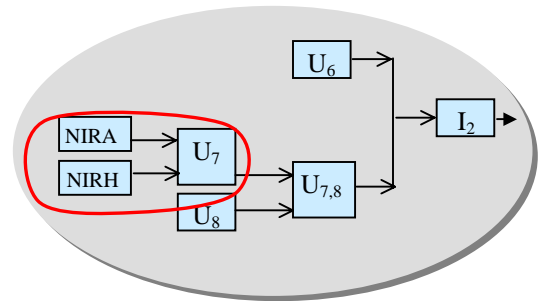
**Figura 59.** Regras de inferência



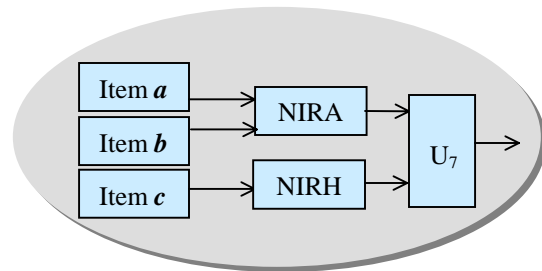
**Figura 60.** Desfuzificação: Porcentagens de R1,R2,R3,R4,R5 e R6 resultando o Nível de Interferência no Despertar Matinal (Item e = 2.74).

## 2. Algoritmo para obtenção do nível de incômodo decorrente do ruído de aeronaves ( $U_7$ )

A variável  $U_7$  resultou do nível de incômodo devido ao ruído de helicópteros (NIRH) e ao ruído de aviões (NIRA) obtido através da tabulação da Questão 2 do questionário aplicado nas áreas residenciais. A Variável NIRH resultou do item  $c$  da referida questão. A variável NIRA resultou dos itens  $a$  e  $b$ . O Fluxograma 1, extraído do Capítulo 5 (indicado em vermelho), e o Fluxograma 2 apresentam  $U_7$  e suas entradas.



**Fluxograma 1.**



**Fluxograma 2.**

Foi elaborado um sistema de inferência para cada um dos itens  $a$ ,  $b$  e  $c$  da referida questão, a qual é transcrita a seguir. Nas colunas referentes às possibilidades de respostas foram indicadas as respectivas percentagens obtidas a partir da tabulação dos questionários aplicados.

O item  $d$  desta questão 2 foi desconsiderado para efeitos da avaliação do Nível de Interferência do Ruído de Aeronaves, pois 86,57 % dos respondentes afirmaram não escutar outros ruídos e entre os 13,43 % demais, 79,1% informaram não incomodar. Estes sons fazem parte do nível de ruído ambiente e são, basicamente provenientes de cachorros latindo, buzinas de veículos, obras e do motor do portão do condomínio.

2) A seguir assinale com um **X** os sons que você escuta e indique se os mesmos o incomodam:

Escuta sons provenientes de:	S	Não	INCOMODAM					
			Não	MP	P	Mod	Muito	Demais
a) Aviões grandes			48%	3%	7%	9%	9%	24%
b) Aviões pequenos			0%	4%	9%	23%	23%	41%
c) Helicópteros			6%	3%	9%	12%	22%	48%
d) Outros. Especifique:			-	-	-	-		

O sistema de inferência criado é apresentado na Figura 1. As funções de pertinência adotadas para as variáveis de entrada e de saída podem ser vistas na Figura 2. Observa-se que foi considerado um universo do discurso situado no intervalo  $[0,10]$ . A Tabela de

decisão 1 define as regras de inferência editadas no *Matlab* (Figura 3). As variáveis de entrada (NIRA e NIRH) e de saída ( $U_7$ ) receberam os valores lingüísticos Não (N), Muito Pouco (MP), Pouco (P), Moderado (MO), Muito (M) e Demais (D). O universo do discurso adotado encontra-se no intervalo [0,10].

**Tabela de decisão 1. Nível de Incômodo devido ao Ruído de aeronaves ( $U_7$ ).**

NIRH \ NIRA	N	MP	P	MO	M	D
N	N	MP	P	MO	M	D
MP	MP	MP	P	MO	M	D
P	P	P	P	MO	M	D
MO	MO	MO	MO	B	M	D
M	M	M	M	B	M	D
D	D	D	D	D	D	D

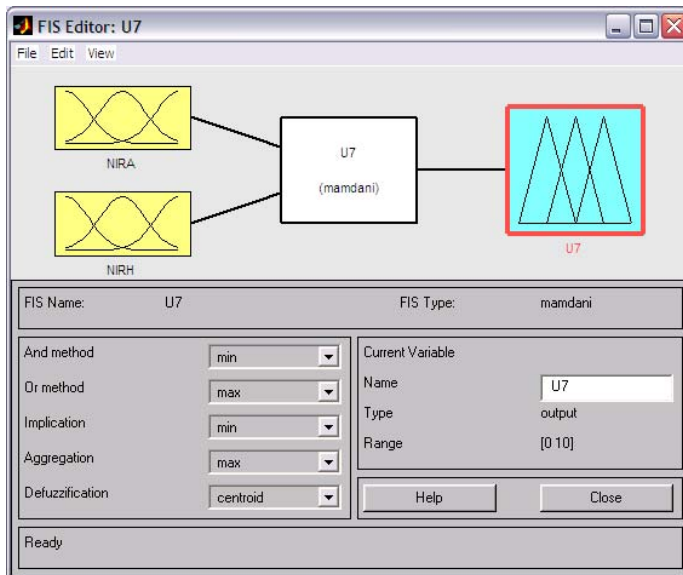
**REGRA:** Se “NIRH (Nível de incômodo devido ao ruído de helicópteros) é ... E NIRA (Nível de incômodo devido ao ruído de aviões) é ..., ENTÃO o Incômodo devido ao Ruído de aeronaves ( $U_7$ ) é ...

A partir da desfuzzificação obteve-se um valor 6,95 para o Nível de Incômodo decorrente

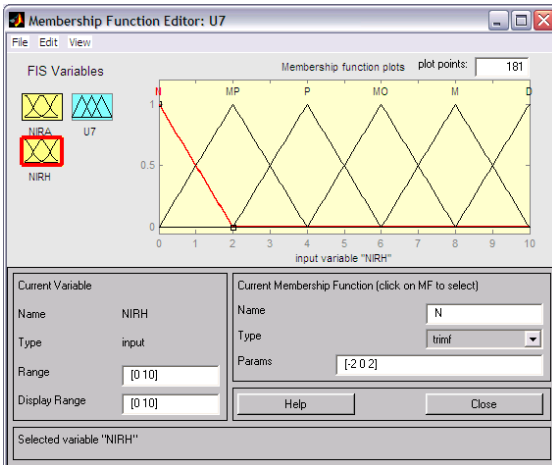
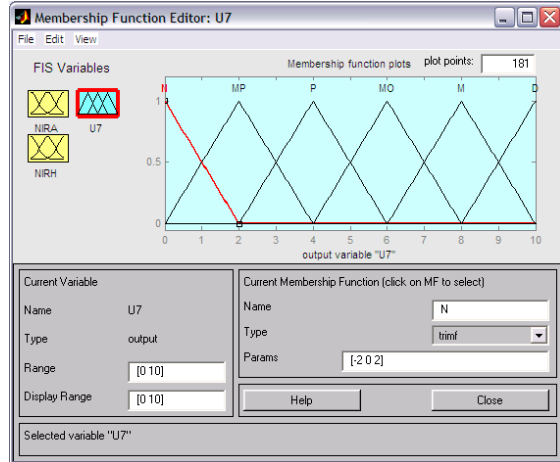
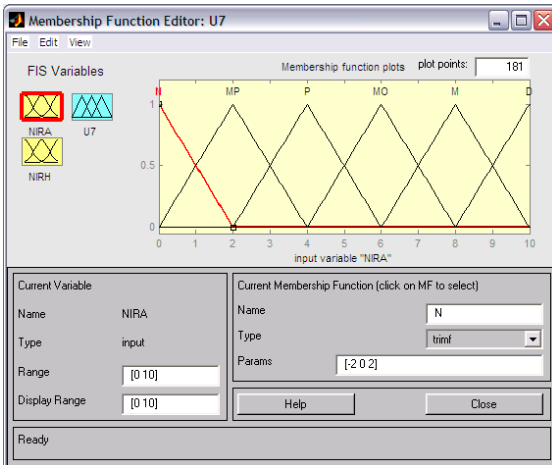
do Ruído de Aeronaves ( $U_7$ ).

Este valor foi alcançado após a inserção, no visor de regras do *Matlab*, dos valores 6.83 e 6.94 correspondentes,

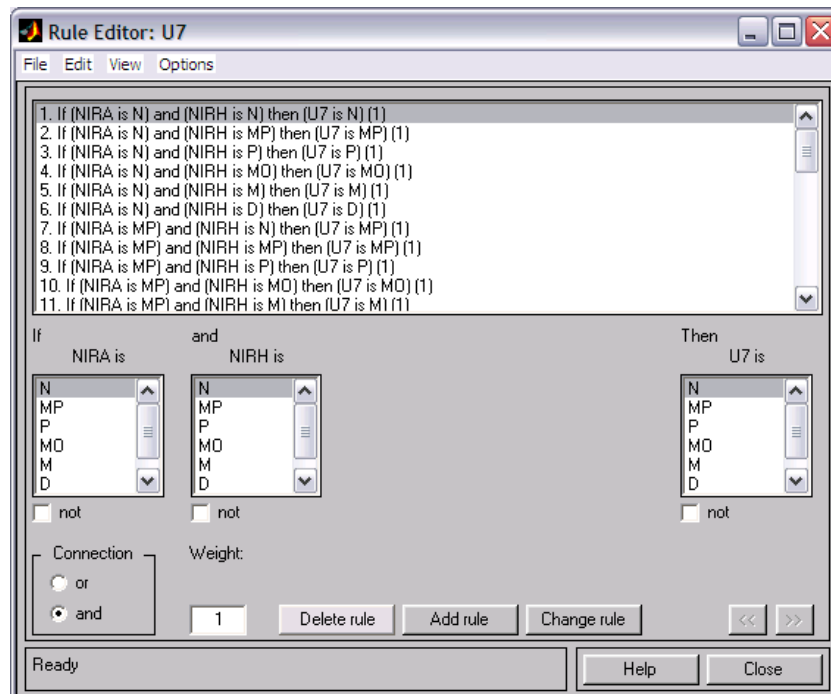
respectivamente, ao Nível de Incômodo decorrente do Ruído de Aviões (NIRA) e ao Nível de Incômodo decorrente do Ruído de Helicópteros (NIRH) obtidos nas seções 2.1 e 2.2 deste Apêndice (Figura 4).



**Figura 1.** Sistema de inferência *fuzzy* desenvolvido para obter o Nível de Incômodo decorrente do Ruído de Aeronaves.

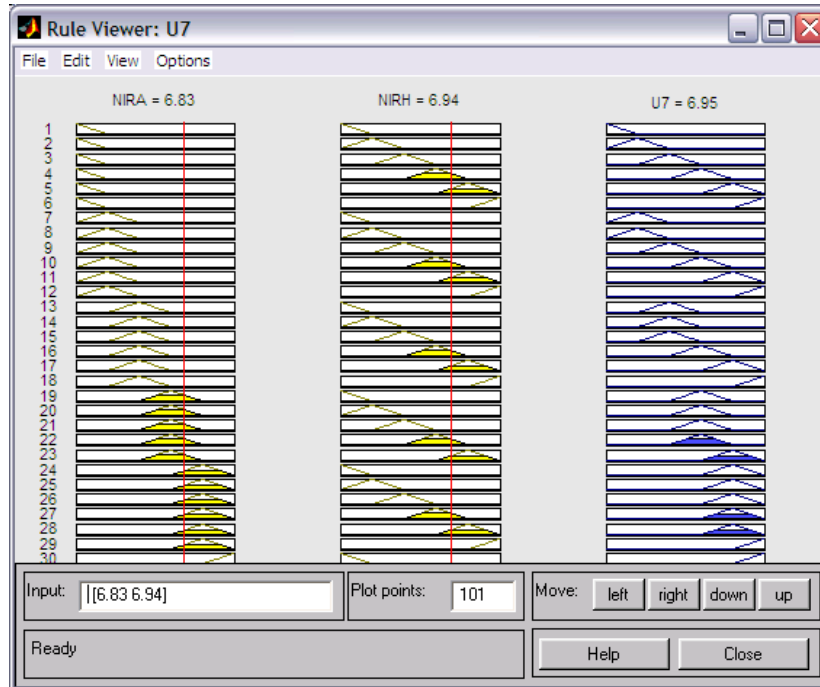


**Figura 2.** Funções de pertinência relativas às variáveis de entrada (NIRA e NIRH) e de saída (U<sub>7</sub>)



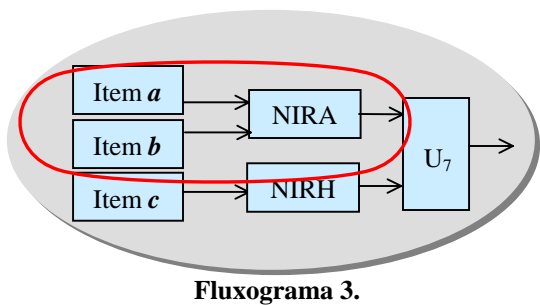
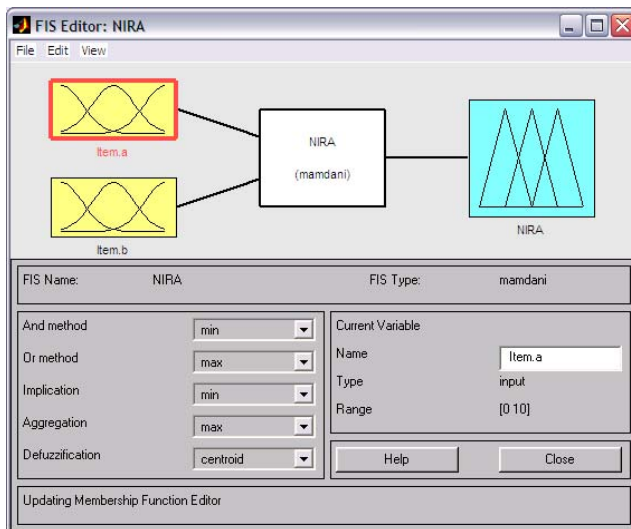
**Figura 3.** Regras de inferência.





**Figura 4.** Desfuzificação: Níveis de incômodo decorrente do ruído de aviões e de helicópteros (respectivamente, NIRA= 6,83 e NIHR= 6,94) resultam um Nível de Incômodo decorrente do ruído de aeronaves ( $U_7$ ) correspondente ao valor “crisp” 6,95.

## 2.1. Algoritmo para obtenção do nível de incômodo decorrente do ruído de aviões (NIRA)



**Fluxograma 3.**

**Figura 5.** Sistema de inferência criado para obter o Nível de Incômodo devido ao Ruído de Aviões.

Para obter o Nível de Incômodo Decorrente do Ruído de Aviões, dado pelo sistema NIRA, inicialmente foi necessário chegar aos níveis de incômodo decorrentes do ruído de



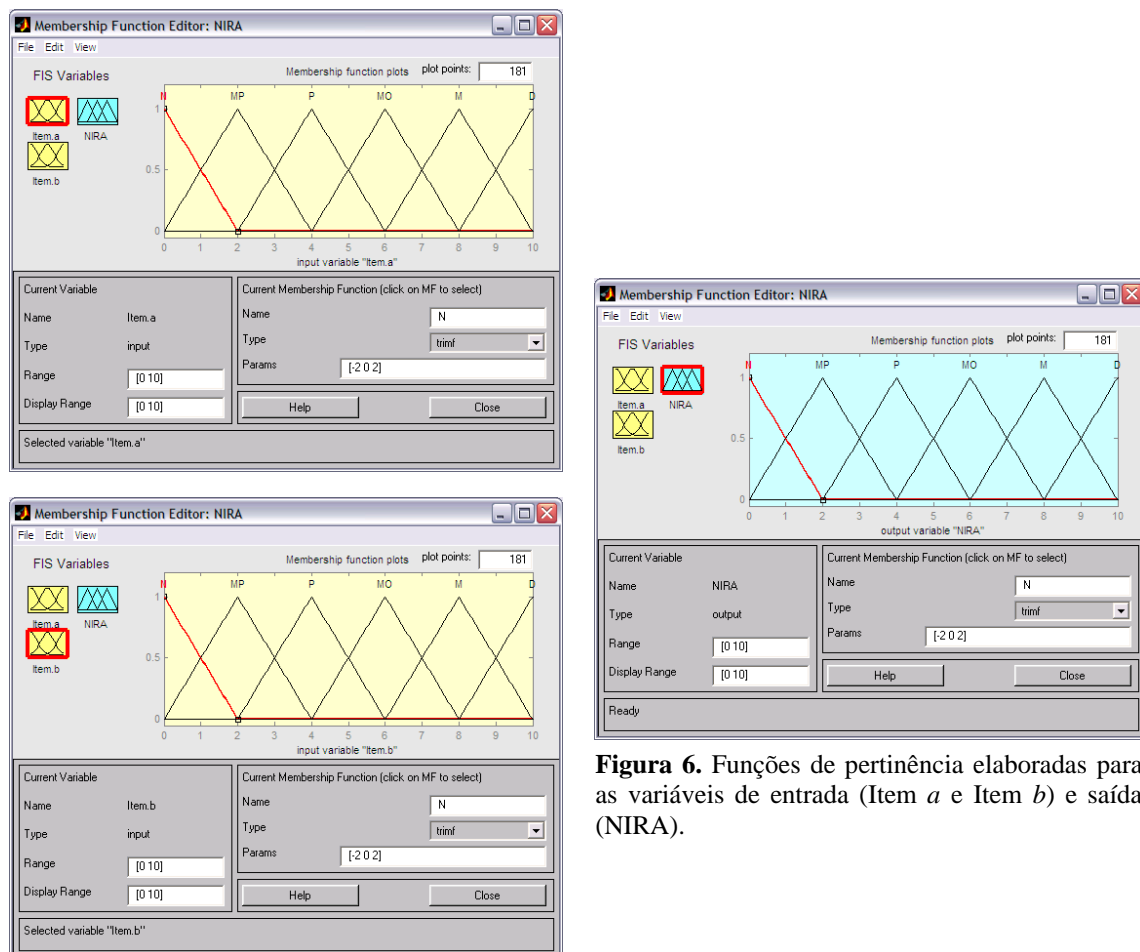
aviões grandes e de aviões pequenos, dados respectivamente pelos itens *a* e *b* da Questão 2, calculados nas seções 2.1.1 e 2.2.2.

Com base na Tabela de decisão 2, seguindo os mesmos critérios adotados quando calculou-se  $U_6$  e os seus subsistemas, foram elaborados o sistema de inferência apresentado na Figura 5, as funções de pertinência (Figura 6) e regras de inferência (Figura 7), resultando um valor “crisp” 6,83 (Figura 8) para o Nível de Incômodo decorrente do Ruído de Aviões.

**Tabela de decisão 2. Nível de Incômodo devido ao Ruído de Aviões (NIRA).**

Item b \ Item a	N	MP	P	MO	M	D
N	N	MP	P	MO	M	D
MP	MP	MP	P	MO	M	D
P	P	P	P	MO	M	D
MO	MO	MO	MO	B	M	D
M	M	M	M	B	M	D
D	D	D	D	D	D	D

REGRA: Se item *a* (Nível de incômodo decorrente do ruído emitido por aviões grandes) é ... E item *b* (Nível de incômodo decorrente do ruído emitido por aviões pequenos) é ... , ENTÃO o Nível de Incômodo devido ao Ruído de Aviões (NIRA). é ...



**Figura 6.** Funções de pertinência elaboradas para as variáveis de entrada (Item *a* e Item *b*) e saída (NIRA).

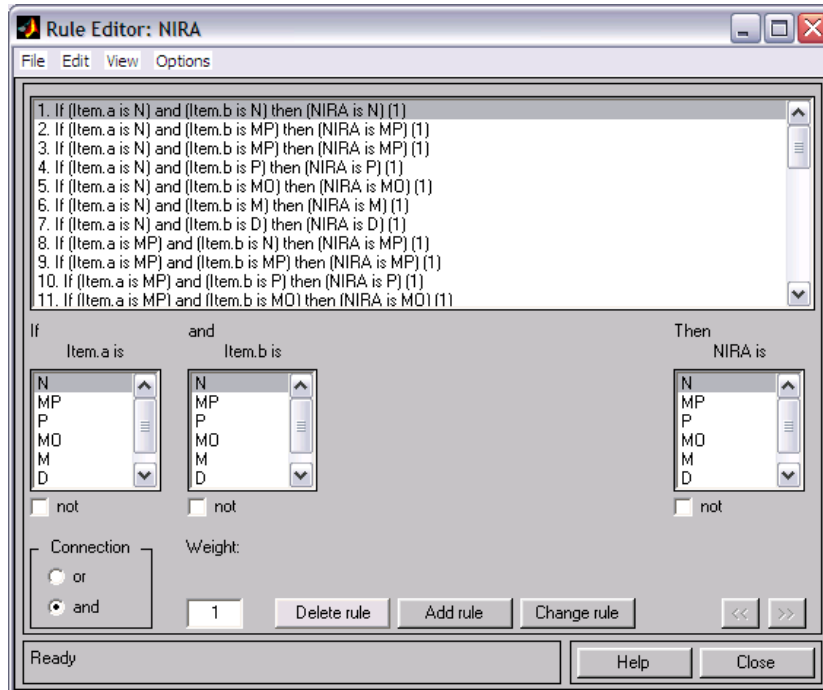


Figura 7. Regras de inferência.

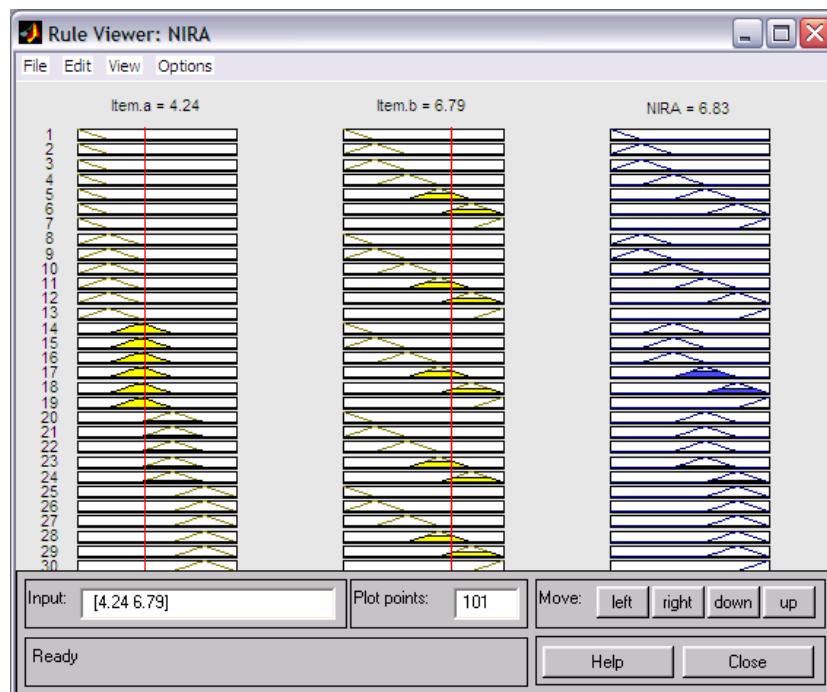
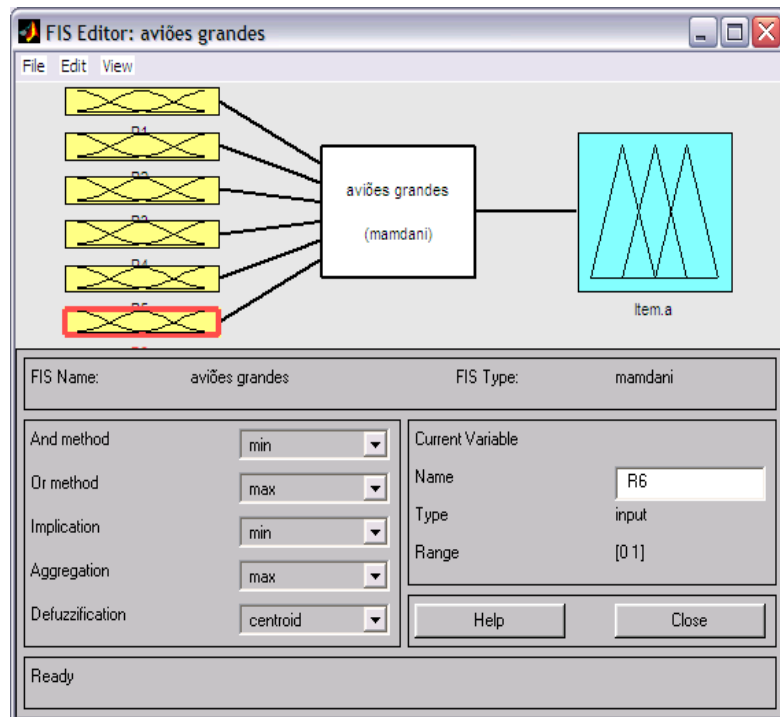


Figura 8. Desfuzificação, resultando um valor 4,04 para a variável Nível de Interferência nas Atividades Exceto o Sono, dada por SIAES.

### 2.1.1. Algoritmo para obter o Nível de Incômodo Decorrente do Ruído Emitido por Aviões Grandes (Item *a* da questão 2)



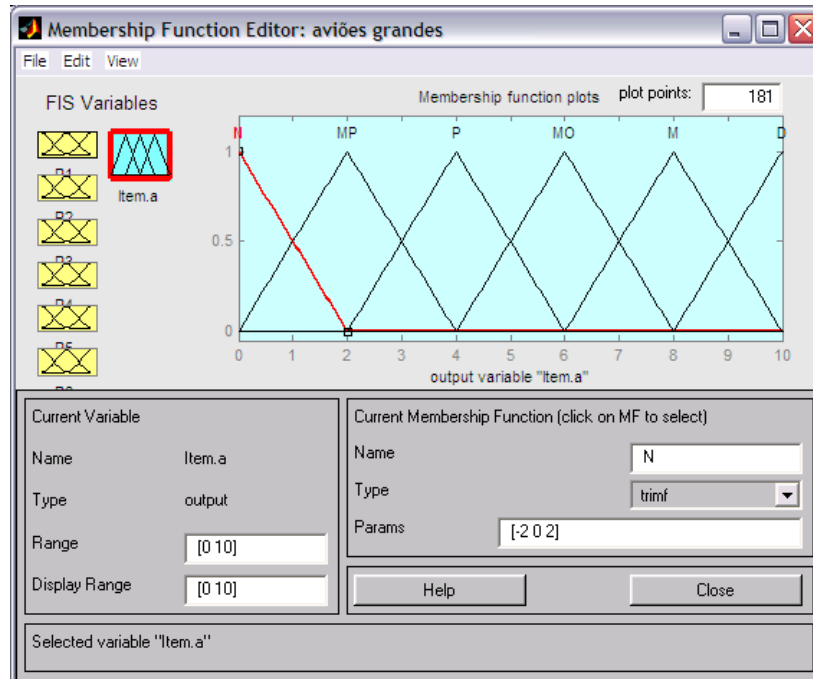
**Figura 9.** Sistema de inferência *fuzzy* proposto para avaliar o incômodo decorrente de aviões grandes.

Para obter-se o Nível de Incômodo decorrente do Ruído emitido por Aviões Grandes, criou-se o sistema de inferência apresentado na Figura 9, o qual teve como variáveis de entrada as seis possibilidades de resposta propostas na Questão 2 do questionário (já mencionadas anteriormente).

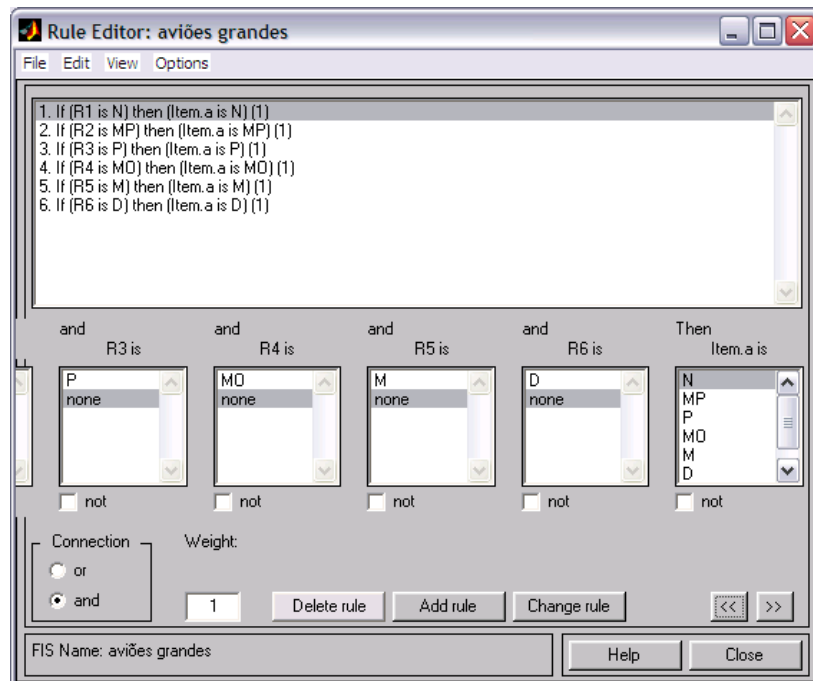
A cada variável de entrada foi atribuída uma função de pertinência (Figura 10), adotando-se como universo do discurso o intervalo  $[0,1]$ . Para a variável de saída foi adotado um universo do discurso variando de 0 a 10. As percentagens obtidas a partir da tabulação dos questionários aplicados foram introduzidas no visor de regras e resultaram para o Nível de Incômodo Decorrente do Ruído de Aviões Grandes (Item *a*) o valor “crisp” 4,24 (Figura 13).



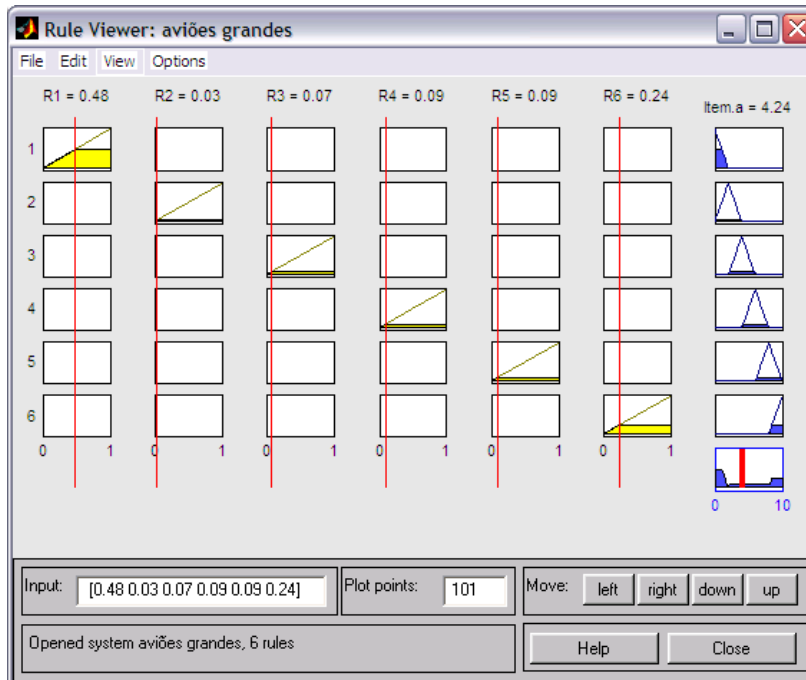
Figura 10. Funções de pertinência relativas às possibilidades de respostas R1 R2, R3, R4, R5 e R6.



**Figura 11.** Função de pertinência da variável de saída Item a da questão 2(Nível de incômodo decorrente do ruído emitido por aviões grandes).



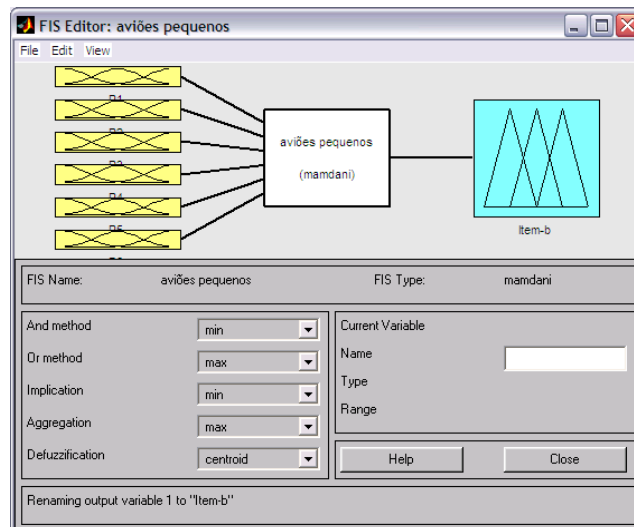
**Figura 12** Edição das Regras de inferência.



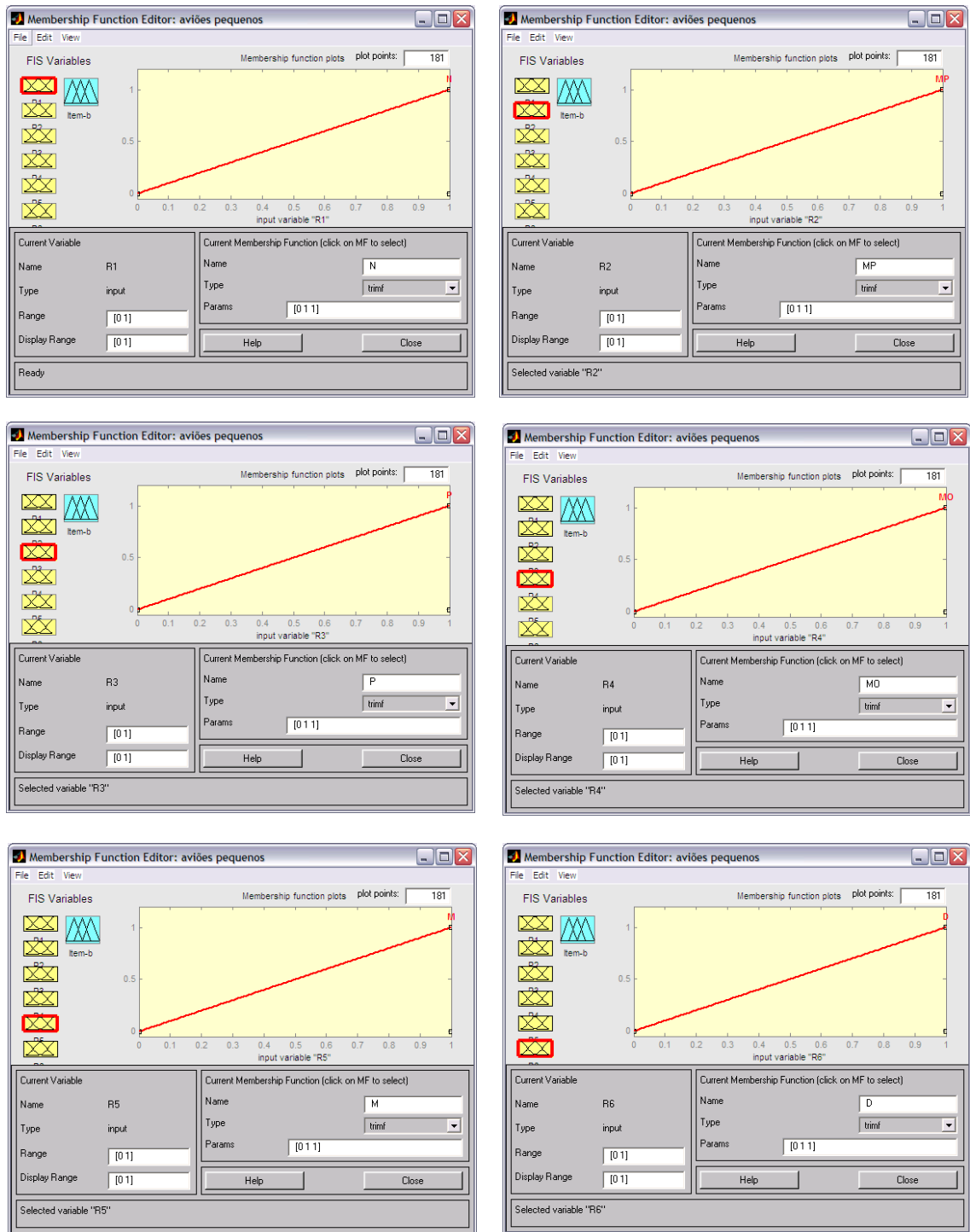
**Figura 13.** Desfuzificação, resultando um valor 4,24 para a variável Nível de Incômodo decorrente de Aviões Grandes.

### 2.1.2. Algoritmo do Nível de Incômodo Decorrente do Ruído Emitido por Aviões Pequenos (Item *b* da questão 2).

Os procedimentos adotados para obter o Nível de incômodo decorrente do ruído emitido por aviões pequenos foram os mesmos utilizados na seção 2.1.1. A desfuzificação das variáveis de entrada R1, R2, R3, R4, R5 e R6 resultou um valor do Nível de incômodo decorrente do ruído emitido por aviões pequenos (Item *b*) correspondente a 6,79.



**Figura 14.** Sistema de inferência elaborado para obter o Nível de Incômodo decorrente do Ruído de Aviões Pequenos (Item *b*).



**Figura 15.** Funções de pertinência relativas às variáveis de entrada, correspondendo às possibilidades de resposta R1, R2, R3, R4, R5 e R6.

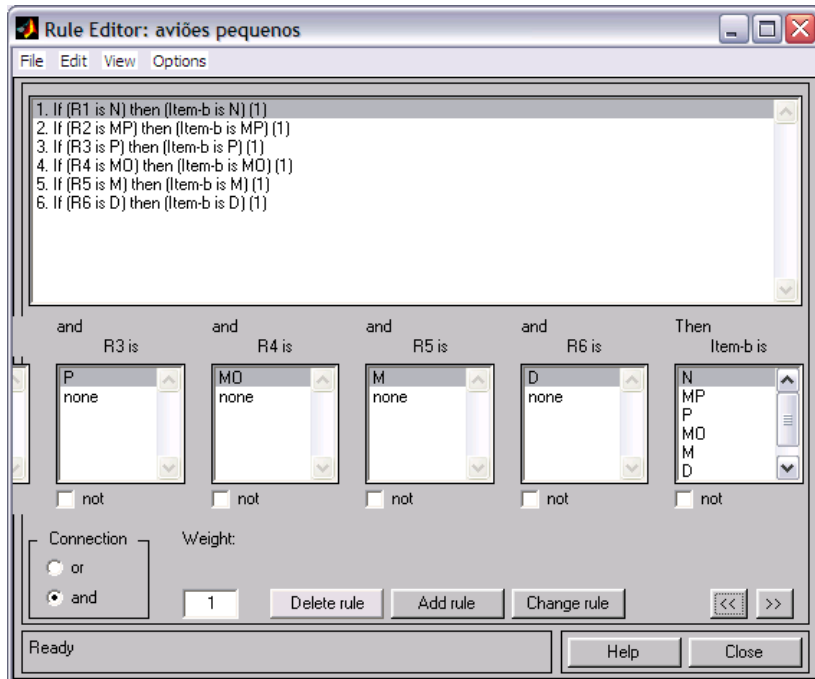


Figura 16. Regras de inferência.

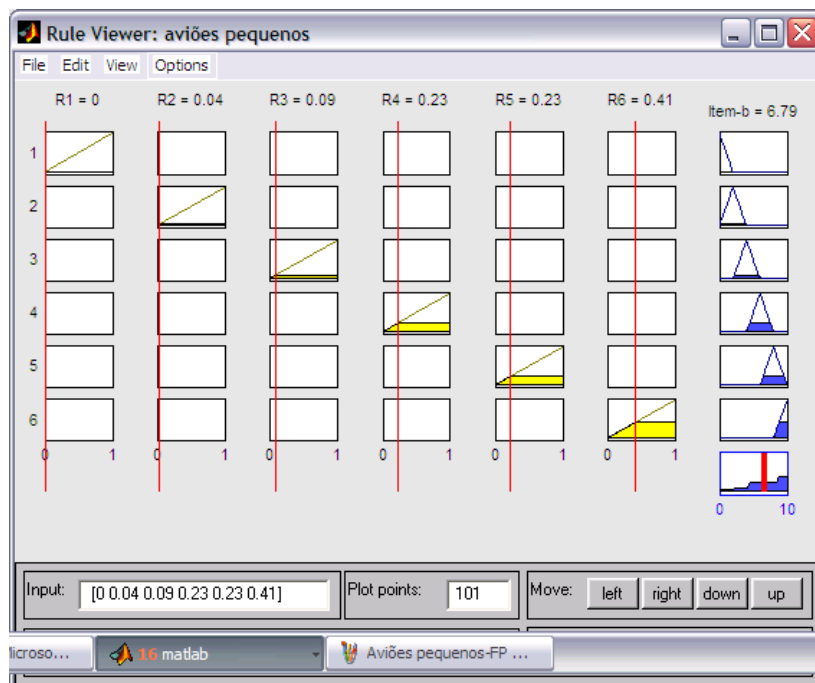
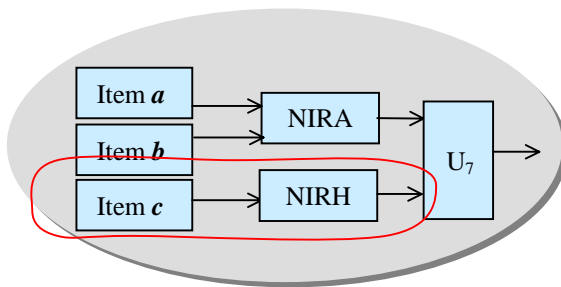


Figura 17. Desfuzificação resultando um Nível de Incômodo devido ao Ruído emitido por Aviões pequenos 6,79.

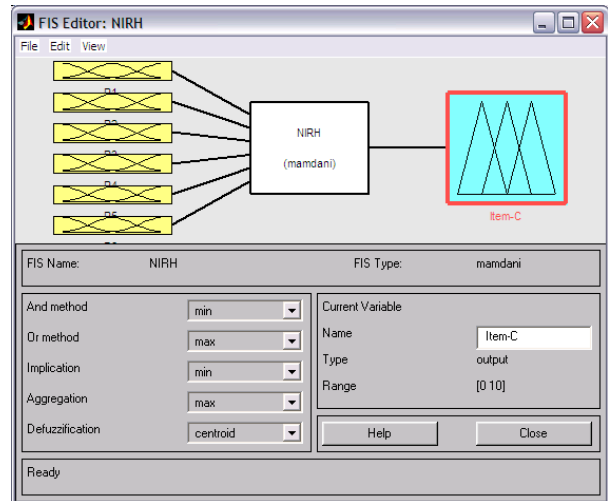


**2.2. Algoritmo do nível de incômodo decorrente do ruído de Helicópteros (NIRH= Item c da questão 2).**

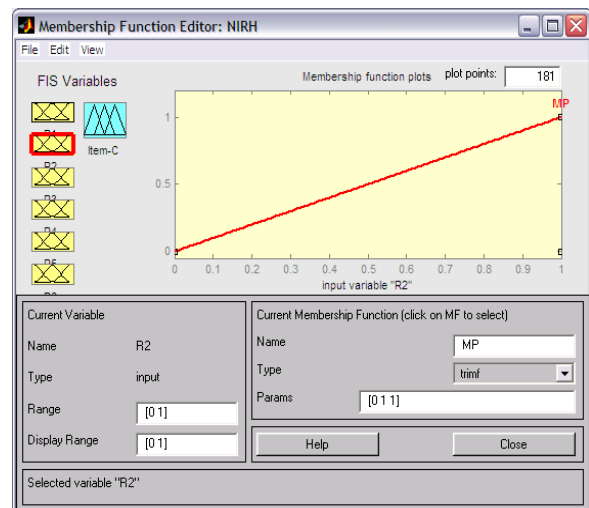
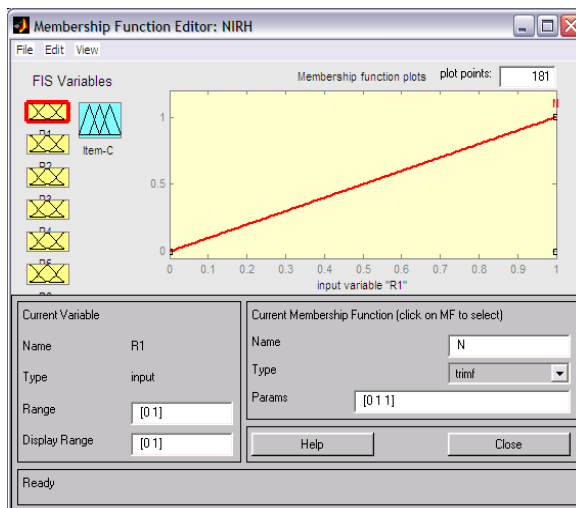
O Nível de Incômodo decorrente do ruído emitido por Helicópteros (NIRH) foi obtido a partir dos resultados da questão c. Foram empregados os mesmos procedimentos descritos na seção 2.1.1. Neste caso, a variável (NIRH) assumiu o valor 6.94 após a desfuzificação.



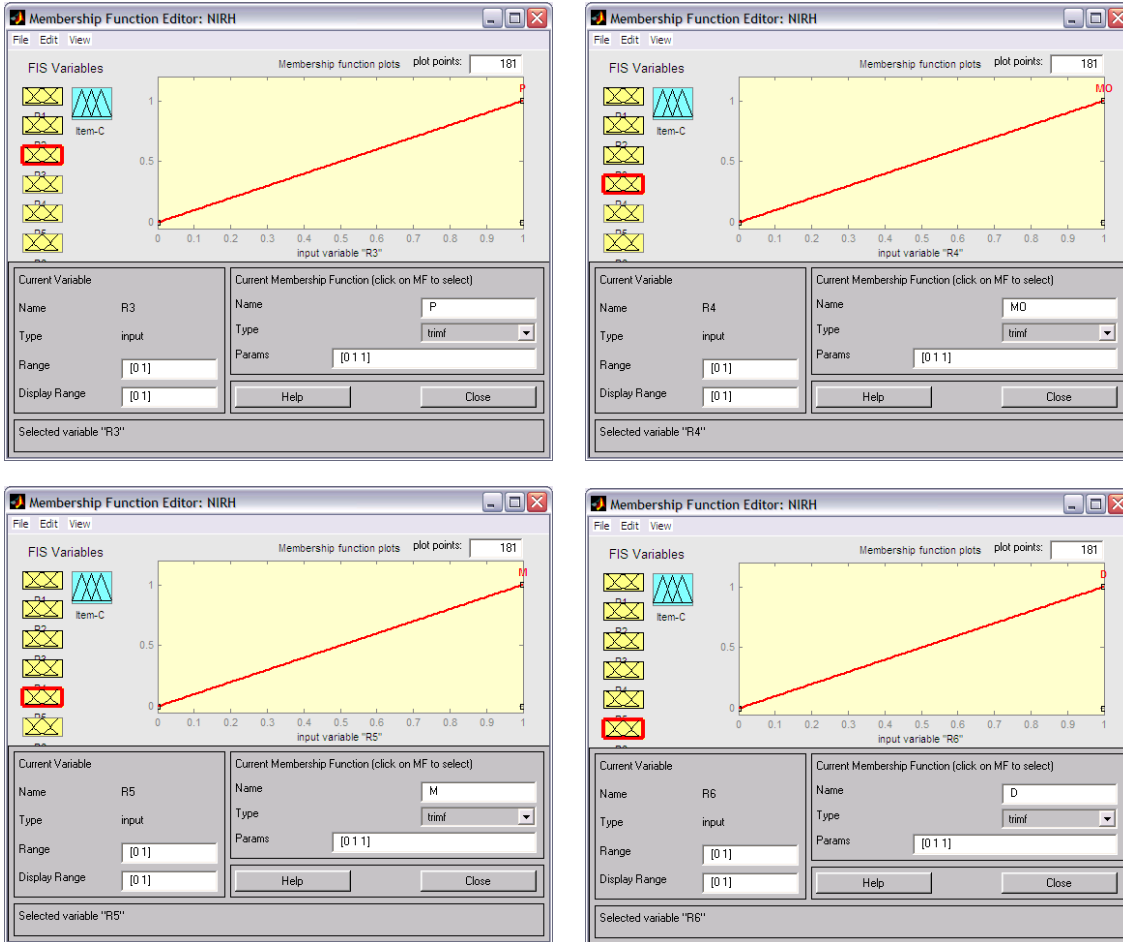
**Fluxograma 4.**



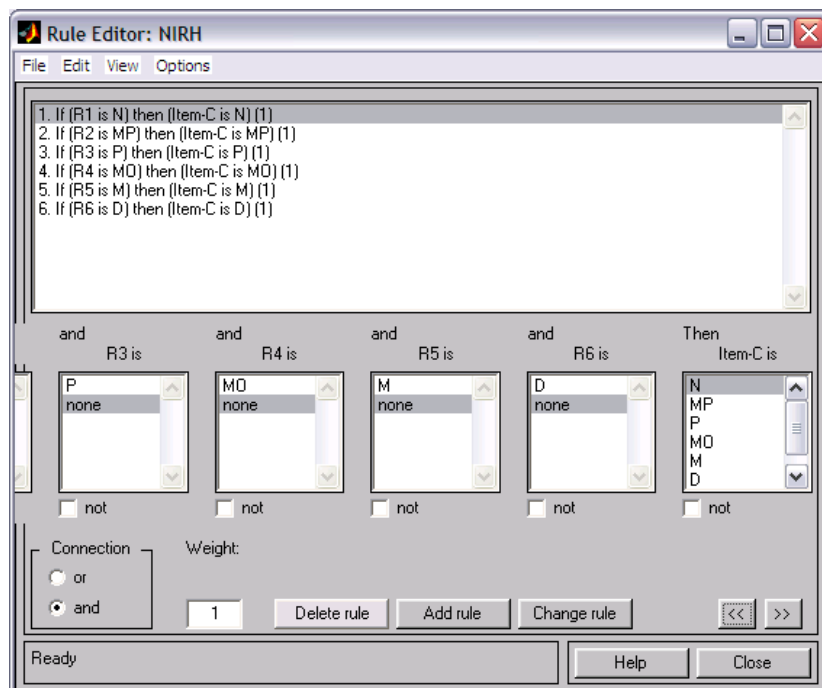
**Figura 18.** Sistema de inferência referente ao Nível de Incômodo decorrente do Ruído de Helicópteros (HIRH=Item c da questão 2)



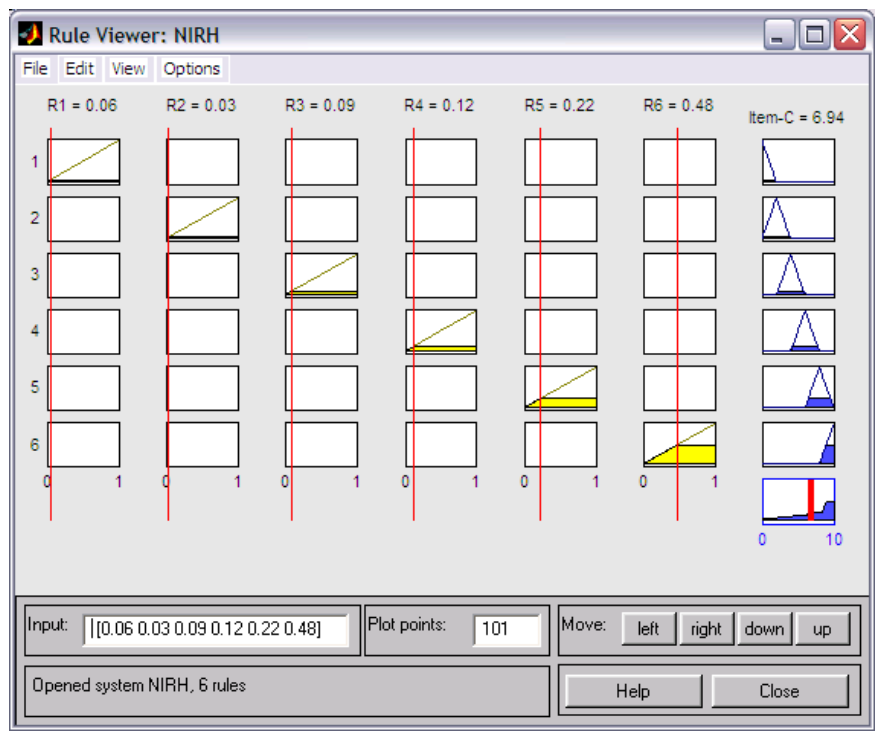
**Figura 19.** Funções de pertinência elaboradas para as variáveis de entrada, correspondendo às possibilidades de resposta R1 e R2.



**Figura 20.** Funções de pertinência elaboradas para as variáveis de entrada, correspondendo às possibilidades de resposta R3, R4, R5 e R6.



**Figura 21.** Regras de inferência



**Figura 22.** Desfuzificação resultando um Nível de Incômodo devido ao Ruído de Helicóptero 6,94.

### 3. Algoritmo do nível de interferência do ruído de aeronaves no desempenho de atividades ( $U_8$ )

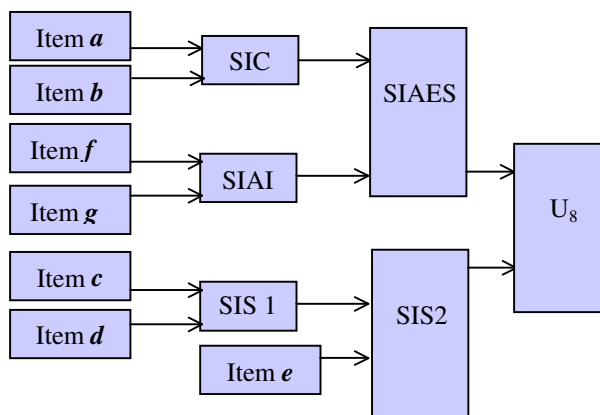
A criação desse algoritmo baseou-se nos mesmos critérios adotados para a obtenção do Nível de Interferência do Ruído Rodoviário. Todavia, aqui os sistemas de inferência foram determinados para cada item da Questão 3 do referido questionário. A seguir, esta questão é transcrita, indicando-se em cada item as respectivas percentagens obtidas a partir da tabulação dos questionários aplicados.

Para responder às questões seguintes, considere: S = Sim; P = Pouco; MP = Muito Pouco; Mod = Moderadamente.

3) Marque com um X se o ruído de aeronaves:

	Não	MP	P	Mod.	Muito	Demais
a) Incomoda quando você fala ao telefone	6%	2%	3%	15%	32%	42%
b) Incomoda quando você assiste TV	6%	3%	3%	12%	31%	45%
c) Provoca em você dificuldade para adormecer	47%	3%	9%	9%	13%	19%
d) Faz você acordar durante a noite	63%	3%	12%	4%	6%	12%
e) Faz você acordar mais cedo	29%	10%	9%	15%	10%	27%
f) Dificulta a leitura	13%	10%	15%	18%	13%	31%
g) Perturba sua concentração	6%	10%	12%	16%	18%	38%

No Fluxograma 1, verifica-se que os itens *a* e *b* da Questão 1 serviram como entrada para o Sistema Nível de Interferência na Comunicação (SIC). Os itens *c* e *d* serviram como entrada para o Sistema Nível de Interferência no Sono 1 (SIS1). O Sistema Nível de Interferência no Sono 1 e a questão *e* serviram de entrada para o Sistema Nível de Interferência no Sono 2 (SIS2). Os itens *f* e *g* serviram de entrada para o Sistema Nível de



Fluxograma 1.

Interferência nas Atividades Intelectuais (SIAI). Uma vez desfuzificados, os sistemas Nível de Interferência na Comunicação (SIC) e Nível de Interferência nas Atividades Intelectuais (SIAI) serviram de entrada para o Sistema Nível de Interferência nas Atividades Exceto o Sono (SIAES). Por sua vez, este sistema (SIAES) e o Sistema Nível de Interferência no Sono 2 (SIS2) deram origem ao Sistema Nível de Interferência do Ruído de Aeronaves nas Atividades ( $U_8$ ).

As variáveis de entrada (SIAES e SIS2) e a variável de saída ( $U_8$ ) assumiram os valores lingüísticos Não (N), Muito Pouco (MP), MOraderadamente (MO), Muito (M) e Demais (D).

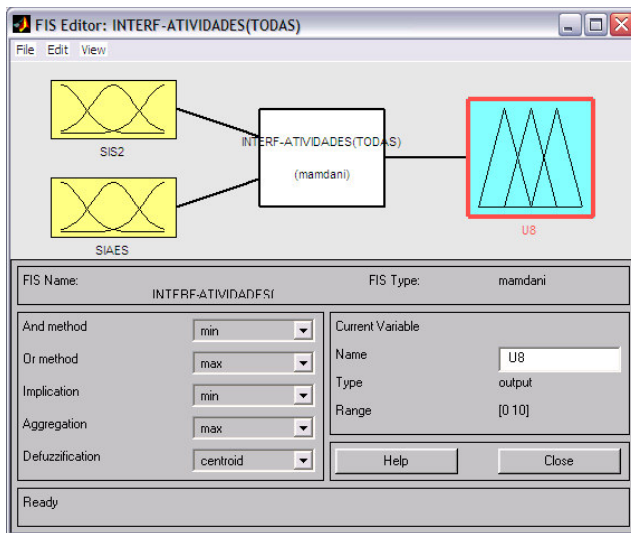


Figura 1. Sistema de inferência fuzzy.

O sistema de inferência criado é apresentado na Figura 1 e as funções de pertinência na Figura 2. Os intervalos do discurso adotados encontram-se no intervalo [0,10]. A Tabela de decisão 1 serviu de base para definir as regras de inferência editadas no *Matlab* (Figura 3). No visor de regras foram inseridos os valores obtidos nas seções 3.1. e 3.2, cuja desfuzificação resultou um valor

“crisp” é igual a 7,06 para o Nível de Interferência do Ruído de Aeronaves no Desempenho de atividades ( $U_8$ ).

Tabela de decisão 1. Nível de interferência do Ruído de Aeronaves no Desempenho de atividades ( $U_8$ ).

SIS2 \ SIAES	N	MP	P	MO	M	D
N	N	MP	P	MO	M	D
MP	MP	MP	P	MO	M	D
P	P	P	P	MO	M	D
MO	MO	MO	MO	B	M	D
M	M	M	M	B	M	D
D	D	D	D	D	D	D

**REGRA:** Se “Nível de interferência nas atividades, exceto o sono (SIAES)” é ... E “Nível de Interferência no Sono (SIS2)” é ..., ENTÃO o “Nível de Interferência do Ruído de Aeronaves no Desempenho de atividades” ( $U_8$ ) é ...

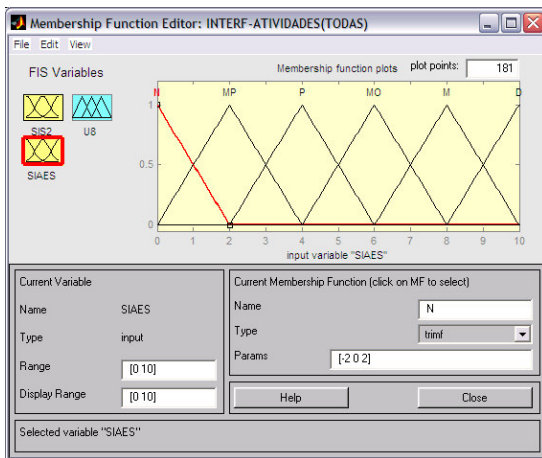
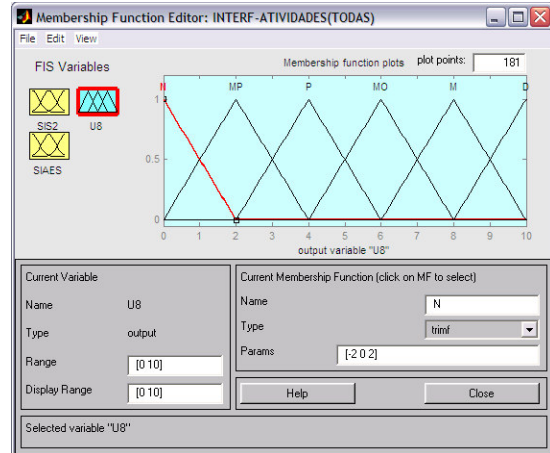
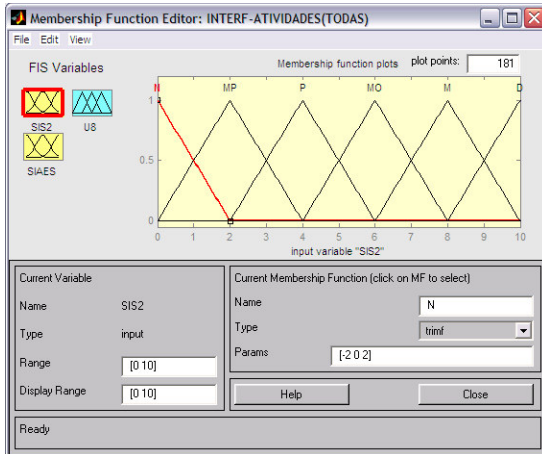


Figura 2. Funções de pertinência relativas às variáveis de entrada (SIS2 e SIAES) e saída (U<sub>8</sub>).

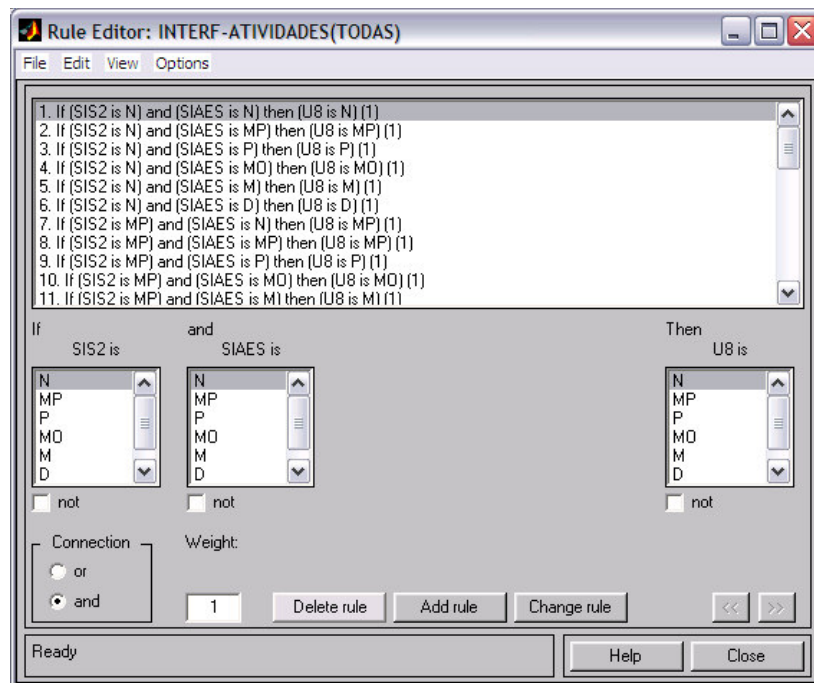
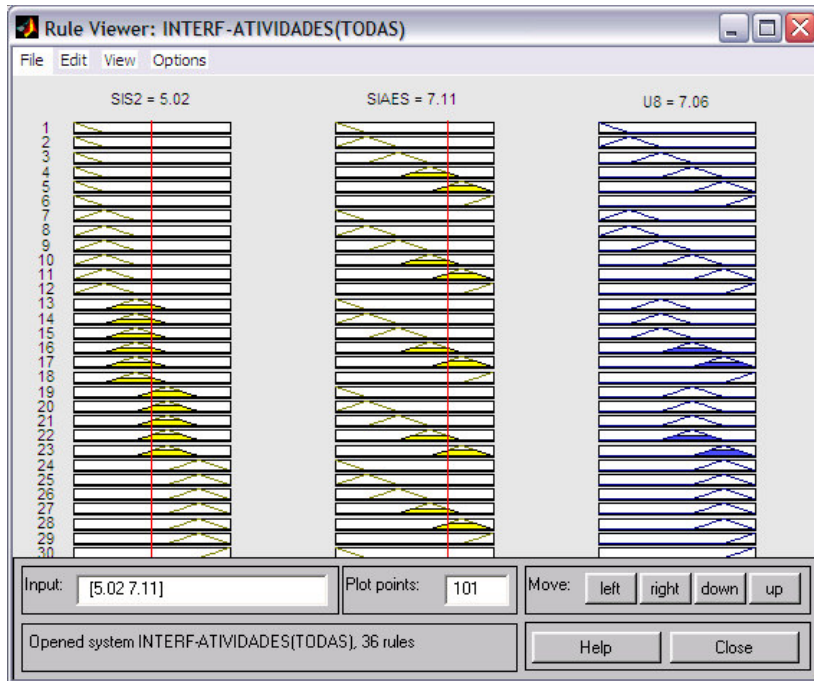


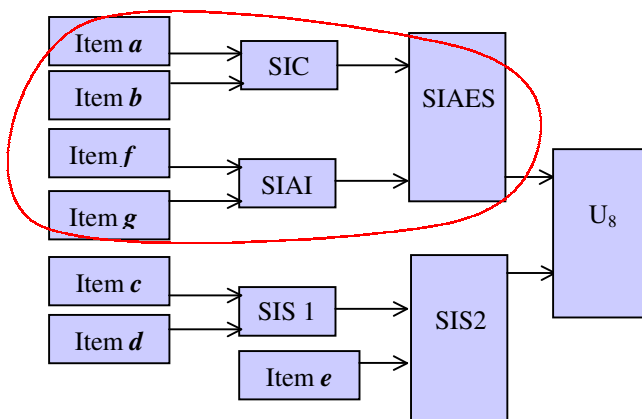
Figura 3. Regras de inferência.



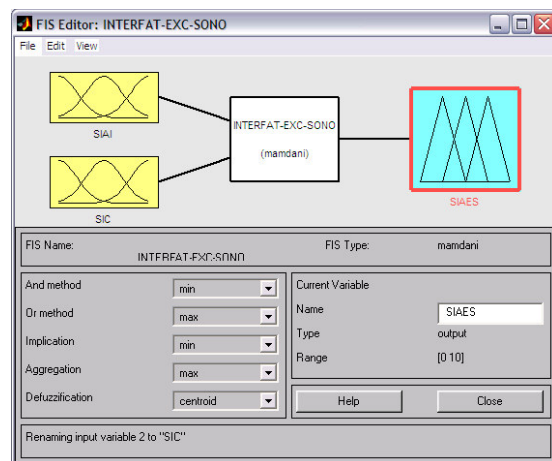
**Figura 4.** Desfuzificação, considerando as entradas SIS2 = 5,02 e SIAES = 7,11, obtidas nas seções 1.1 e 1.2, resultando  $U_8 = 7,06$ .

### 3.1. Algoritmos elaborados para obter o Nível de Interferência nas Atividades, Exceto o Sono.

Para obter o nível de interferência nas atividades exceto o sono, dado pelo Sistema Interferência nas Atividades, Exceto o Sono (SIAES), inicialmente foi necessário chegar aos níveis de interferência na comunicação (SIC) e de interferência nas atividades



**Fluxograma 2.**



**Figura 5.** Sistema de inferência criado para obter o Nível de Interferência em Atividades Exceto o Sono.

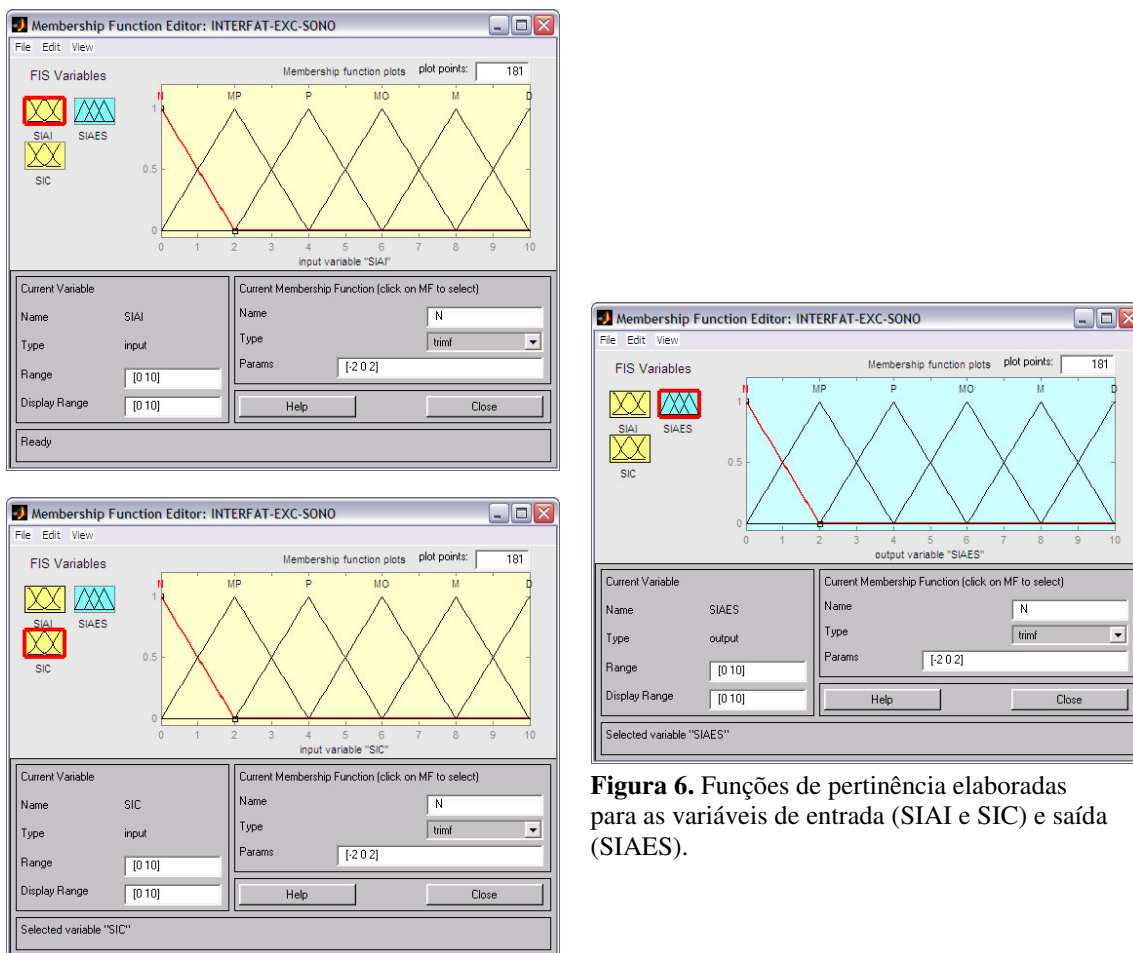
intelectuais (SIAI), obtidos, respectivamente, nas seções 3.1.1 e 3.1.2, conforme se verifica no Fluxograma 2.

Com base na Tabela de decisão 2, seguindo os mesmos critérios adotados para U<sub>6</sub>, foram elaborados o sistema de inferência apresentado na Figura 5, as funções de pertinência (Figura 6) e regras de inferência (Figura 7), resultando um valor “crisp” 7,11 (Figura 8) para o Nível de Interferência nas Atividades, exceto o Sono.

**Tabela de decisão 2.** Nível de Interferência nas Atividades, Exceto o Sono (SIAES).

SIC \ SIAI	N	MP	P	MO	M	D
N	N	MP	P	MO	M	D
MP	MP	MP	P	MO	M	D
P	P	P	P	MO	M	D
MO	MO	MO	MO	B	M	D
M	M	M	M	B	M	D
D	D	D	D	D	D	D

REGRA: Se “Nível de interferência nas atividades intelectuais (SIAI)” é ... E “Nível de interferência na comunicação (SIC)” é ..., ENTÃO o “Nível de Interferência nas Atividades Exceto o Sono (SIAES)” é ...



**Figura 6.** Funções de pertinência elaboradas para as variáveis de entrada (SIAI e SIC) e saída (SIAES).



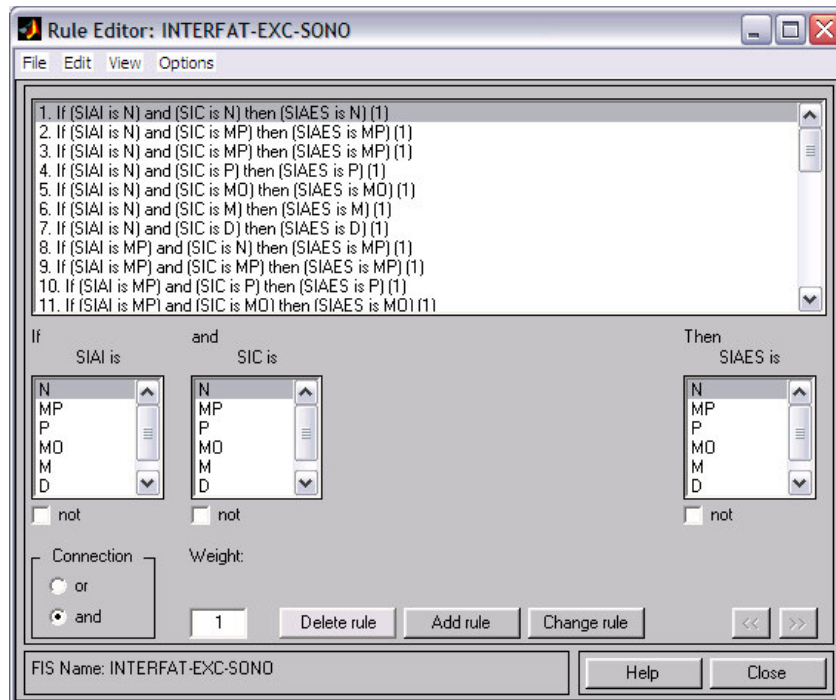


Figura 7. Regras de inferência.

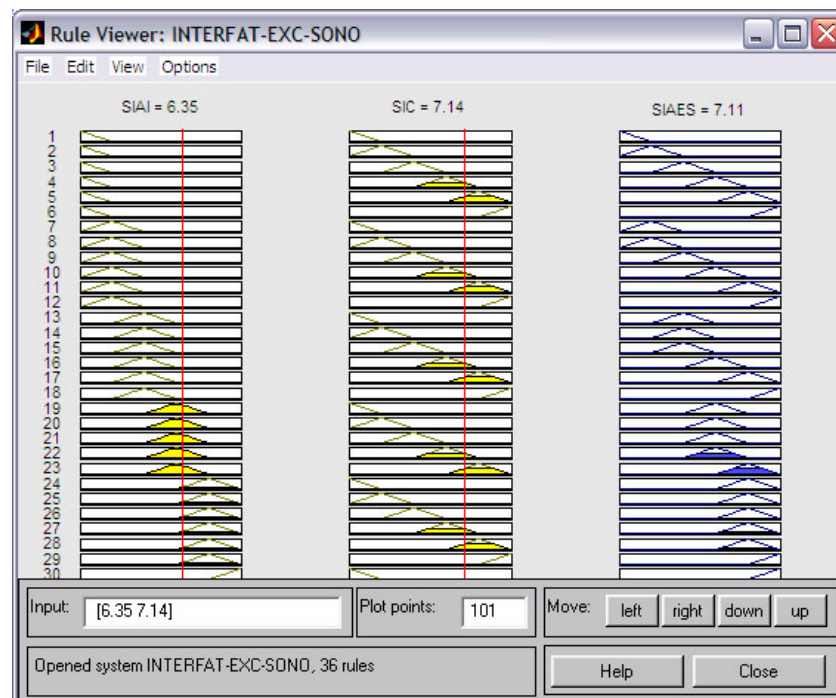
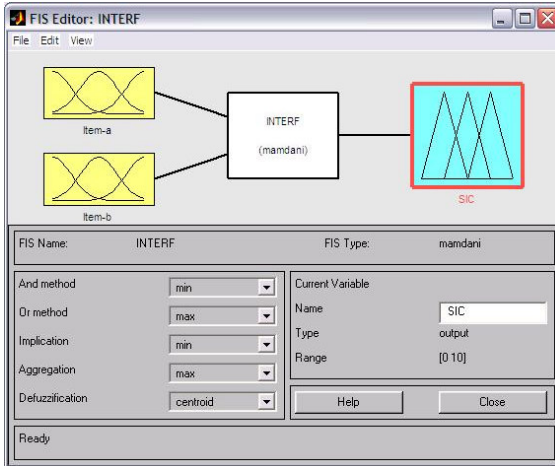
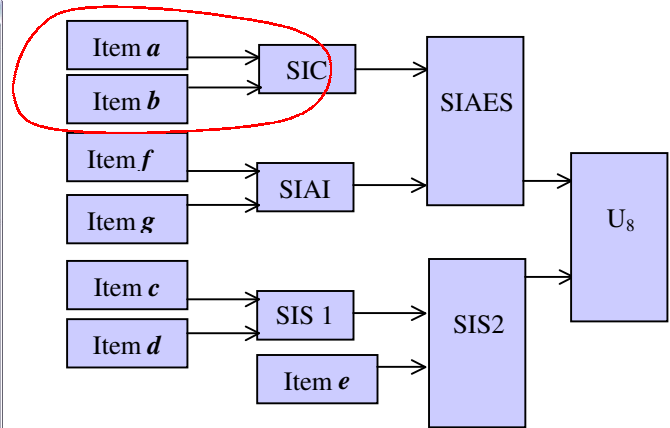


Figura 8. Desfuzificação, resultando um valor 7,11 para a variável Nível de Interferência nas Atividades Exceto o Sono, dada por SIAES.

### 3.1.1. Algoritmos elaborados para o Sistema Interferência na Comunicação (SIC).



**Figura 9.** Sistema de inferência *fuzzy* criado para avaliar o Nível de Interferência na Comunicação



**Fluxograma 3.**

O Nível de Interferência na Comunicação foi obtido a partir dos resultados da desfuzificação dos subsistemas criados para os itens *a* e *b* da Questão 3, conforme pode ser verificado nas seções 3.1.1.1 e 3.1.1.2, os quais fornecem, respectivamente o Nível de interferência na comunicação ao telefone e Nível de interferência ao assistir TV. A Figura 9 apresenta o sistema de inferência proposto. Foram elaboradas as funções de pertinência para as variáveis de entrada e de saída, considerando-se o universo do discurso situado no intervalo [0,10] (Figura 10) e atribuindo-lhes valores lingüísticos correspondentes a uma das seis possibilidades de resposta apresentadas no questionário : Não (N), Muito Pouco (MP), Pouco (P), Moderado (MO), Muito (M) ou Demais (D).

**Tabela de decisão 3. Nível de Interferência na Comunicação.**

Item <i>a</i> \ Item <i>b</i>	N	MP	P	MO	M	D
N	N	MP	P	MO	M	D
MP	MP	MP	P	MO	M	D
P	P	P	P	MO	M	D
MO	MO	MO	MO	B	M	D
M	M	M	M	B	M	D
D	D	D	D	D	D	D

**REGRA:** Se “item *a* (Nível de interferência na comunicação ao telefone)” é ... E “item *b* (Nível de interferência ao assistir TV) é ..., ENTÃO ‘SIC (o Nível de Interferência na Comunicação)’ é ...

A definição das regras de inferência introduzidas no editor de regras do *Matlab* (Figura 11) baseou-se na Tabela de decisão 3. Os resultados da desfuzificação realizada para cada ‘item *a*’ e ‘item *b*’(veja seções 3.1.1.1 e 3.1.1.2) foram introduzidos no visor de

regras do *Matlab* e, a partir de uma nova desfuzificação, geraram um Nível de Interferência na Comunicação igual a 7,14 (veja Figura 12).

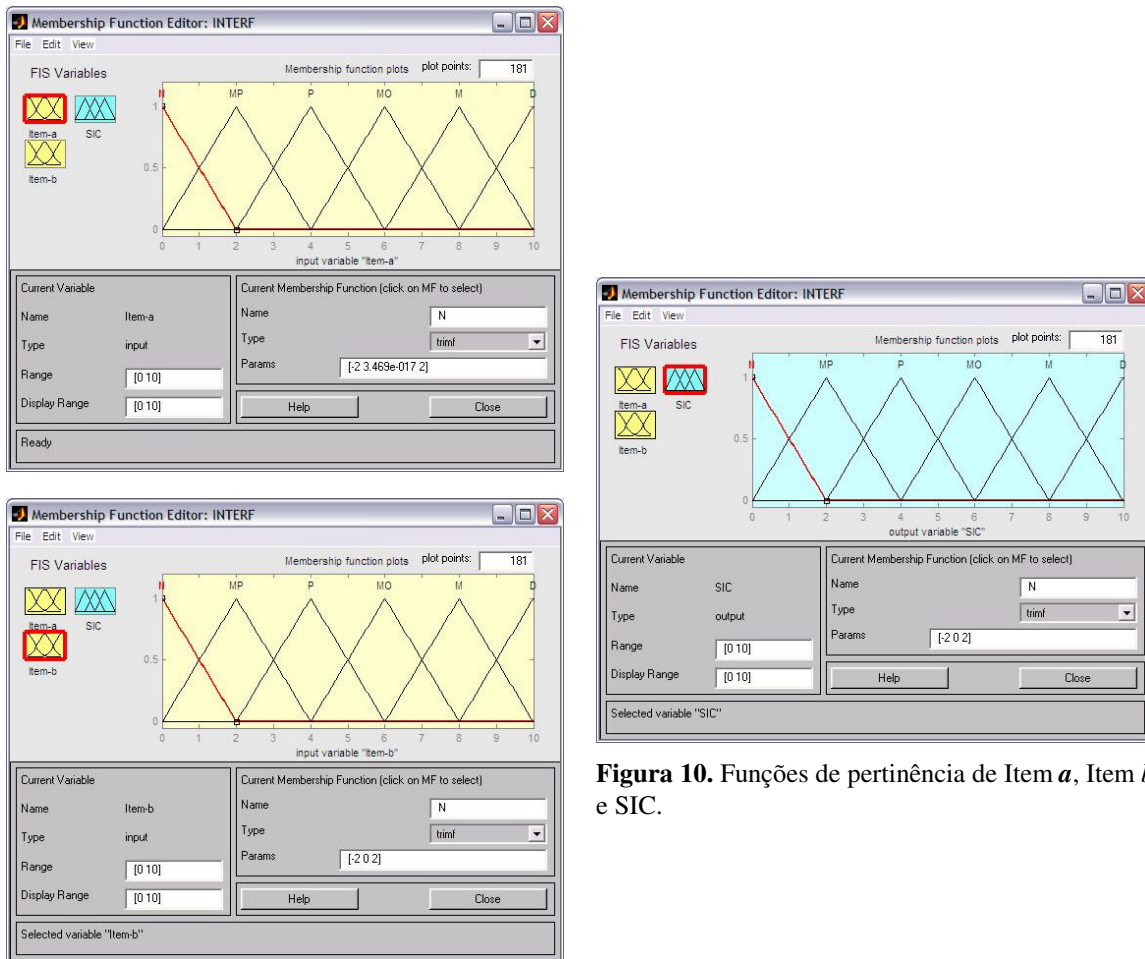


Figura 10. Funções de pertinência de Item *a*, Item *b* e SIC.

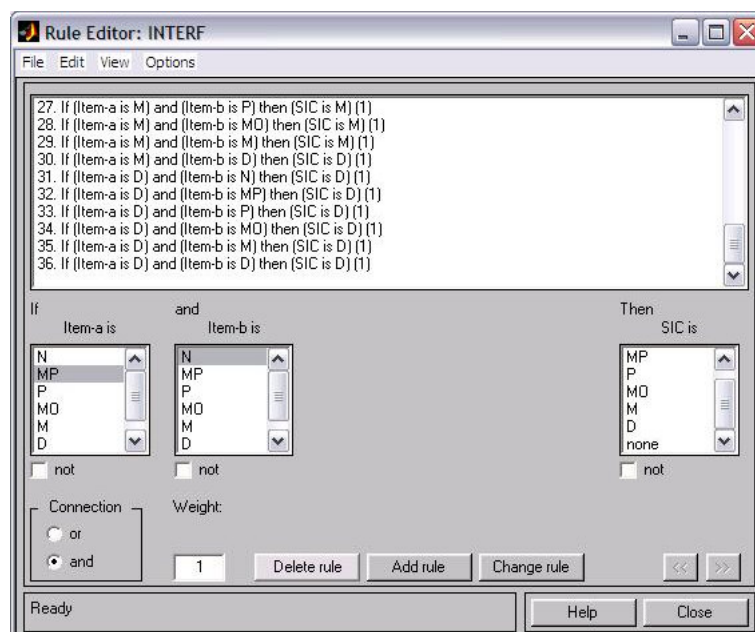
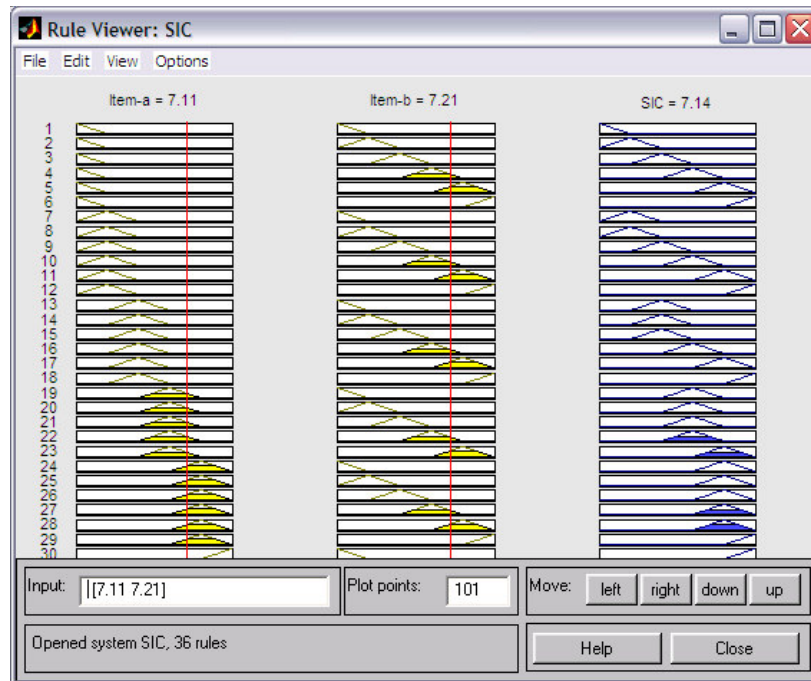
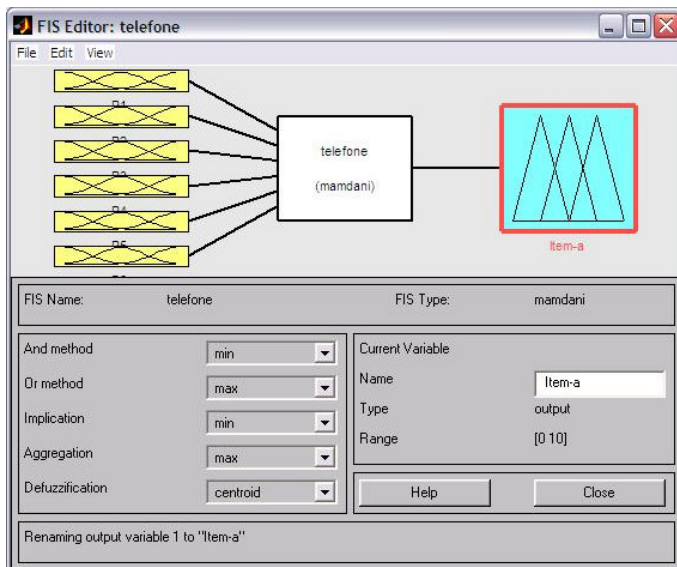


Figura 11. Regras de inferência.



**Figura 12.** Desfuzificação resultando um Nível de Interferência na Comunicação 7,14.

### 3.1.1.1. Algoritmo para obtenção do nível de interferência na comunicação ao telefone (Item *a* : Incomoda quando você fala ao telefone?)



**Figura 13.** Sistema de inferência *fuzzy* elaborado para o item *a* da Questão 3.

Para obter-se o Nível de Interferência na Comunicação ao Telefone, criou-se o sistema de inferência apresentado na Figura 13, o qual teve como variáveis de entrada as seis possibilidades de resposta propostas na Questão 1 do questionário (já mencionadas anteriormente). A cada variável de entrada foi atribuída uma função de pertinência (Figura 14).

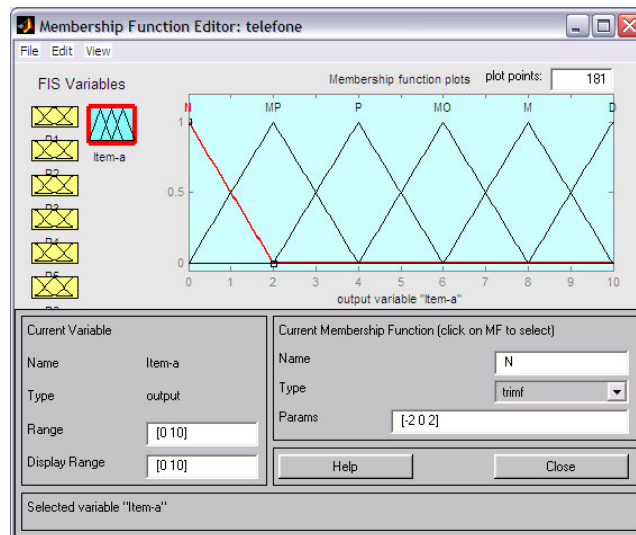
As porcentagens obtidas a partir da tabulação dos questionários aplicados foram introduzidas no visor de regras e

resultaram o valor “crisp” 7,11 (Figura 15) para o Nível de Interferência na Comunicação ao Telefone (dado no item *a* da Questão 3).

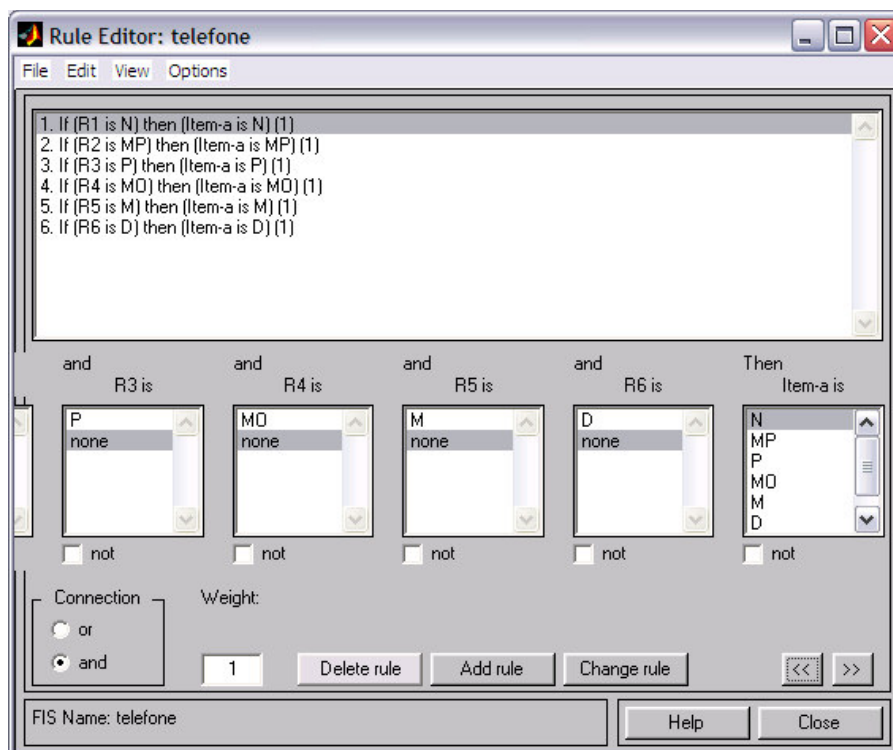


**Figura 14.** Funções de pertinência relativas às possibilidades de respostas R1,R2,R3,R4, R5 e R6

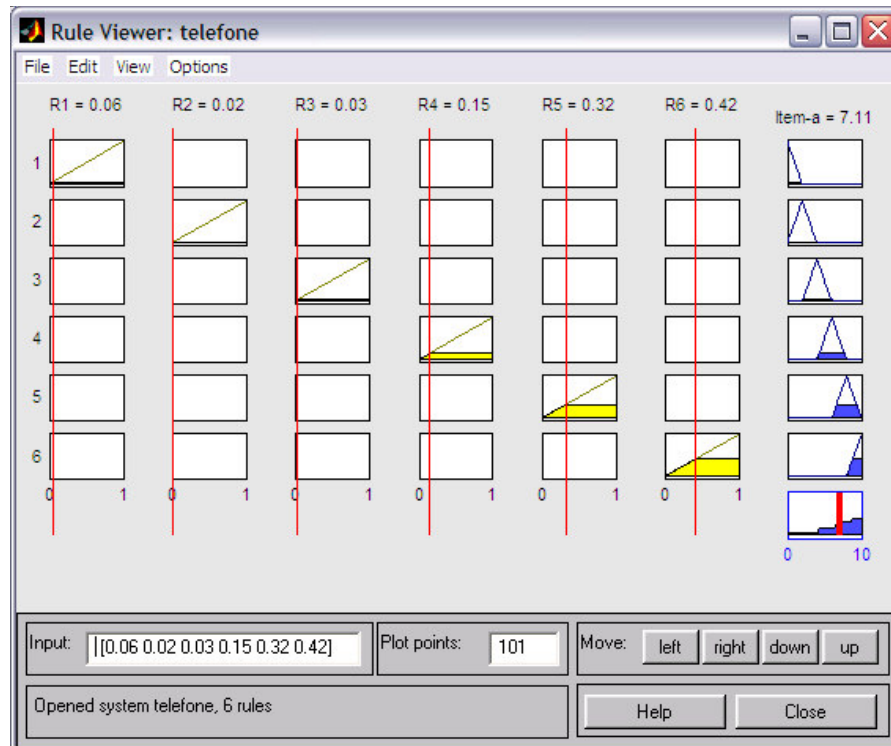




**Figura 15.** Funções de pertinência relativas à variável de saída: Nível de interferência na comunicação ao telefone (Item *a* da Questão 3).



**Figura 16.** Edição das Regras de inferência.



**Figura 17.** Desfuzificação resultando um nível de interferência na comunicação ao telefone 7,11.

### 3.1.1.2 Algoritmo para obtenção do nível de interferência ao assistir TV (Item b : Incomoda quando você assiste TV?)

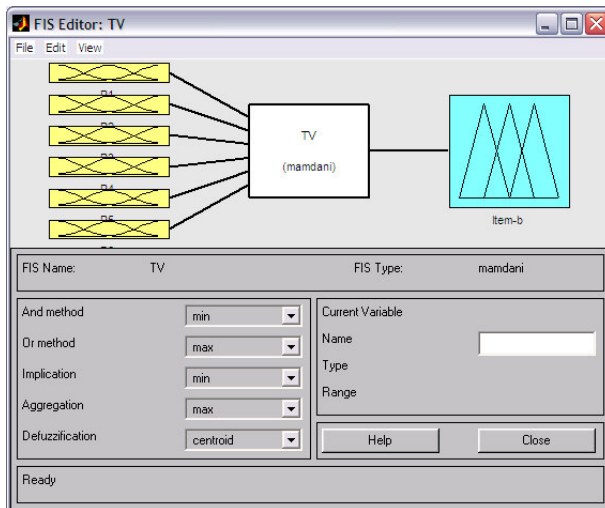


Figura 18. Sistema de inferência fuzzy.

Os mesmos procedimentos adotados na seção 3.1.1.1 foram utilizados aqui. Portanto, não serão descritos novamente. Entretanto, serão apresentadas as figuras extraídas do *Matlab* que representam as operações realizadas, passo a passo.

A desfuzzificação resultou um valor “crisp” 7,21 para o nível de interferência ao assistir TV (Figura 22).

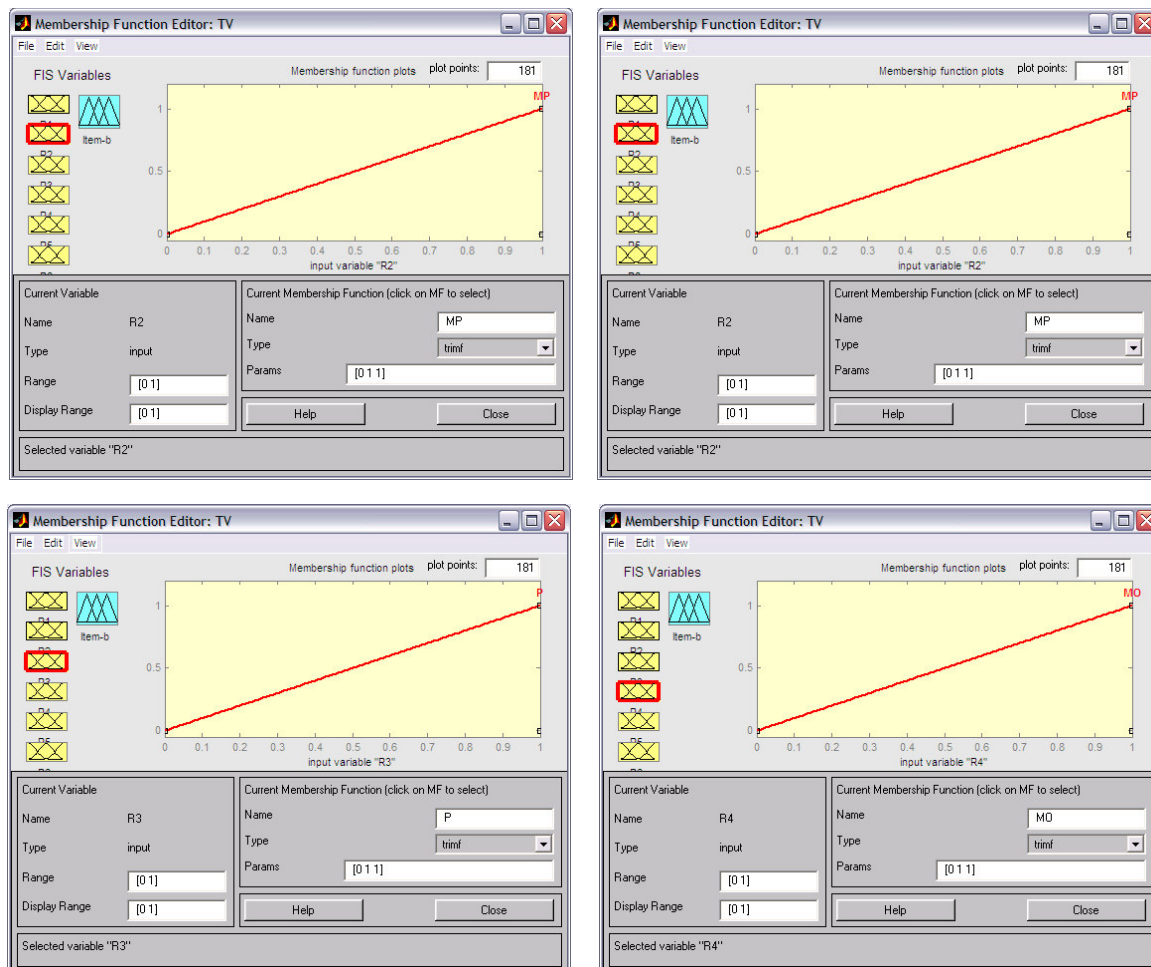


Figura 19. Funções de pertinência criadas para as variáveis de entrada (R1,R2, R3 e R4).



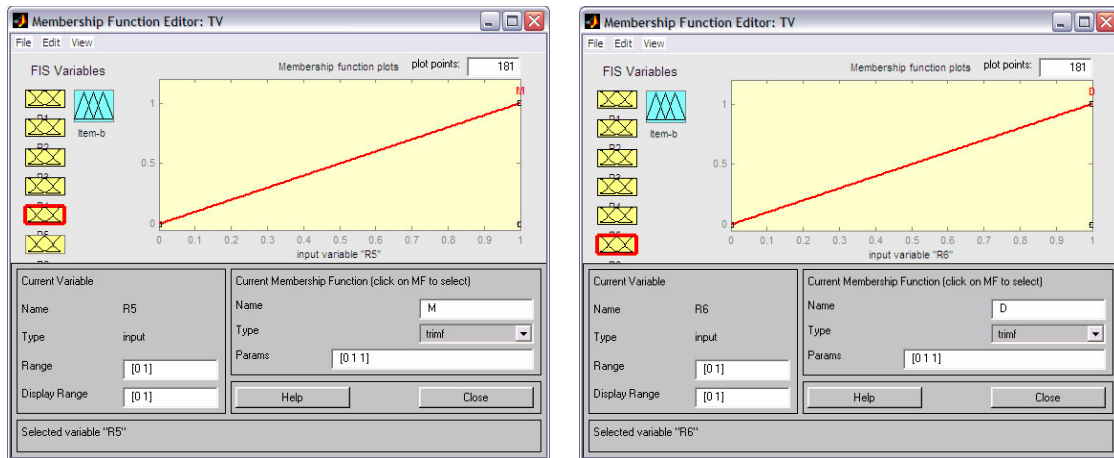


Figura 20. Funções de pertinência desenvolvidas para as variáveis de entrada R5 e R6.

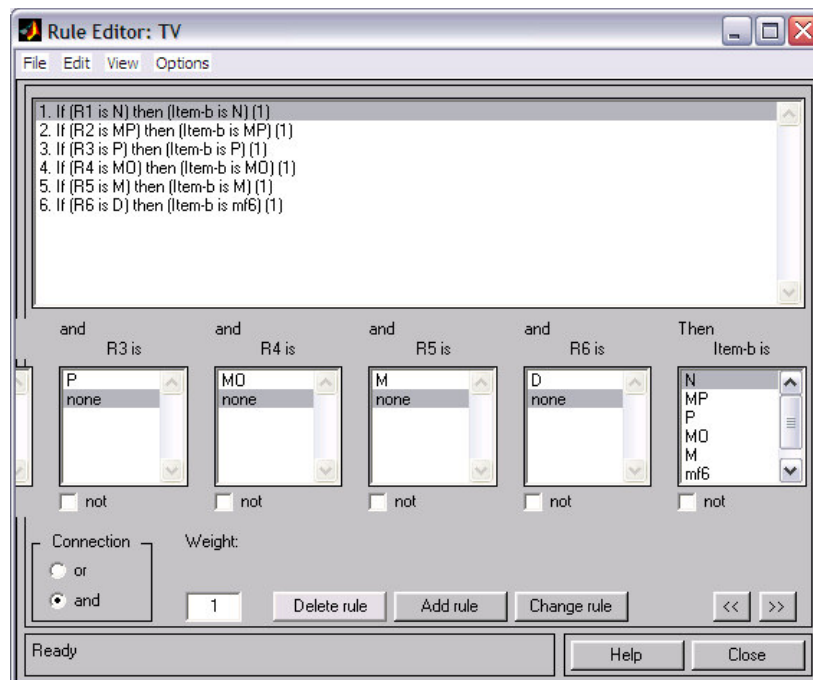
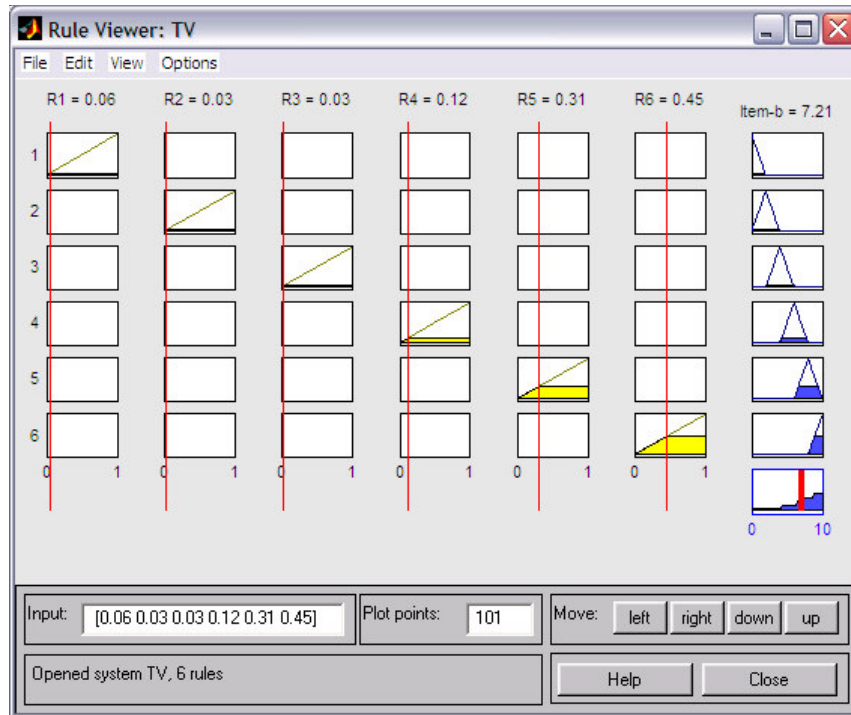


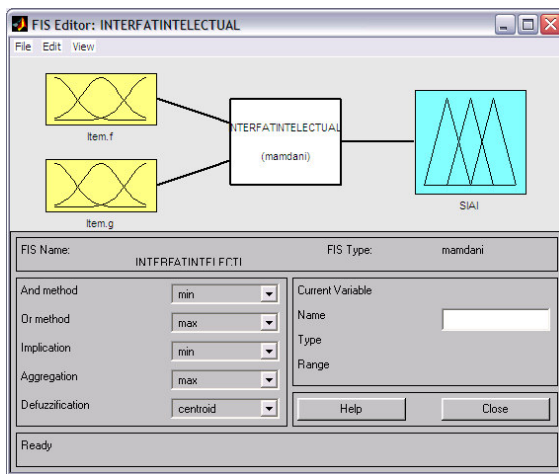
Figura 21. Edição das regras de inferência.



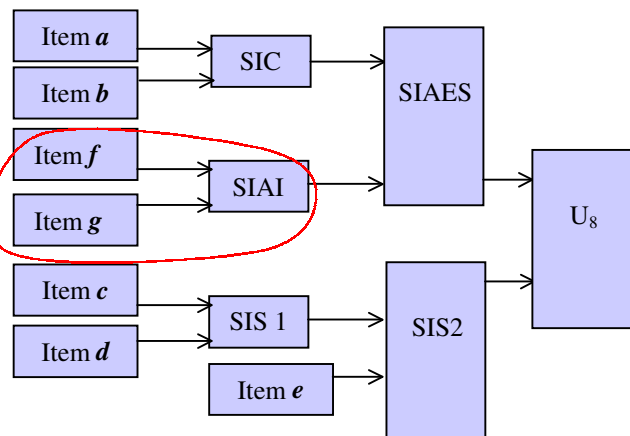
**Figura 22.** Defuzificação, resultando o valor ‘crisp’ 7,21 para o nível de interferência ao assistir TV.

### 3.1.2. Algoritmos elaborados para o Sistema Interferência na Atividade Intelectual (SIAI).

Este sistema tem como entrada o Nível de Interferência na Leitura e Nível de Interferência na Concentração (respectivamente, itens  $f$  e  $g$  da Questão 1), os quais foram obtidos nas seções 3.1.2.1 e 3.1.2.2. Seguindo os procedimentos já adotados para a obtenção do Nível de Interferência na Comunicação, elaboraram-se funções de



**Figura 23.** Sistema de inferência criado para obter Nível de Interferência nas Atividades Intelectuais.



**Fluxograma 3.**

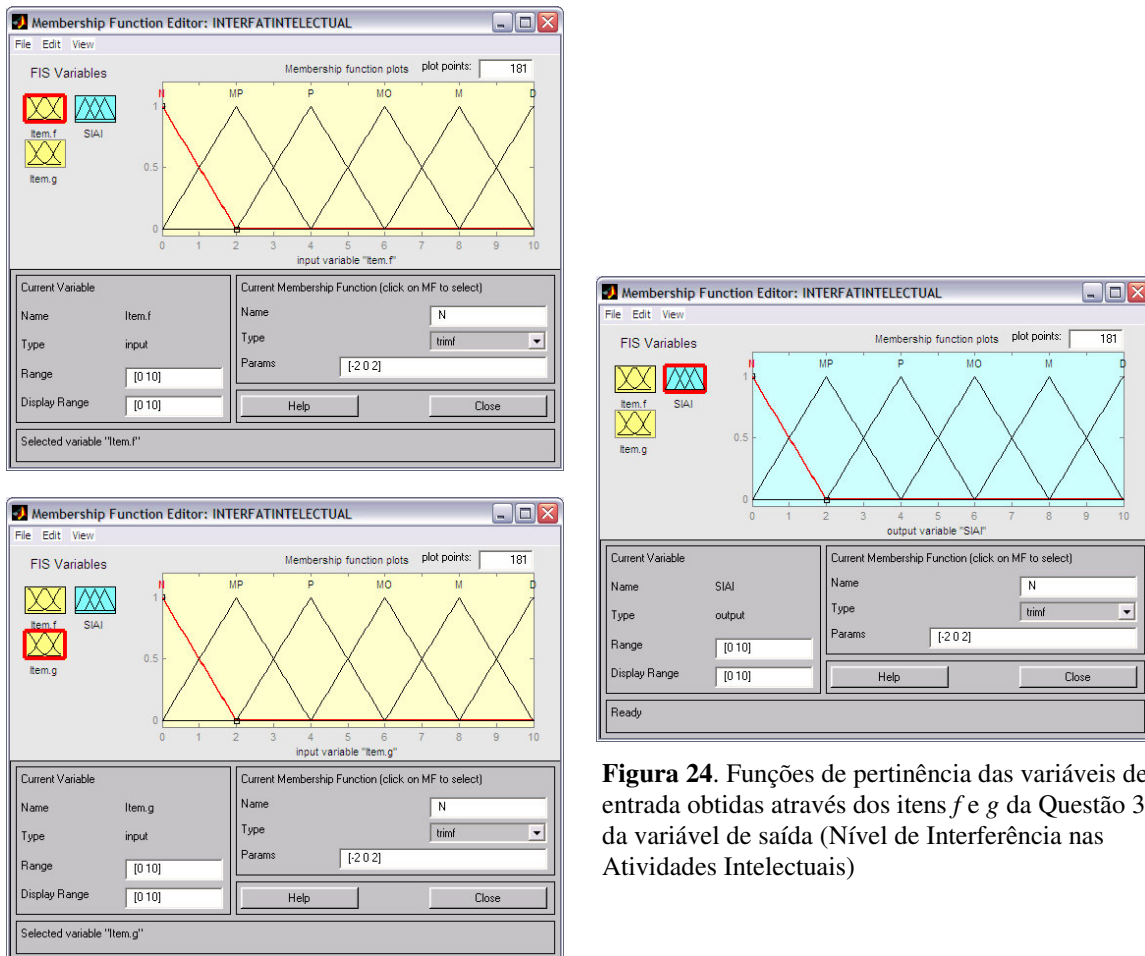
pertinência para as variáveis de entrada e de saída (Figura 24), adotando-se o universo do discurso situado no intervalo [0,10]. A Tabela de decisão 4 orientou a definição das regras de inferência.

**Tabela de decisão 4.** Nível de Interferência na Atividade Intelectual

Item <i>f</i> \ Item <i>g</i>	N	MP	P	MO	M	D
N	N	MP	P	MO	M	D
MP	MP	MP	P	MO	M	D
P	P	P	P	MO	M	D
MO	MO	MO	MO	B	M	D
M	M	M	M	B	M	D
D	D	D	D	D	D	D

**REGRA:** Se “item *f* (Nível de interferência na leitura)” é ... E “item *g* (Nível de interferência na concentração)” é ..., ENTÃO o ‘SIAI (Nível de Interferência na Atividade Intelectual)’ é ...

Os resultados da desfuzificação realizada para ‘item *f*’ e ‘item *g*’ (veja seções 1.1.2.1 e 1.1.2.2) foram introduzidos no visor de regras do *Matlab* e, a partir de uma nova desfuzificação, geraram um nível de Interferência na Atividade Intelectual 6,35 (veja Figura 26).



**Figura 24.** Funções de pertinência das variáveis de entrada obtidas através dos itens *f* e *g* da Questão 3 e da variável de saída (Nível de Interferência nas Atividades Intelectuais)

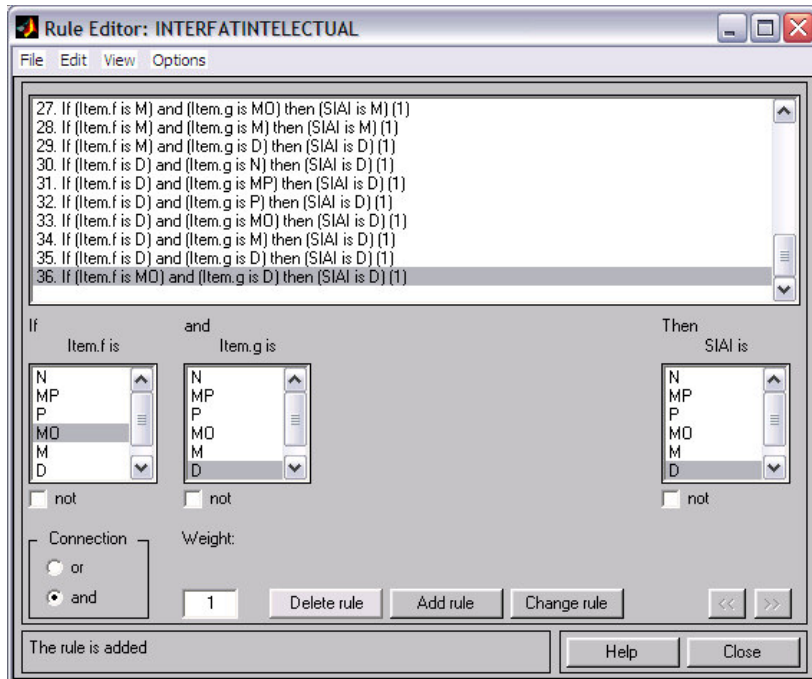


Figura 25. Regras de inferência.

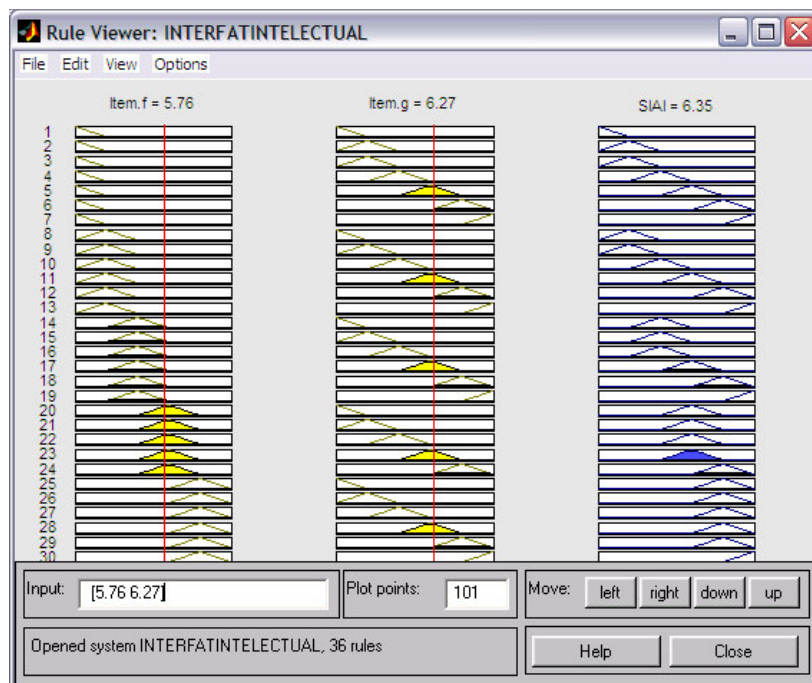
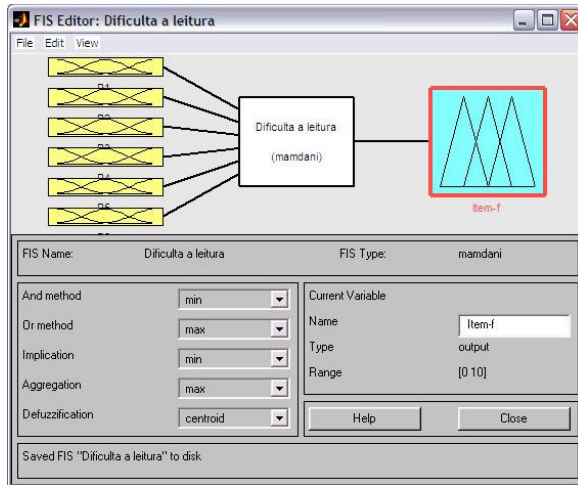


Figura 26. Desfuzificação, tendo como entradas os valores referentes aos itens *f* e *g* da questão 1 e resultando um valor “crisp” 6,35 para o Nível de Interferência nas Atividades Intelectuais (dado por SIAI).

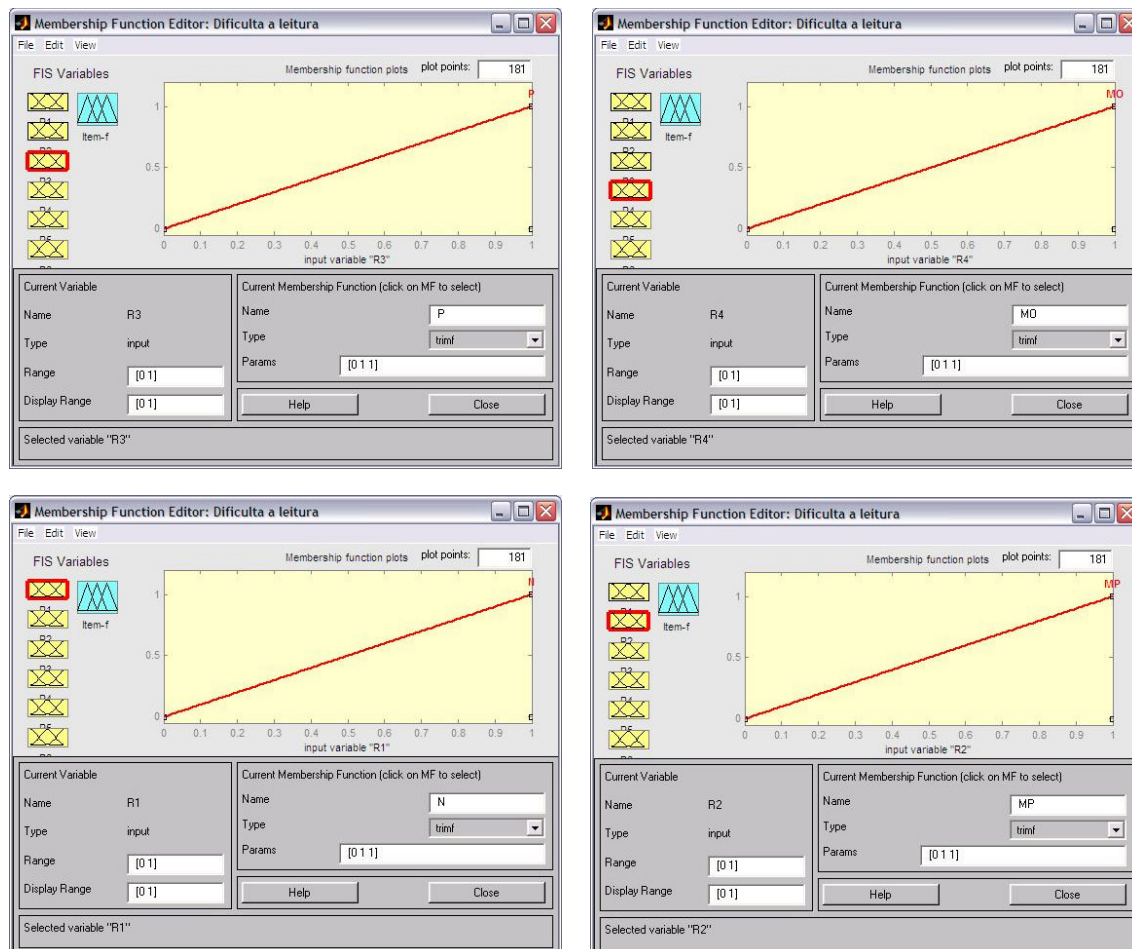
### 3.1.2.1. Algoritmo para obtenção do Nível de Interferência na Leitura (Item *f*: Dificulta a leitura?)



**Figura 27.** Sistema de inferência *fuzzy* criado para obter o Nível de Interferência na Leitura.

Os critérios adotados para definir o Nível de Interferência na Leitura (item *f*), o Nível de Concentração (item *g*), Nível de Interferência no Adormecimento (Item *c*), Nível de Interferência no Despertar Noturno (Item *d*) e Nível de Interferência no Despertar Matinal (Item *e*) foram os mesmos adotados para os itens *a* e *b*, portanto não serão repetidos daqui por

diante. Serão apresentadas apenas as figuras do *Matlab* que ilustram cada etapa do



**Figura 28.** Funções de pertinência desenvolvidas para as possibilidades de resposta R1, R2, R3 e R4.

processo.

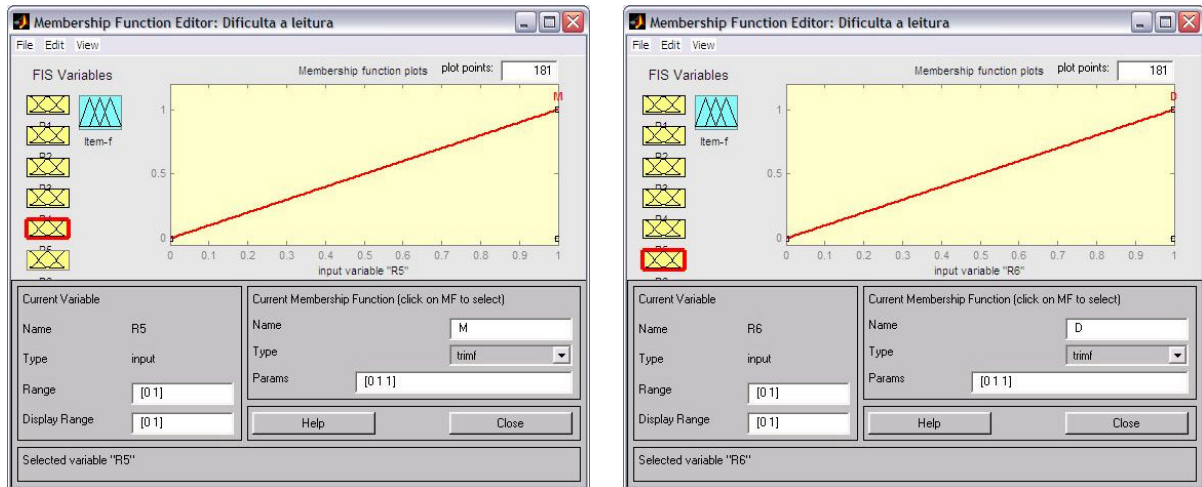


Figura 29. Funções de pertinência traçadas para as possibilidades de resposta R5,e R6 .

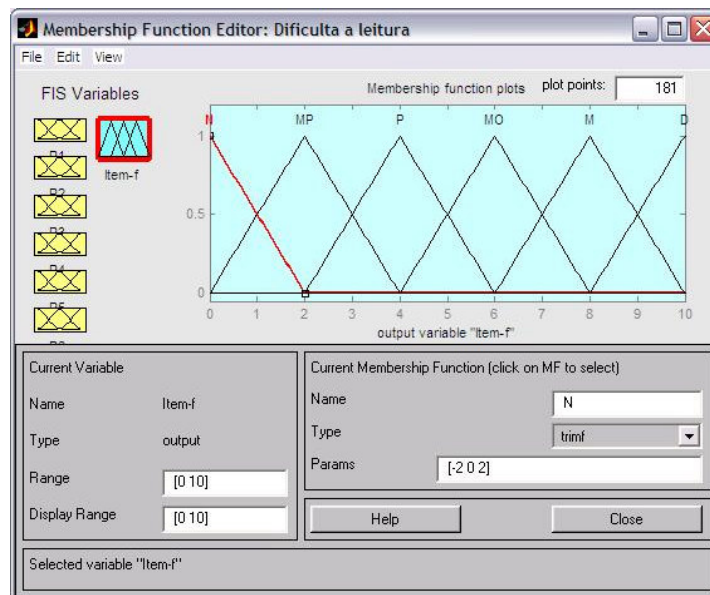
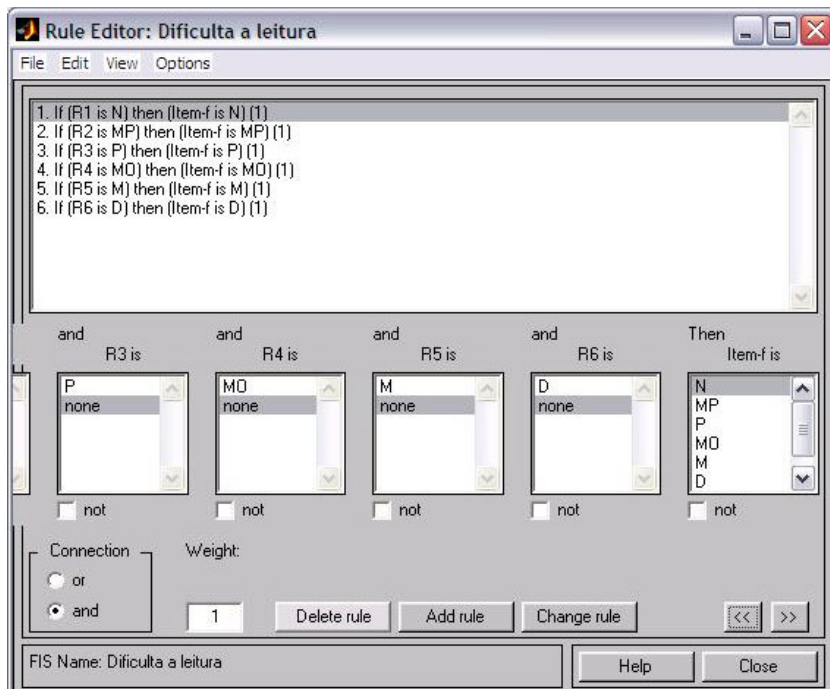
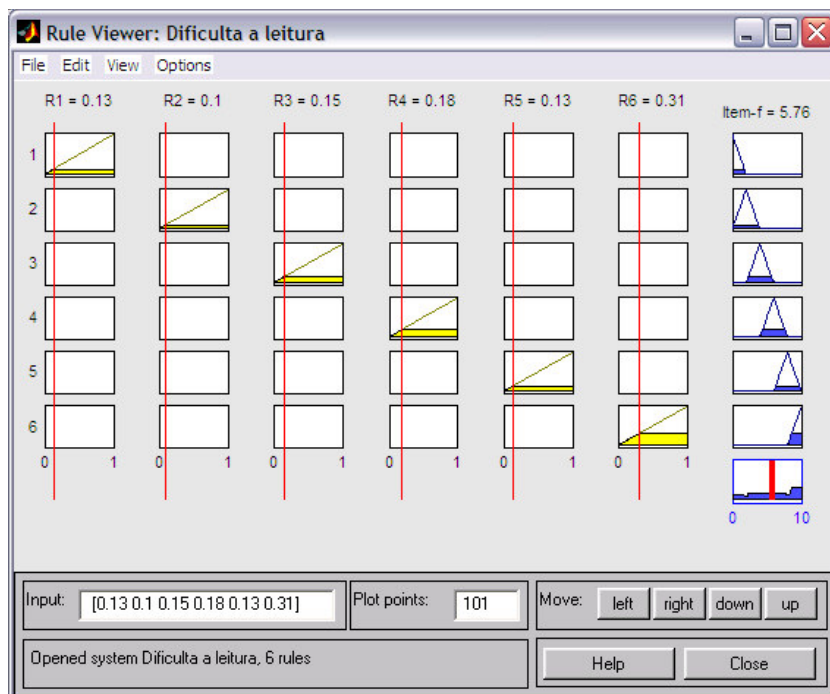


Figura 30. Funções de pertinência elaboradas para a variável de saída.



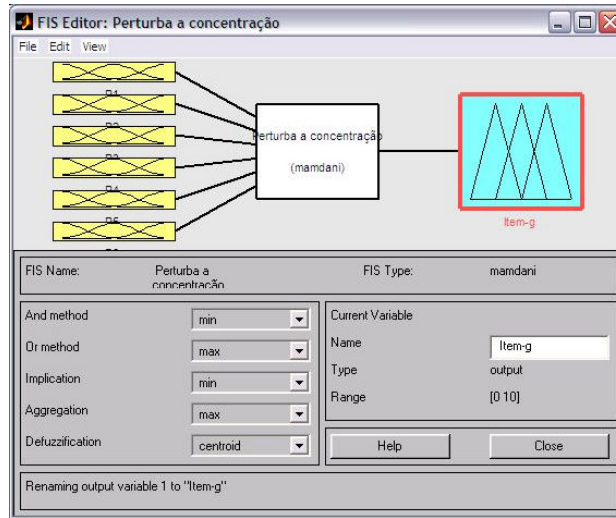


**Figura 31.** Regras de inferência.

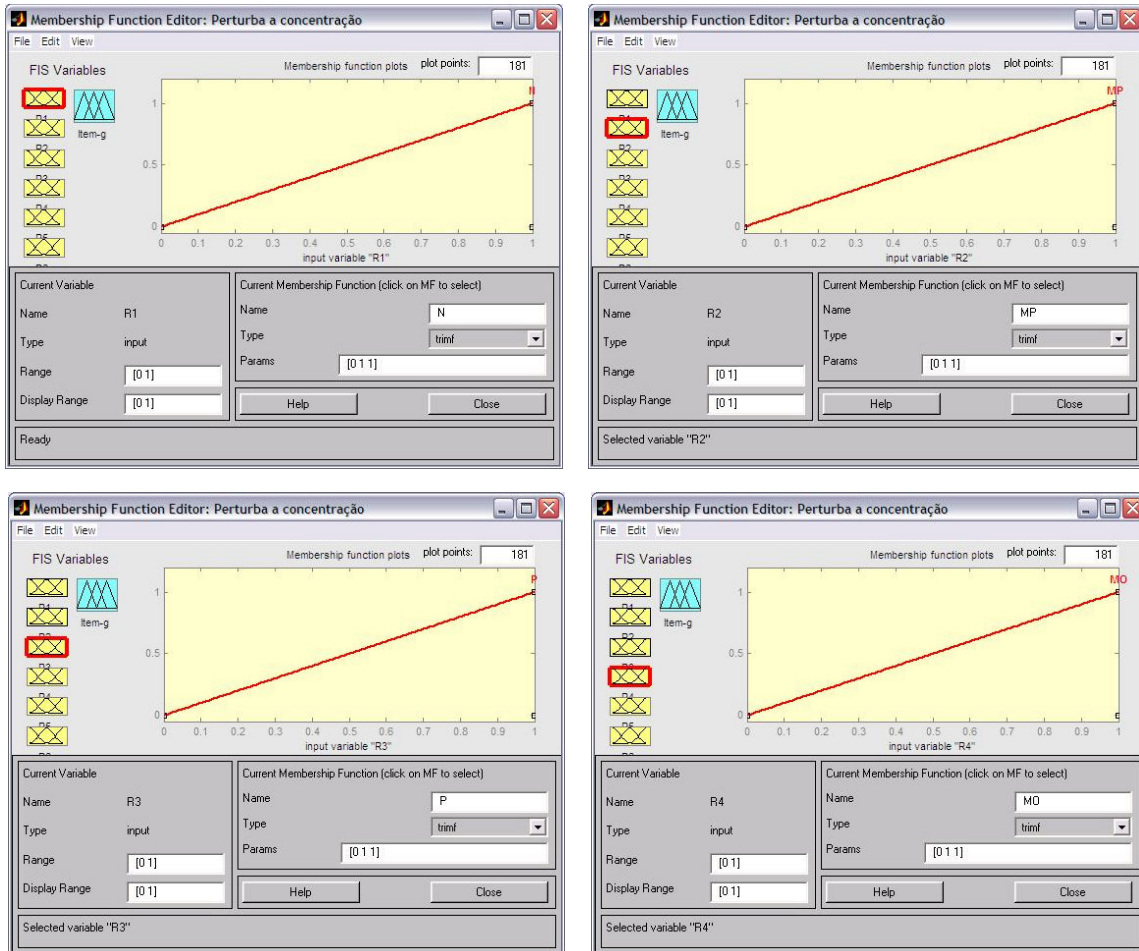


**Figura 32.** Desfuzificação resultando um valor 3,07 para o Nível de Interferência na Leitura (Item *f* da questão 3)

**3.1.2.2 Algoritmo para obtenção do Nível de Interferência na Concentração (Item g: Perturba a concentração?)**

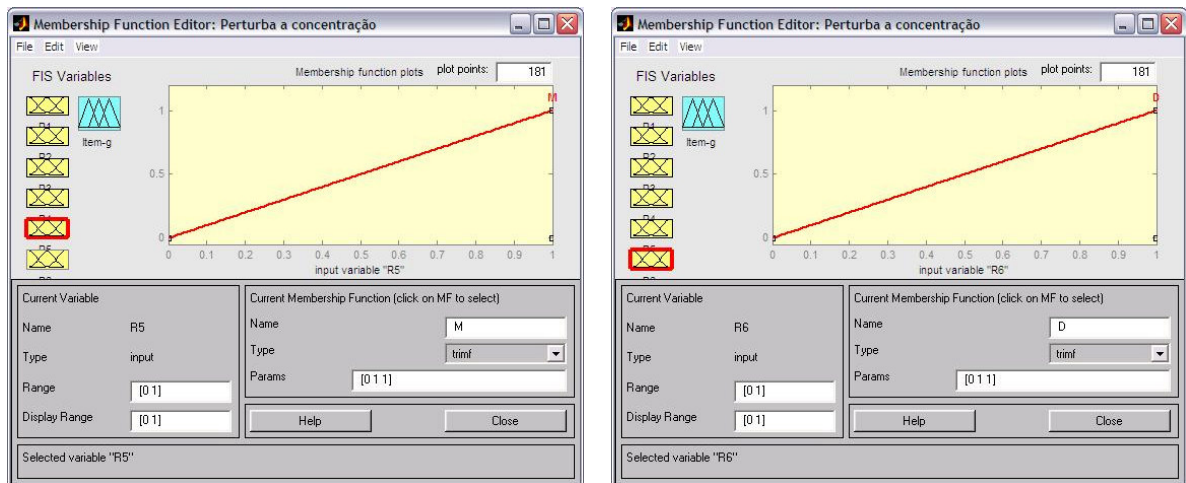


**Figura 33.** Sistema de inferência criado para avaliar o nível de interferência na concentração (Item g da questão 3).

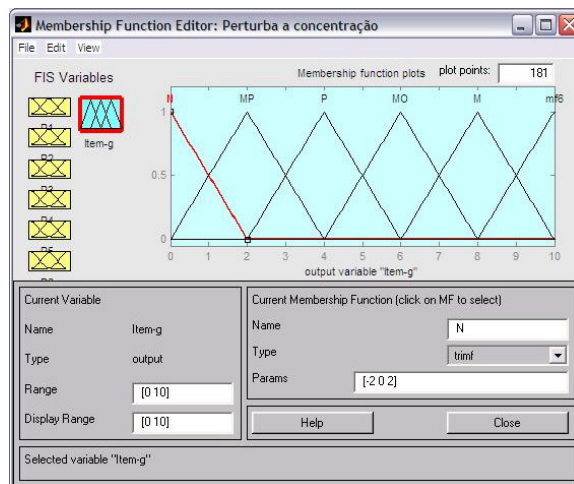


**Figura 34.** Funções de pertinência elaboradas para as possibilidades de resposta (R1,R2, R3 e R4).





**Figura 35.** Funções de pertinência elaboradas para cada possibilidade de resposta (R5 e R6).



**Figura 36.** Função de pertinência da variável de saída: Nível de Interferência na Concentração (Item g da questão 3).

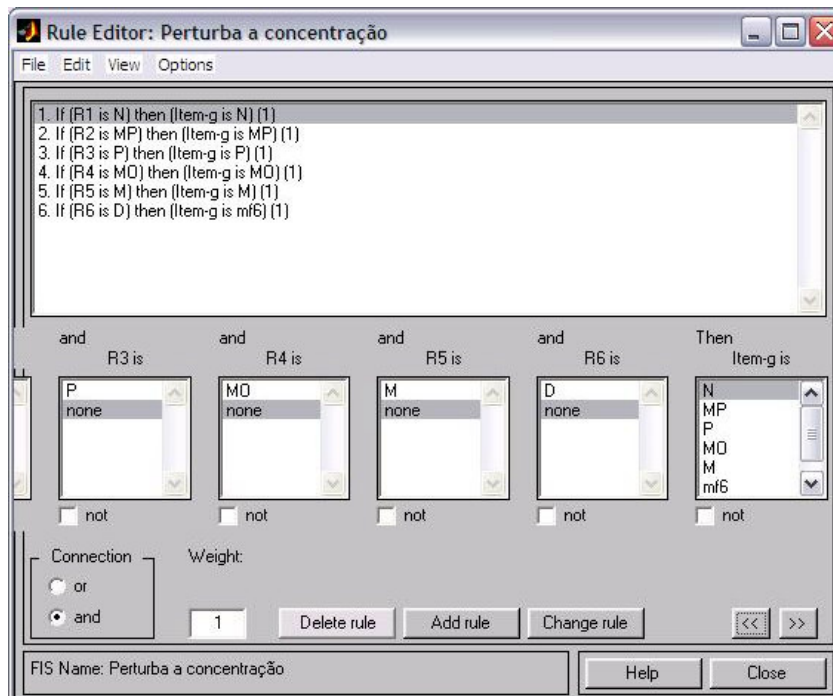


Figura 37. Regras de inferência.

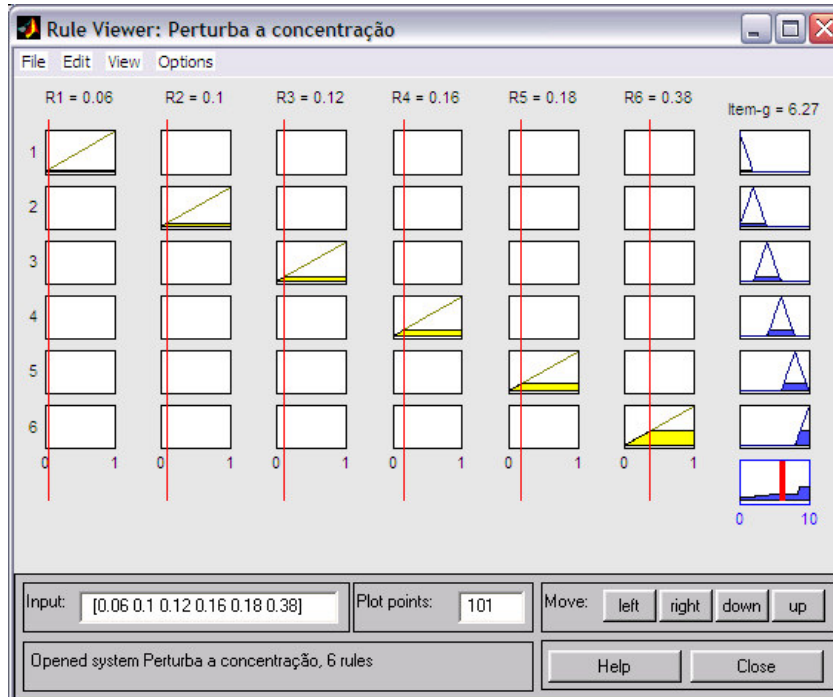
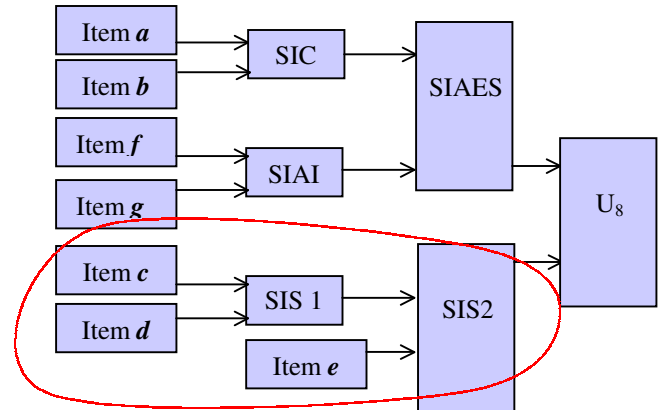


Figura 38. Desfuzificação, resultando um valor 6.27 para o Nível de Interferência na Concentração (Item g da questão 3).

### 3.2. Algoritmos elaborados para obter o Nível de Interferência no Sono (SIS 2).

Para obter o Nível de Interferência no Sono, a fim de facilitar a entrada de dados no *Matlab* e reduzir o número de regras de inferência a serem elaboradas, foram criados dois sistemas interferência no sono: Sistema Interferência no Sono 1 (SIS 1) e Sistema Interferência no Sono 2 (SIS 2). Os *itens c e d* da Questão 1



Fluxograma 3.

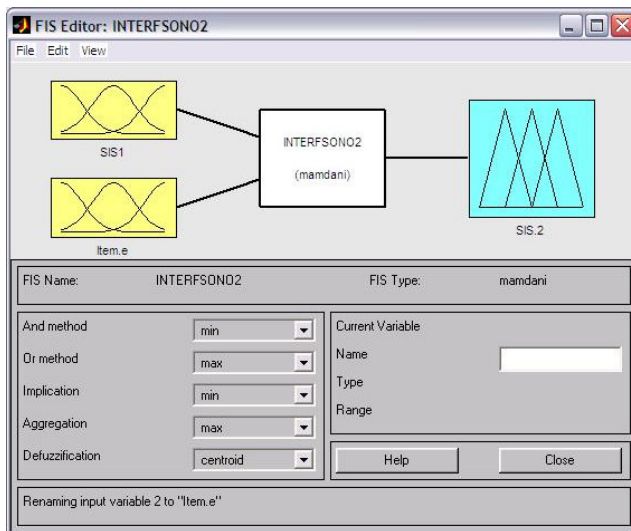


Figura 39. Sistema de inferência elaborado para obter o nível de interferência no sono.

entrada e de saída foram associadas aos valores lingüísticos correspondentes às possibilidades de respostas do questionário (Não, Muito Pouco, Pouco, Moderado, Muito e Demais).

Tabela de decisão 5. Nível de Interferência no Sono 2

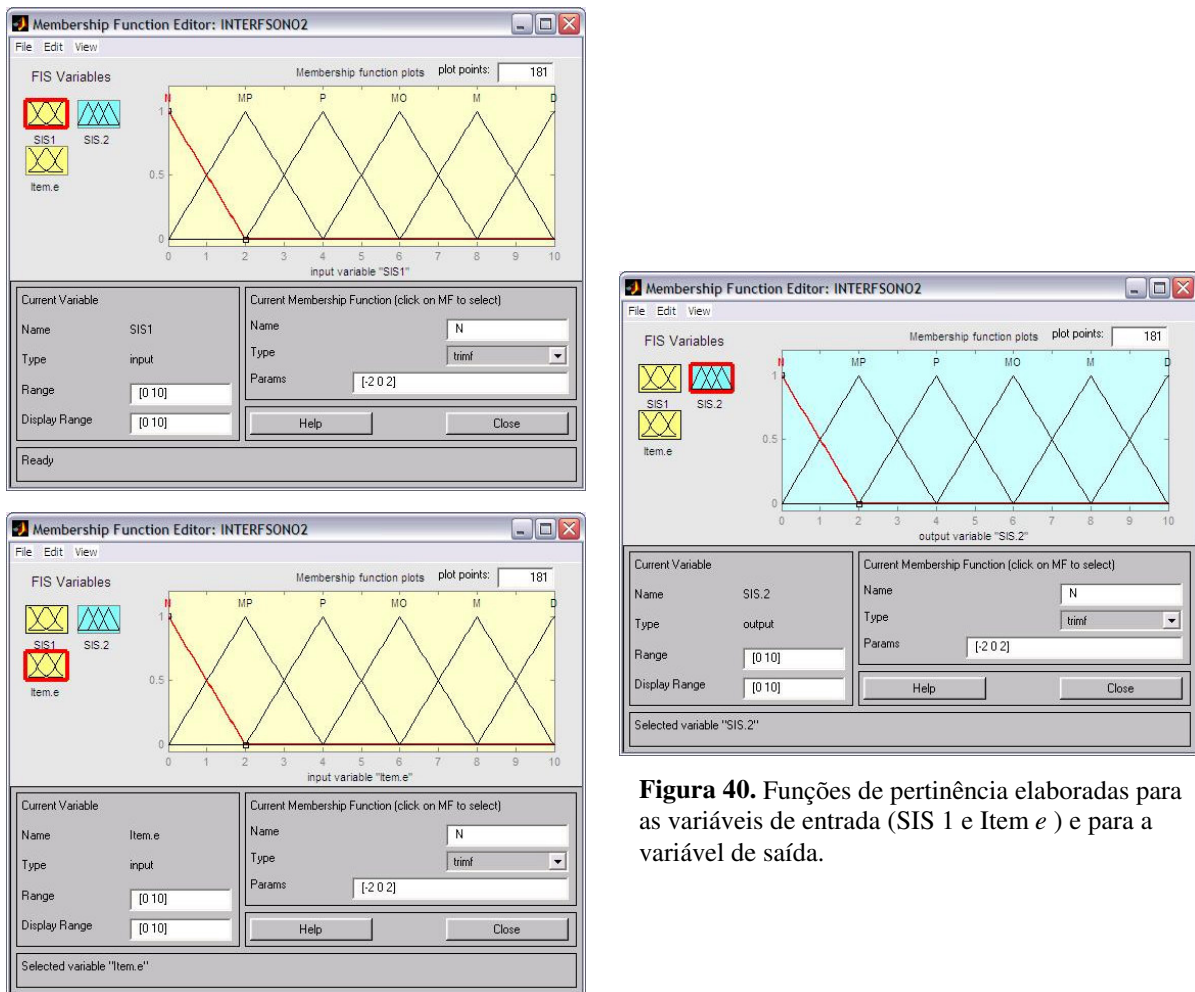
SIS 1 \ Item e	N	MP	P	MO	M	D
N	N	MP	P	MO	M	D
MP	MP	MP	P	MO	M	D
P	P	P	P	MO	M	D
MO	MO	MO	MO	B	M	D
M	M	M	M	B	M	D
D	D	D	D	D	D	D

**REGRA:** Se “SIS 1” (Nível de Interferência no sono) é ... E “item e” (Nível de interferência no despertar matinal) é ..., ENTÃO “SIS2” (Nível de Interferência no Sono 2) é ...

foram considerados entradas de SIS 1. Em seguida, o *item e*, da Questão 1 (Nível de Interferência no Despertar Matinal), juntamente com SIS 1, serviram de entrada para SIS 2.

Na Figura 39 pode-se visualizar o sistema de inferência criado para obter o Nível de Interferência no Sono (SIS 2). As funções de pertinência atribuídas às variáveis de

O universo do discurso assumido corresponde ao intervalo  $[0,10]$ . A Figura 40 apresenta as funções de pertinência relativas às variáveis de entrada e de saída. A Tabela de Decisão 5 auxiliou na definição das regras de inferência que posteriormente foram editadas no *Matlab* (Figura 41).



**Figura 40.** Funções de pertinência elaboradas para as variáveis de entrada (SIS 1 e Item e ) e para a variável de saída.

Os valores das variáveis de entrada obtidos em 3.2.1 e 3.2.2 foram introduzidos no visor de regras do *Matlab* (Figura 42). A desfuzificação resultou um valor ‘crisp’ 5,02, correspondente ao Nível de Interferência no Sono.

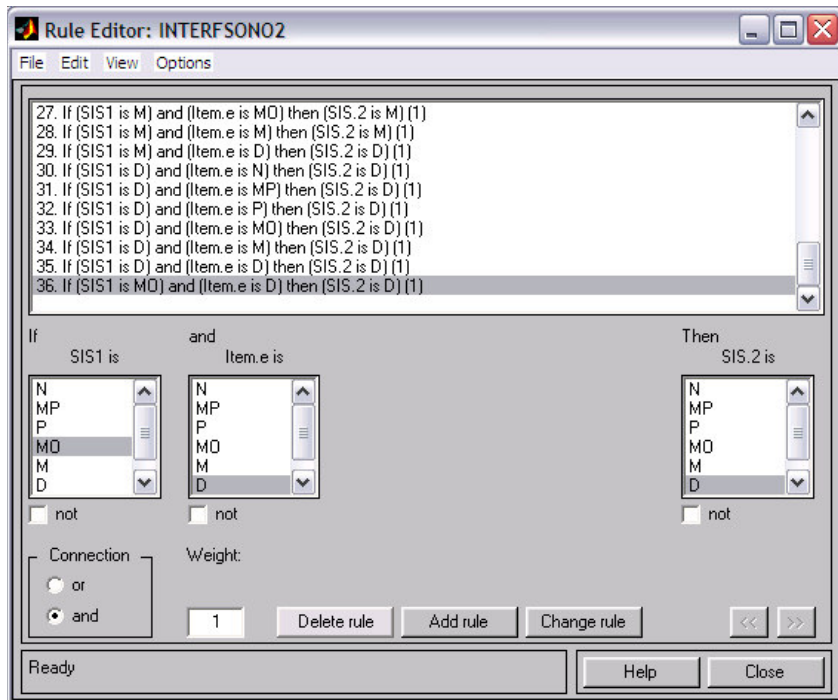


Figura 41. Regras de inferência.

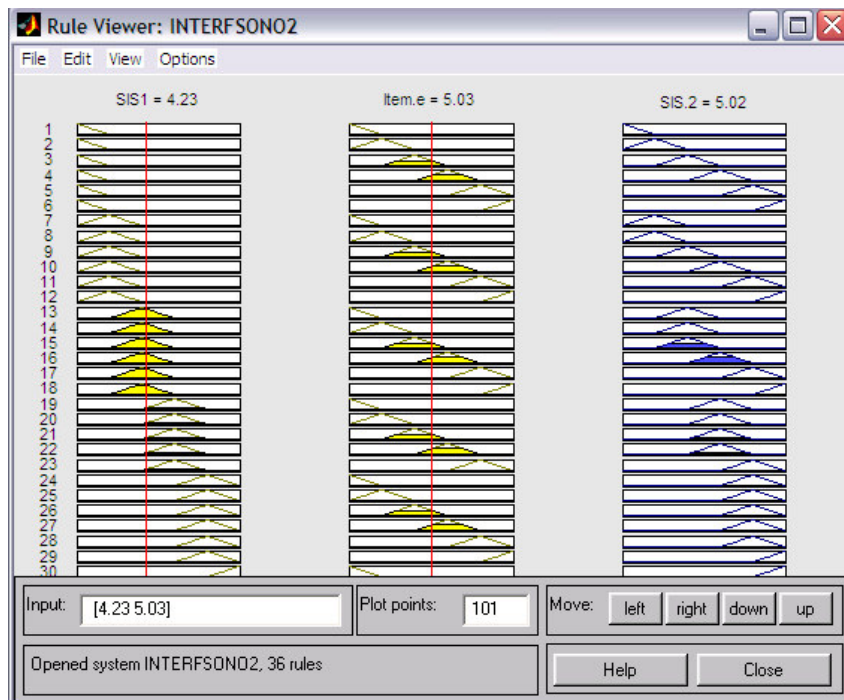
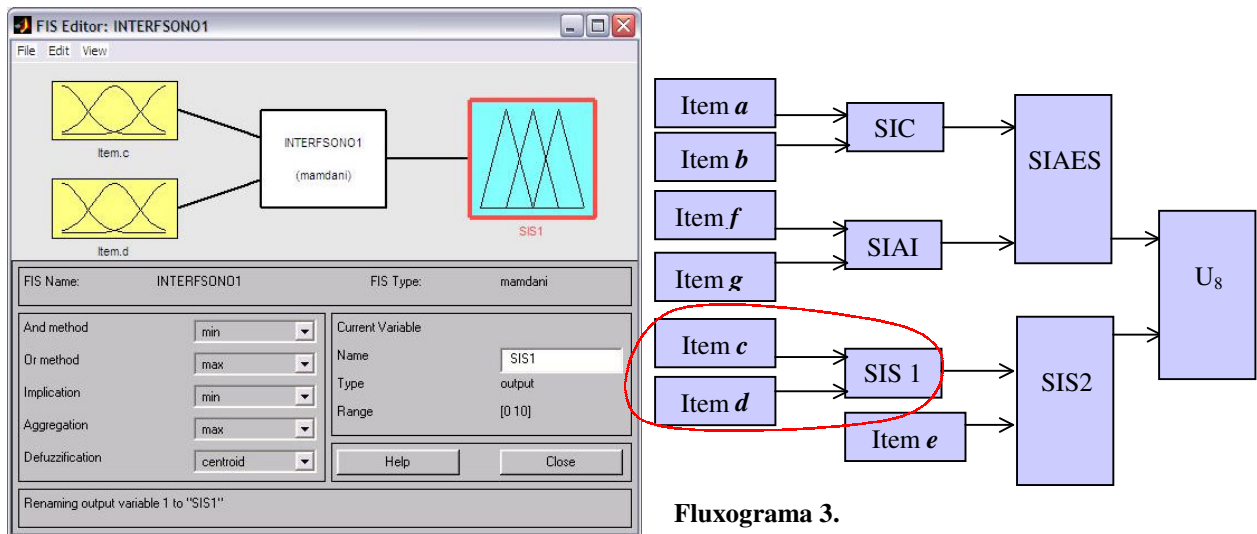


Figura 42. Desfuzificação considerando as entradas SIS 1 = 4,23 e Item e =5,03, resultando um valor 5,02 para o Nível de Interferência no Sono 2 (SIS 2).

### 3.2.1. Algoritmo para obtenção do nível de interferência no sono (dado por SIS 1)



**Figura 43.** Sistema de inferência referente ao Nível de Interferência no Sono 2.

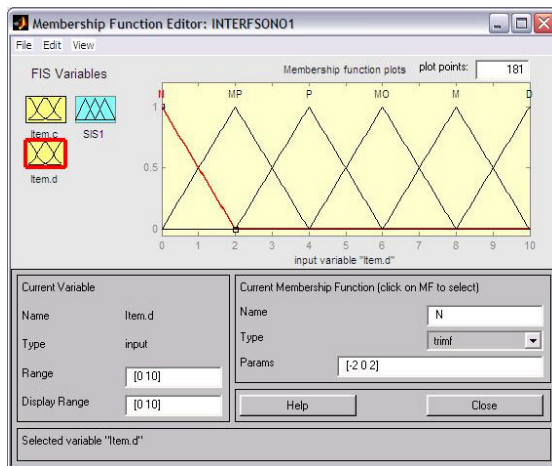
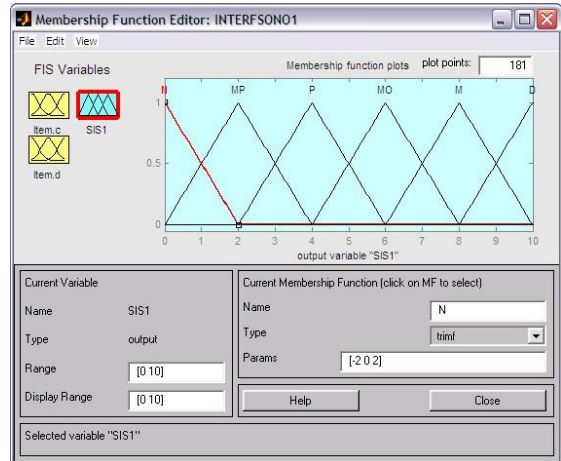
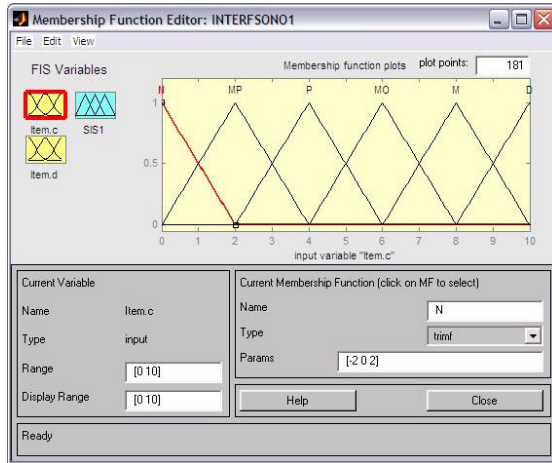
Na determinação do Nível de Interferência do Sono (SIS 1), foram adotados os mesmos procedimentos definidos para o SIS 2. O Sistema de inferência proposto para obter o Nível de interferência no sono teve como entradas o Nível de interferência no adormecimento (item *c* da questão 3) e Nível de interferência no despertar noturno (Item *d* da Questão 3). A Tabela de decisão 6 orientou a designação das regras de inferência apresentadas na Figura 45. A desfuzificação resultou um valor 4,23 para o Nível de Interferência no Sono 1 (SIS 1) (Figura 46).

**Tabela de decisão 6.** Nível de Interferência no Sono 1 (SIS1)

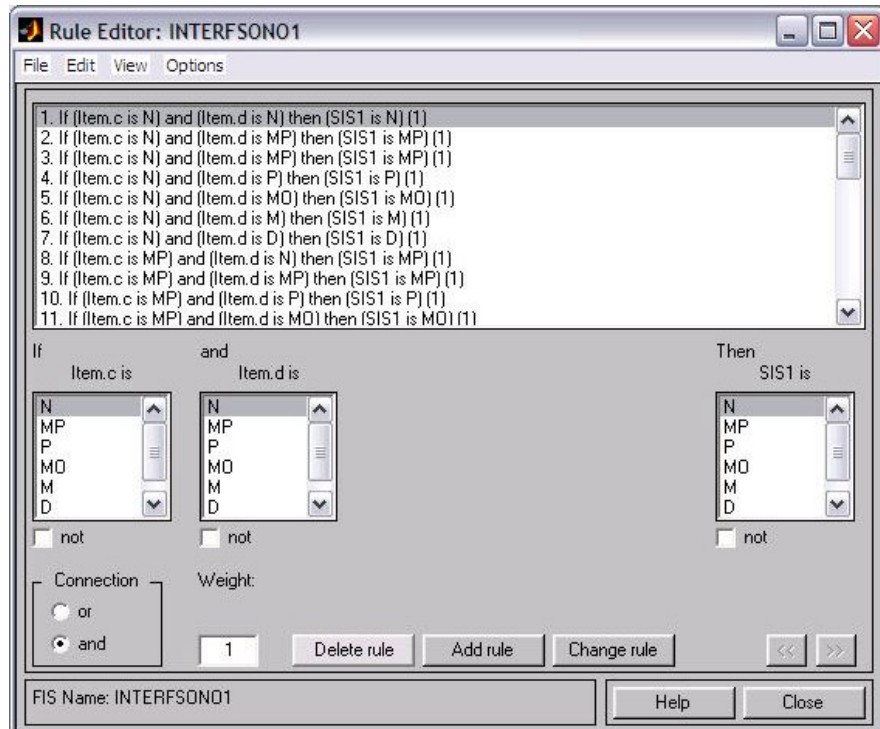
Item c \ Item d	N	MP	P	MO	M	D
N	N	MP	P	MO	M	D
MP	MP	MP	P	MO	M	D
P	P	P	P	MO	M	D
MO	MO	MO	MO	B	M	D
M	M	M	M	B	M	D
D	D	D	D	D	D	D

**REGRA:** Se “Nível de interferência no adormecimento (item *c*)” é ... E “Nível de interferência no despertar noturno (Item *d*)” é ..., ENTÃO o “Nível de Interferência no Sono 1 (SIS 1)” é ...





**Figura 44.** Funções de pertinência criadas para item *c* e item *d* e para a variável de saída Nível de Interferência no Sono 1 (SIS 1).



**Figura 45.** Regras de inferência.

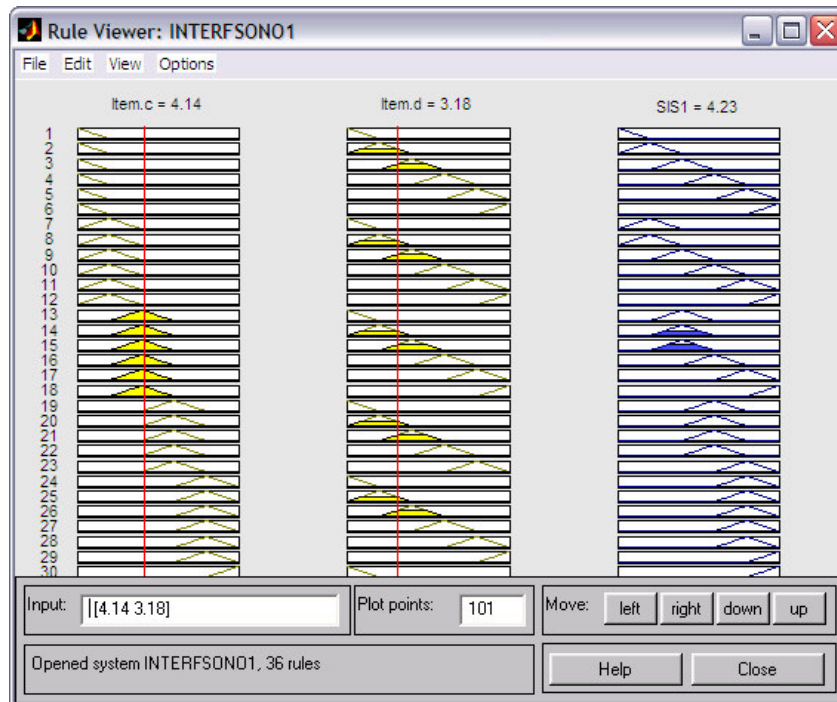


Figura 46. Desfuzificação: item  $c = 4.14$  e item  $d = 3.18$ , resultando  $SIS\ 1 = 4.23$

### 3.2.1.1. a. Algoritmo para obtenção do nível de interferência no adormecimento (Item $c$ : Provoca em você dificuldade de adormecer ?)

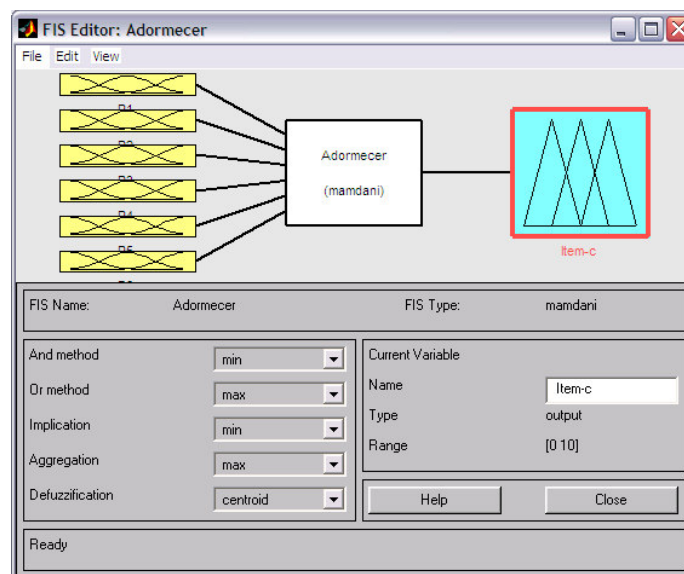
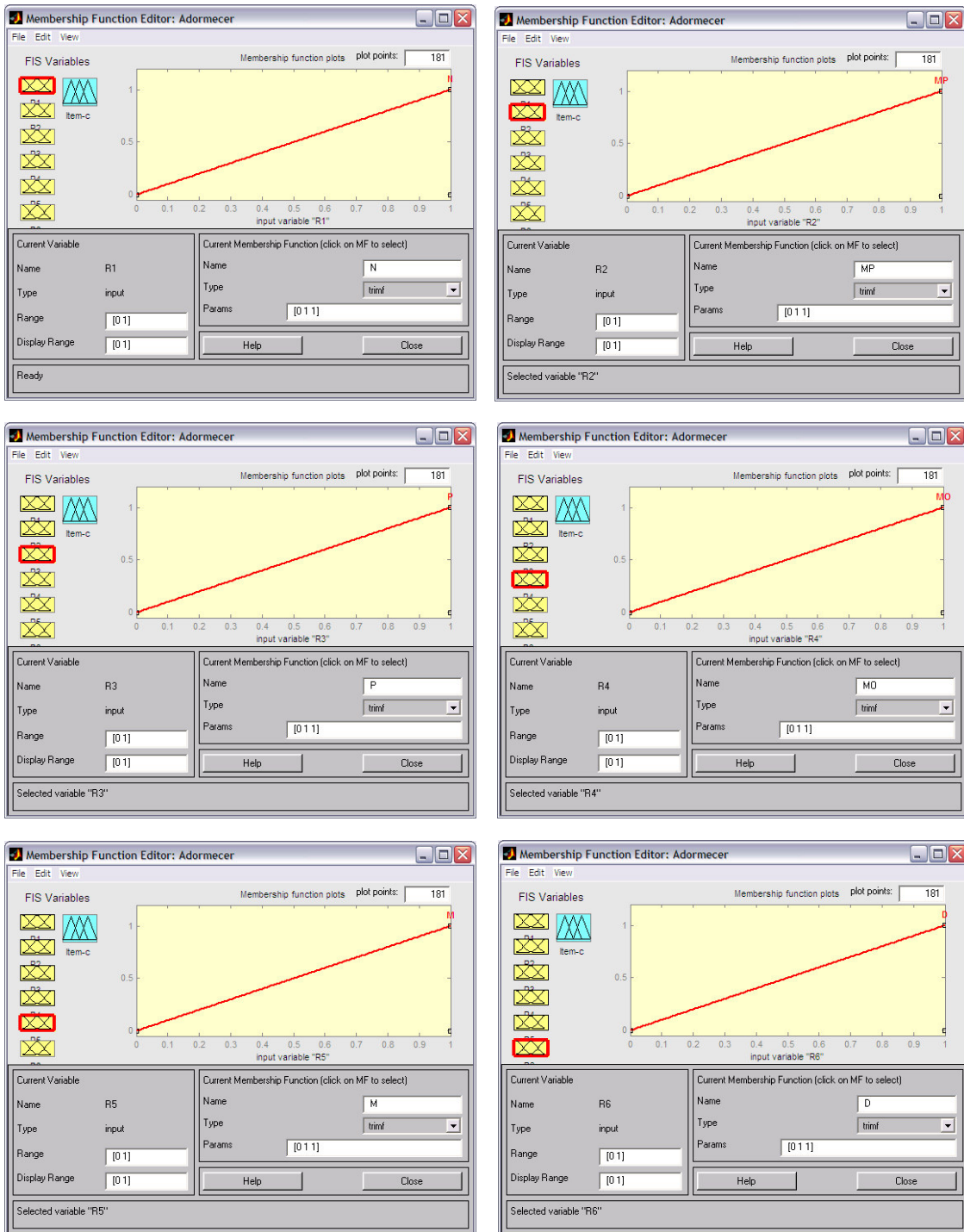
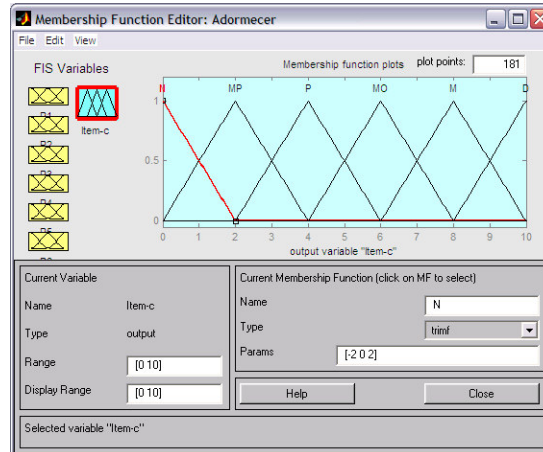


Figura 47. Sistema de inferência elaborado para obter o Nível de interferência no adormecimento (Item  $c$  da Questão 3).

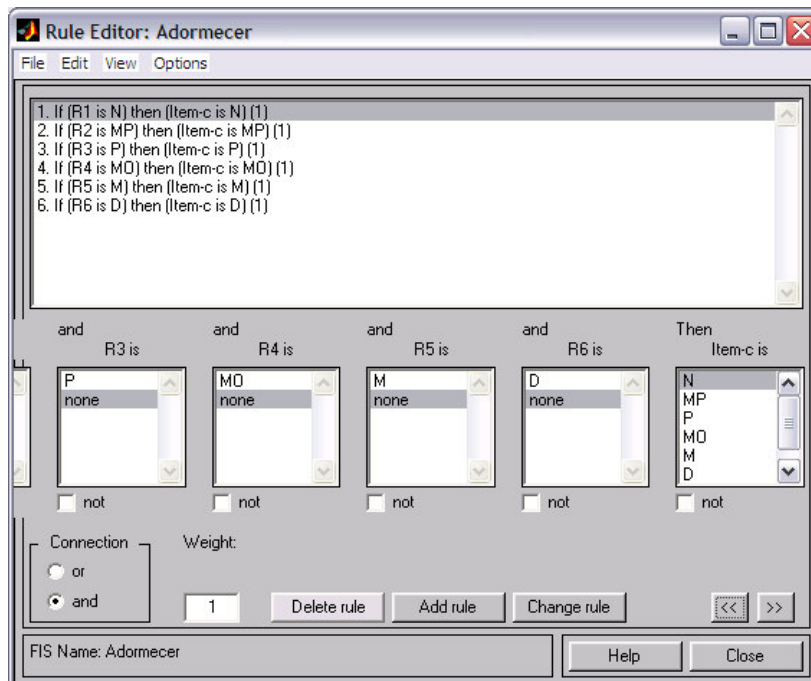




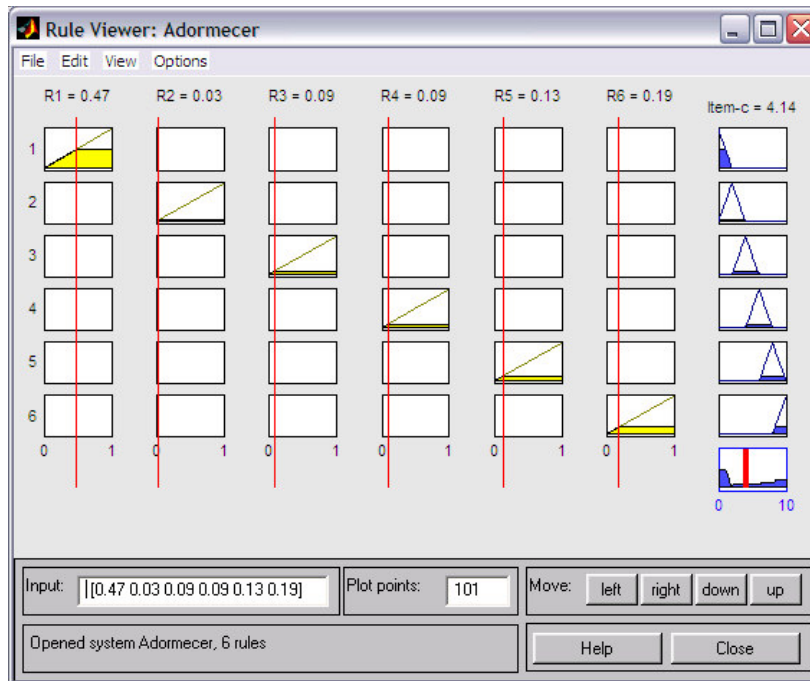
**Figura 48.** Funções de pertinência relativas a cada possibilidade de resposta R1,R2, R3, R4, R5 e R6.



**Figura 49.** Função de pertinência relativa à variável de saída (Item *c* da questão 3)

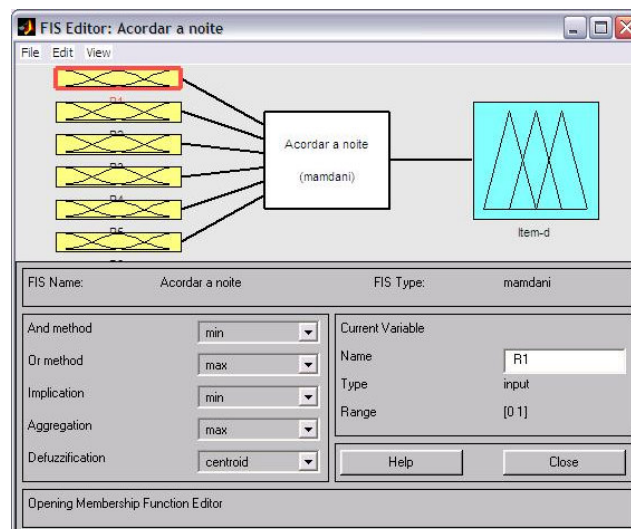


**Figura 50.** Regras de inferência.

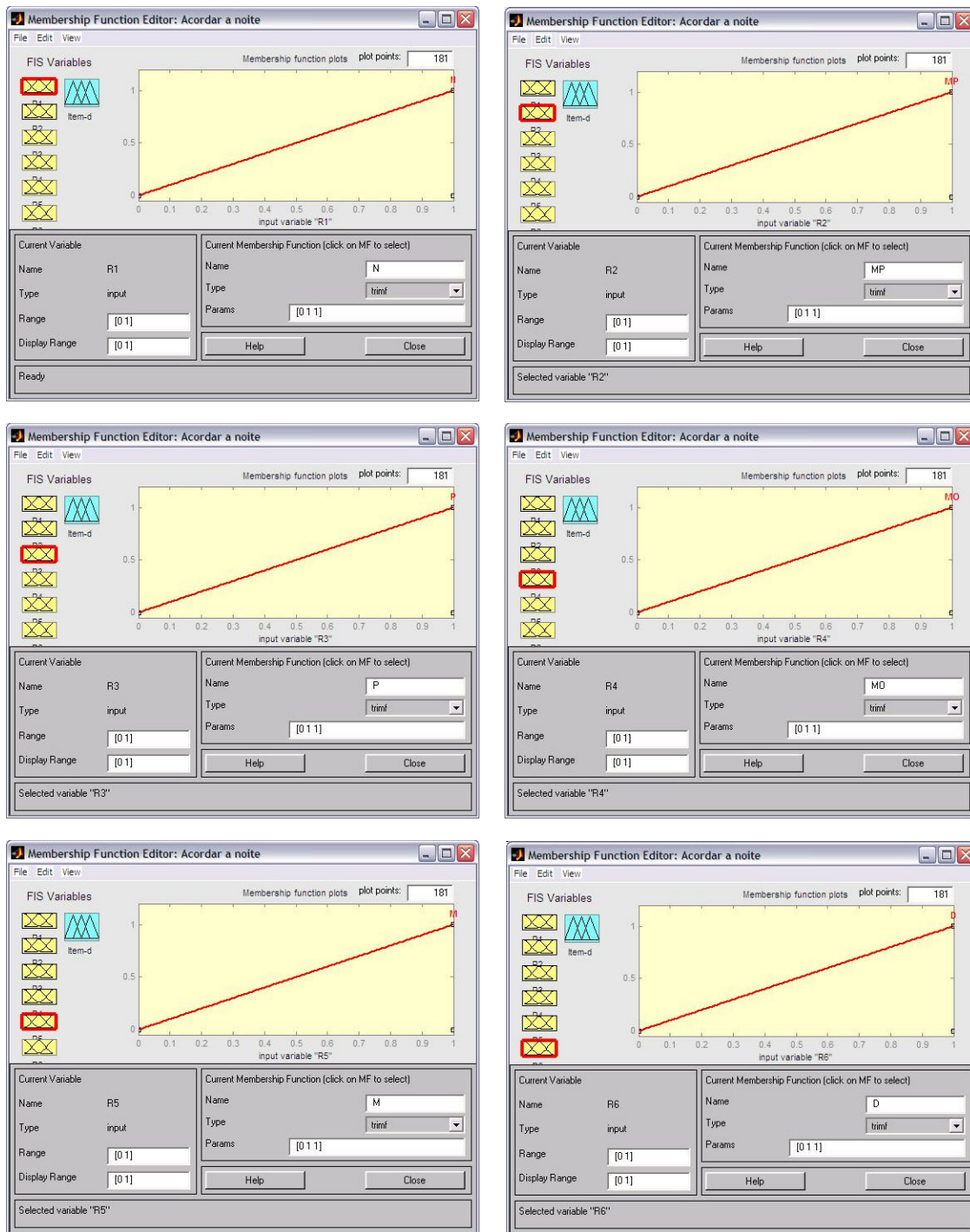


**Figura 51.** Desfuzificação resultando um nível de interferência no adormecimento 4,14.

### 3.2.1.2. Algoritmo para obtenção do nível de interferência no despertar noturno (Item *d*: Faz você acordar durante a noite ?)



**Figura 52.** Sistema de inferência relativo ao Nível de Interferência no Despertar noturno (Item *d* da questão 3).



**Figura 53** Funções de pertinência relativas a cada variável de entrada

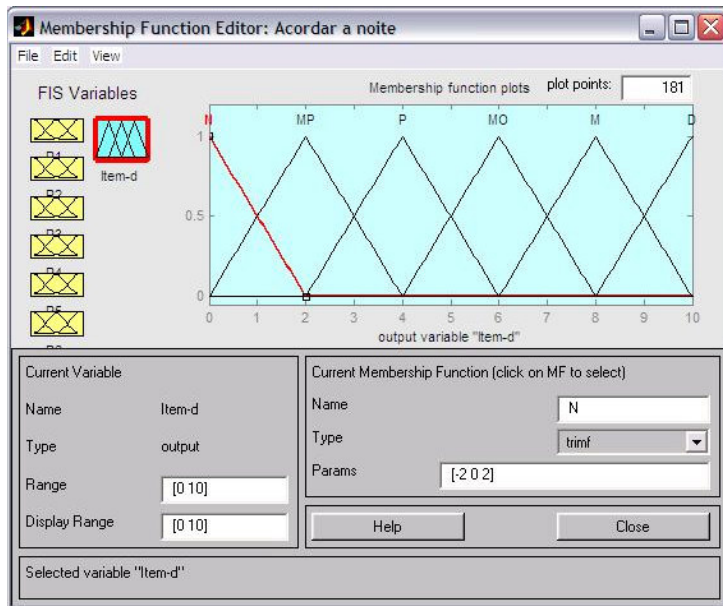


Figura 54. Funções de pertinência relativas à variável de saída: Item *d*.

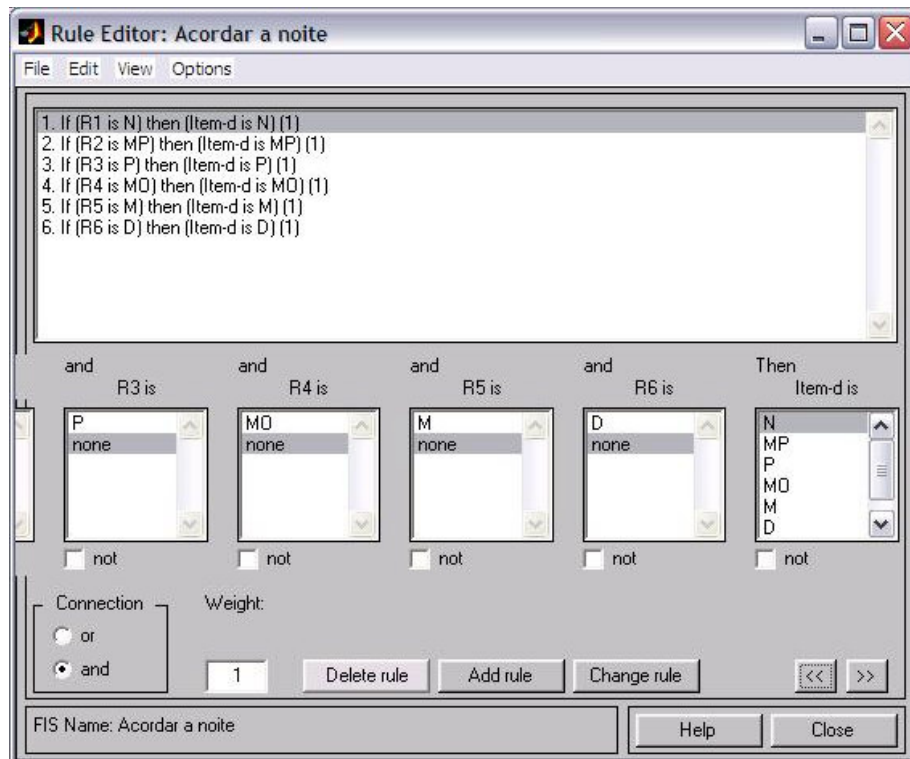
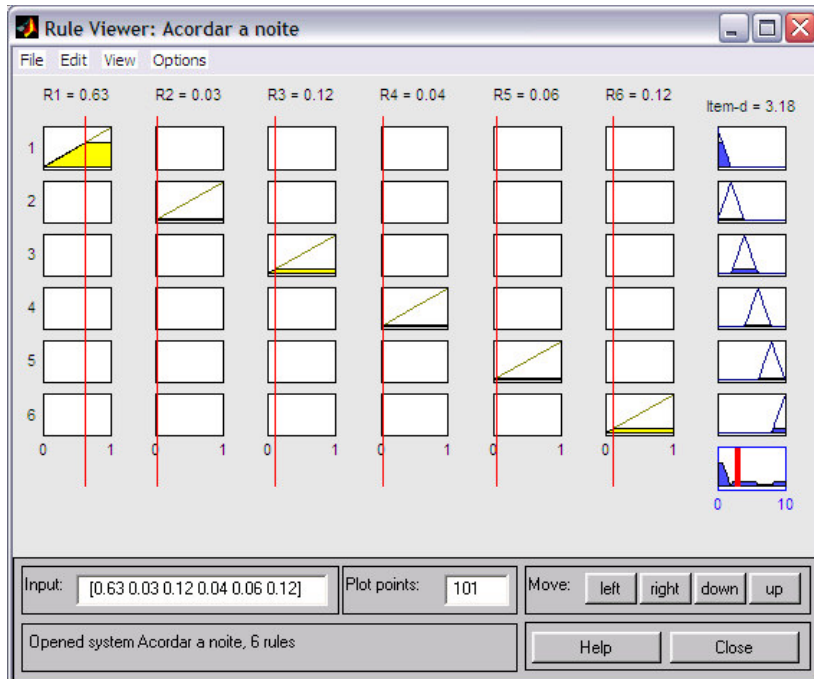
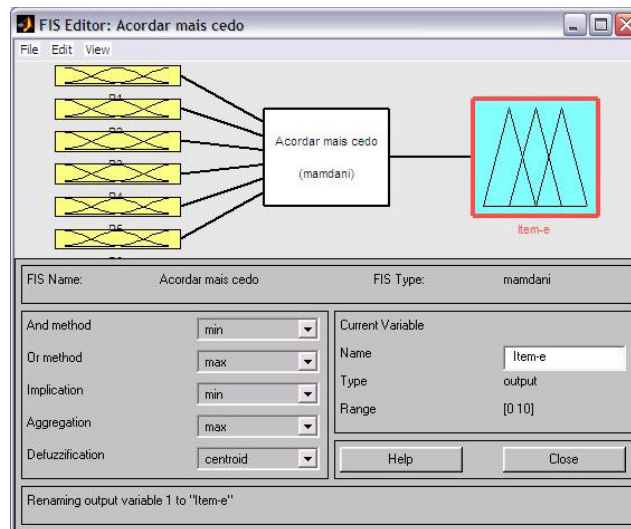


Figura 55. Regras de inferência.



**Figura 56.** Desfuzificação gerando o valor “crisp” 3.18 para o nível de Interferência no Despertar Noturno (Item *d* da questão 3).

### 3.2.2. Algoritmo para obtenção do Nível de Interferência no Despertar Matinal (Item *e*: Faz você acordar mais cedo ?)

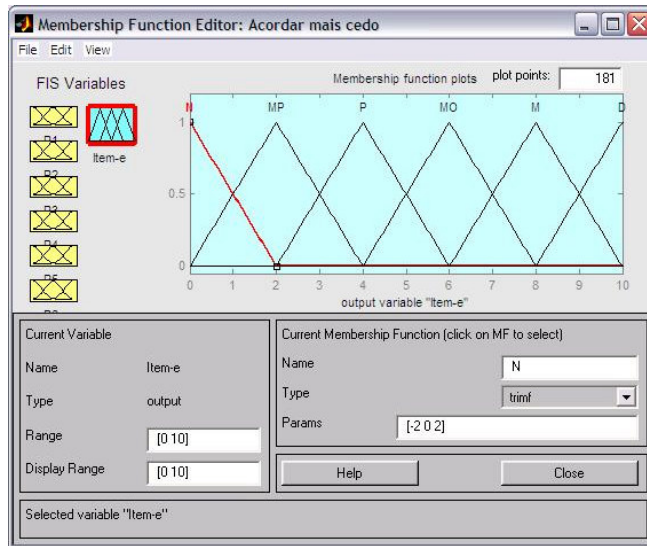


**Figura 57.** Sistema de inferência relativo ao Nível de Interferência no Despertar Matinal (Item *e* da questão 3).

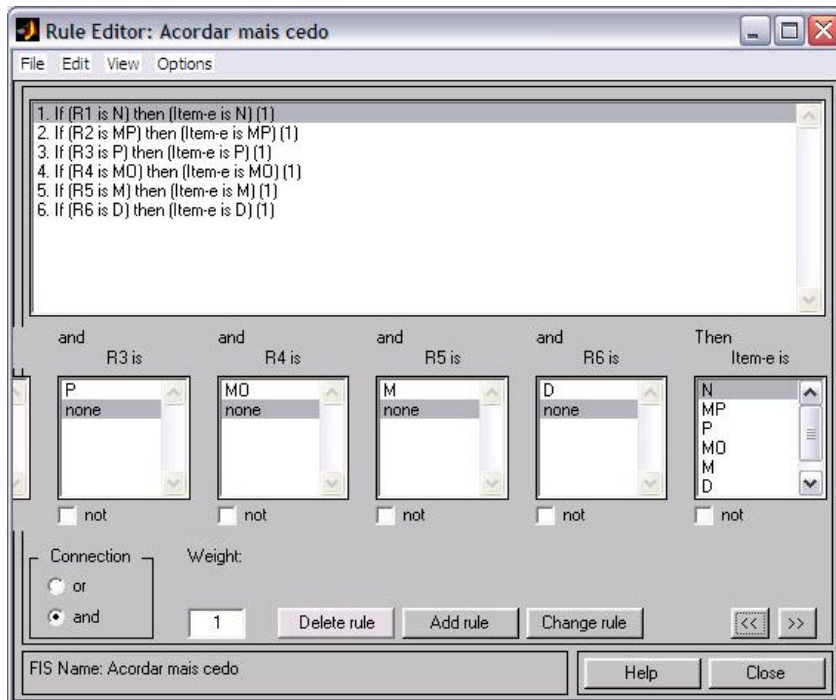




**Figura 58.** Funções de pertinência de cada variável de entrada, considerando as possibilidades de resposta R1, R2, R3, R4, R5 e R6.

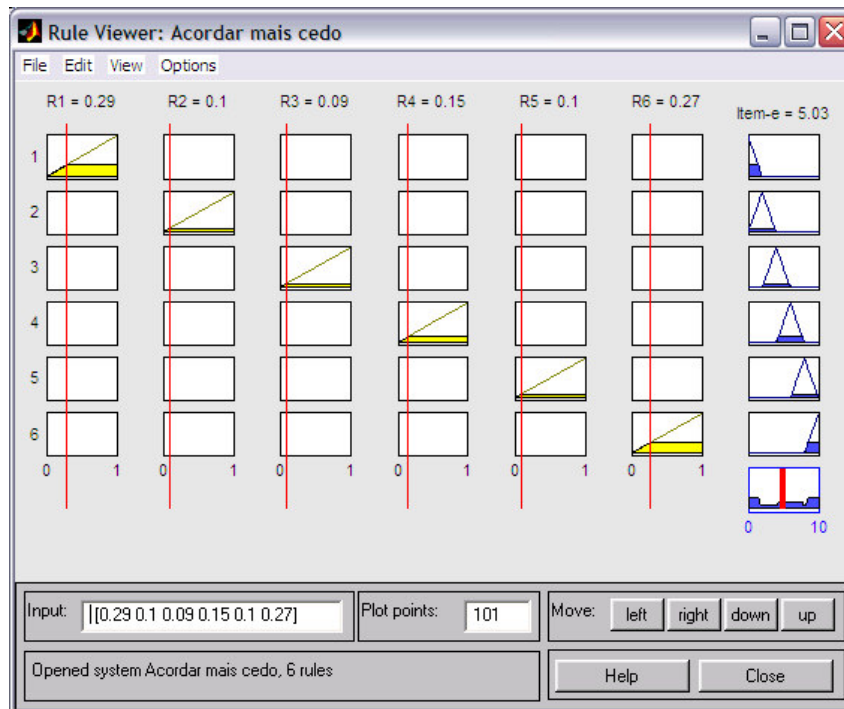


**Figura 59.** Funções de pertinência da variável de saída: (Item *e* da questão 3).



**Figura 60.** Regras de inferência





**Figura 61** Desfuzificação: Porcentagens de R1,R2,R3,R4,R5 e R6 resultando o Nível de Interferência no Despertar Matinal (Item e = 5.03).

## ANEXOS

## **Anexo 1 - CARACTERÍSTICAS DO AEROPORTO DE JACAREPAGUÁ (SBJR). (INFRAERO, 2002)**

### **1. Área Patrimonial**

Segundo a subdiretora de Patrimônio da Aeronáutica, a poligonal que delimita a área patrimonial do Aeroporto de Jacarepaguá abrange uma área de 1.949.600,3302 m<sup>2</sup>. Da área total, 1.735.272,5147 m<sup>2</sup> estão sob a administração da INFRAERO e 214.327,8155 m<sup>2</sup> são administrados pelo Clube de Aeronáutica, onde se encontra a sua Sede Campestre.

#### ***a. Características da Pista de Pouso***

Rumos: 02/20

Dimensões: 900m x 30m

Elevação: 3m (10 pés)

Natureza do piso: concreto asfáltico

#### ***b. Características de Operações***

- Operação visual

- Temperatura de referência: 30° C

Declive longitudinal máximo: 0,001% (NULA)

O Aeroporto de Jacarepaguá enquadra-se no Plano de Específico de Zona de Proteção dos Aeródromos do Rio de Janeiro - Galeão, Santos Dumont, Campo dos Afonsos e Jacarepaguá, de acordo com a Portaria nº 903/GM-4, de 21 de outubro de 1986.

#### ***Controle de Tráfego Aéreo***

O Controle de Tráfego Aéreo do Aeroporto de Jacarepaguá é efetuado pela INFRAERO, através da Torre de Controle, que presta os serviços de controle, informações de voo e alerta, abaixo de 2.000 pés. Todas as aproximações e saídas são realizadas sob regras de voo visual.

## *Meteorologia Aeronáutica*

O Controle meteorológico da área do Aeroporto é feito pela INFRAERO. O Jardim Meteorológico situa-se ao lado do Terminal de Passageiros. Os dados meteorológicos do Aeroporto são os seguintes:

### **Temperaturas:**

Máxima: 37°C

-Mínima: 11°C

-Referência: 27°C

Vento predominante: 120° com 6 nós e 150°, com 8 nós.

### **Pressão Atmosférica:**

Máxima: 1029,0 Hpa

Mínima: 980,5 Hpa

Maior incidência de chuvas - Dezembro: 12 dias

Maior incidência de nevoeiro - Dezembro: 3 dias

## **2. Áreas de apoio ao Aeroporto**

### ***Posto de Estacionamento de Aeronaves***

Está localizado a uma distância de 16 metros do Terminal de Passageiros e a 64 metros da borda de pista de pouso e decolagem.

Conta com uma área total de 45.030 m<sup>2</sup> em concreto asfáltico, sendo que possui 10 ilhas de 10,5 x 60 m e três ilhas de 28.5m x 72 m, em concreto cimentado.

Pela sinalização atual, o pátio tem capacidade de estacionar 24 (vinte e quatro) aeronaves de pequeno e médio porte, asa fixa, e 12 (doze) estacionamentos para helicópteros.

### ***Terminal de Passageiros***

É do tipo linear, com uma área total de 877,0 m<sup>2</sup>. Está localizado a cerca de 210 m do eixo da pista de pouso e decolagem 02/20 e compreende: saguão, sanitários, apoio e administração da INFRAERO.

### ***Estacionamento de Veículos***

O Estacionamento de veículos públicos é frontal ao Terminal de Passageiros (lado terra) estando a cerca de 15 m deste com a capacidade de 76 (setenta e seis) vagas numa área de 1.882 m<sup>2</sup>, que são compartilhados por passageiros, acompanhantes e funcionários do Aeroporto e 01 (um) estacionamento com capacidade para 61 (sessenta e um) veículos que fica situado no eixo viário do Aeroporto.

### ***Área de Hangaragem e Manutenção***

Apresenta duas áreas com tal função: Uma localizada ao lado esquerdo do eixo viário e outra, ainda não ativada, apresentando somente instalações de uma empresa de táxi aéreo.

### ***Serviço de Combate a Incêndio (SCI)***

Está localizado a 13,5m do Terminal de Passageiros ocupando área de 950 m<sup>2</sup>. Na parte térrea, estão localizados os Serviços de Proteção Contra-Incêndio contendo: garagem para 05 (cinco) viaturas, depósito de materiais, banheiros, vestiários, sala de estar, cozinha e refeitório.

### ***Parque de Abastecimento de Aeronaves (PAA)***

O Serviço de abastecimento de aeronaves localiza-se a 446 m a Nordeste do Terminal de Passageiros.

### ***Serviços Auxiliares a Aviação Civil***

O Aeroporto de Jacarepaguá possui o apoio de oficinas de manutenção para aeronaves de asa fixa (Aeroclube do Brasil e Jato Aviação Rio, Riana) e asas móveis (Ultra-Rev Resentação e Revisões de Aeronaves, Ultra-Planna, Riana, Aeropart Ind.

Aeronáutica e Riai Ind. Aeronáutica), bem como para a manutenção e revisão de turbinas de aeronaves esquilo (turbina Arriel 1B), Super Puma (Makila)n e DAUPHIN.

Todavia, por se tratar de Aeroporto de aviação geral, não possui comissárias nem equipamentos de rampa e os serviços de manutenção são atendidos nas oficinas e nos hangares existentes.

### ***Área de Manutenção***

Localizada a 380 m a NE do Terminal de Passageiros contém garagem escritórios, oficinas e depósitos da INFRAERO e da Empresa contratada para manutenção.

### ***Castelo D'água***

Localizado a 90 m a NE do Terminal de Passageiros apresenta área total construída de 10,0m<sup>2</sup>.

### ***Cisterna Semi-Enterrada***

Com capacidade de 600.000 l, ocupa uma área de aproximadamente 400 m<sup>2</sup>. Está localizada a NE do Terminal de Passageiros a uma distância de 70 metros.

### ***Residências de Empregados da INFRAERO***

Ocupam uma área de 5.400,00m<sup>2</sup>, situada a 250 metros do Terminal de Passageiros.

### ***Casa de Forças***

A casa de forças encontra-se a 190 m do Terminal de Passageiros com uma área total construída de 192.0 m<sup>2</sup>.

A antiga casa de forças situa-se a 80 m a NE do Terminal de Passageiros com uma área total construída de 76.0 m<sup>2</sup>, servindo atualmente como almoxarifado.

### ***Estação de Tratamento de Esgoto***

Localizada a 300 m ao Sul do Terminal de Passageiros, ocupa uma área de 200 m<sup>2</sup> e tem capacidade de atender 1200 pessoas/dia sendo o consumo médio 200 l por pessoa.

### ***Energia Elétrica***

A energia elétrica utilizada pelo Aeroporto é fornecida pela concessionária LIGHT - Serviços de Eletricidade S/A com uma tensão de entrada de 13.800V.

A energia entra na KF em alta tensão e sai em alta tensão para um poste localizado no eixo viário. Deste poste a energia é distribuída em alta, para diversos setores do Aeroporto onde se encontram transformadores que rebaixam a tensão para 110/220V. Dentro da KF encontram-se 02 (dois) transformadores de 500 KWA que estão inoperantes e dois grupos geradores de 60 e 30 KWA da INFRAERO.

O gerador da INFRAERO alimenta alternativamente a Administração e o eixo viário.

### ***Vias de Serviço***

O Aeroporto é servido em sua área interna por diversas vias asfaltadas. Do eixo viário principal sai o acesso em asfalto ao Clube de Aeronáutica. Os hangares são servidos por vias asfaltadas. A aérea de manutenção e o parque de apoio de reabastecimento são servidos por estradas de terra.

### ***Áreas Específicas***

Áreas de movimento de aeronaves, áreas administrativas, área comercial, área industrial, área institucional, área de eventos aeronáuticos etc.

### **3. Movimento mensal:**

Pouso e decolagem: 6.396.

Passageiros: 3.582.

### **4. Operacionalidade do Aeroporto:**

Operação: Diurna e noturna para helicóptero.

Somente aeronaves convencionais e turbo-hélice, em face do comprimento da pista. Operação de jatos - CESSNA CITATION, FOX, BUFFALO, BANDEIRANTE, KING-AIR, com limitações de peso.

## **5. Facilidades:**

O aeroporto também apresenta um restaurante popular para 100 pessoas e outro Executivo para atender a cerca de 50 pessoas.

Encontram-se instaladas na área patrimonial do aeroporto a Empresa de Manutenção de Helicópteros, a Empresa de Manutenção de Jatos Executivos, a Prática Escola de Pilotos de Helicópteros. A Ultra-Rev Representações, a Empresa de Aluguel de Helicóptero Táxi Aéreo Curitiba e a Prática Escola de Pilotos de Helicópteros.



