

Sistema de apoio à avaliação de impactos da poluição sonora sobre a saúde pública

A system for evaluating the impact of noise pollution on the population's health

Sistema de apoyo a la evaluación del impacto del ruido sobre la salud pública

Adriano Bressane ¹
Patricia Satie Mochizuki ²
Rosana Maria Caram ³
José Arnaldo Frutuoso Roveda ¹

Resumo

O objetivo do trabalho foi desenvolver um sistema de apoio à avaliação da poluição sonora, aplicado na zona central de Rio Claro, São Paulo, Brasil. Para isso, dados foram obtidos por meio de medições sonoras e entrevistas com a população, gerando como indicadores o nível sonoro equivalente (L_{eq}), o índice de ruído de tráfego (L_{TNI}) e um diagnóstico participativo (D_p), integrados por intermédio de um sistema de inferência fuzzy (SIF). Como resultado, o sistema proposto permitiu classificar os pontos avaliados quanto ao grau de impacto da poluição sonora sobre a saúde da população (I_{PS}) na área de estudo, que pode ser considerado significativo em 31,4% dos pontos e muito significativo em 62,9%. A possibilidade de adequar o SIF de acordo com as condições de estudo viabiliza a sua generalização e, desta forma, apoia a avaliação e respectiva gestão do ruído ambiental em outras regiões.

Lógica Fuzzy; Poluição Sonora; Efeitos do Ruído

¹ Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, Brasil.
² Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil.
³ Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.

Correspondência
A. Bressane
Rua Bento Gonçalves 23,
apto. 2, Sorocaba, SP
18044-250, Brasil.
adrianobressane@gmail.com

Introdução

Estudos sobre os efeitos do ruído o reconheceram como questão de saúde pública e uma das formas de poluição que atinge o maior número de pessoas^{1,2,3,4,5}. Entretanto, considerando a sua natureza física que se propaga sem provocar alterações permanentes, sua avaliação pode ser complexa e subjetiva, sobretudo quanto aos impactos sobre a saúde, que geralmente se manifestam de forma psicossomática e social^{6,7,8,9}.

Logo, integrar uma avaliação quantitativa, por meio de medições em campo, com uma abordagem baseada em entrevistas com a população, pode constituir uma alternativa para avaliação do ruído ambiental e de seus efeitos sobre a saúde^{10,11,12,13}.

As medições constituem uma análise objetiva, capaz de proporcionar indicadores quantitativos sobre a condição sonora^{10,14,15,16}. Por sua vez, as entrevistas possibilitam o diagnóstico participativo baseado na percepção da população exposta ao ruído^{17,18,19,20,21,22}.

Portanto, a avaliação do ruído ambiental torna-se importante para verificar a condição sonora, avaliar sua conformidade em relação aos padrões admissíveis, constatar evidências quanto aos seus impactos sobre a saúde e, desta forma, orientar quanto à necessidade de medidas de controle e prevenção^{12,15,19,20}. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver um sistema de apoio à avaliação dos impactos da poluição sonora (SIPS) sobre a saúde da população, aplicado como estudo de caso no Município de Rio Claro, São Paulo, Brasil.

Materiais e métodos

Para o desenvolvimento do sistema (SIPS) foram considerados como variáveis de entrada o nível sonoro equivalente (L_{eq}), o índice de ruído veicular (L_{TNI}) e o diagnóstico participativo (D_p). Por sua vez, a variável de saída consistiu no índice de impacto da poluição sonora sobre a saúde (I_{PS}).

Para demonstrar o desempenho do sistema proposto, uma aplicação foi realizada usando-se dados coletados em 2007 na zona central de Rio Claro, um município de porte médio com 192 mil habitantes, situado a 173km da capital paulista (Prefeitura de Rio Claro. Síntese da leitura técnica do diagnóstico ambiental de Rio Claro, 2006. <http://www.prefeiturarc.sp.gov.br/siterc2/iss/download.php>, acessado em 16/Jan/2015; Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Perfil municipal. <http://produtos.seade.gov.br/produtos/perfil/perfilMunEstado.php>, acessado

em 16/Jan/2015). Nessa área fica a sede do governo local e, embora exista um número expressivo de residências, é predominantemente ocupada por atividades comerciais, razão pela qual se enquadra como uma área de uso misto.

Desenvolvimento do modelo

Para tratar a imprecisão associada à leitura dos níveis de ruído (L_{eq} e L_{TNI}), assim como a incerteza e a subjetividade inerentes às entrevistas com a população (D_p), foi construído um sistema de inferência *fuzzy* (SIF), com o uso do software MatLab software (MathWorks, Natick, Estados Unidos).

Construído com base na consulta e conhecimento de especialistas, o SIF simula o raciocínio humano para apoiar decisões baseando-se em uma condição avaliada^{23,24}, tal como diagnósticos e monitoramentos na área de saúde^{25,26,27,28,29,30,31}. Para isso, a construção do SIF envolve quatro etapas principais: a “fuzzificação”; a construção da base de regras; a inferência; e a “defuzzificação”³².

A “fuzzificação” correspondeu à modelagem das variáveis de entrada e saída com o uso de conjuntos *fuzzy*, desenvolvida considerando valores de referência na literatura. Nesse sentido, a classificação linguística da variável L_{eq} foi baseada em Guedes et al.³³, bem como no Nível Critério de Avaliação (NCA) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)³⁴ e, por sua vez, em Langdon & Scholes³⁵ para o L_{TNI} .

O NCA na área de estudo corresponde a 60 dB(A)³⁴ e, segundo Guedes et al.³³ os locais podem ser considerados pouco ruidosos quando o L_{eq} é menor ou igual a 65 dB(A), ruidosos entre 65 e 75 dB(A) e muito ruidosos quando ultrapassa 75 dB(A).

Por sua vez, Langdon & Scholes³⁵ definem que o grau de incômodo esperado é baixo para L_{TNI} menor que 65 dB(A), médio de 75 a 65 dB(A), alto entre 90 e 75 dB(A) e muito alto quando superior a 90 dB(A).

Na “fuzzificação” da variável D_p , o percentual de entrevistados que consideram que a poluição sonora tem afetado a sua saúde foi proposto como critério para definir os graus de percepção baixa, média e alta, cuja transição gradual entre classes foi baseada na margem de erro estimada pelo método de Krejcie & Morgan³⁶, descrito adiante. Nesse sentido, para uma margem de erro de $\pm d$, a região de incerteza foi definida em torno do limite (L) no intervalo [L-d, L+d].

Finalmente, a variável de saída foi proposta por meio de classes linguísticas relativas à significância do I_{PS} , sendo as quais, o grau de impacto: insignificante (I); pouco significativo (PS); signifi-

cativo (S); muito significativo (MS); e extremamente significativo (ES).

Na sequência, a construção da base de regras foi desenvolvida por meio da consulta a especialistas, sendo considerada a opinião de um arquiteto urbanista com experiência em estudos de conforto ambiental, um físico e dois engenheiros com experiência em estudos de diagnóstico da poluição sonora. A inferência foi desenvolvida pelo método de Mamdani, que estabelece uma relação *fuzzy* $R(v,u)$ que mapeia o grau de associação entre os parâmetros de entrada (v) e saída (u). No presente trabalho, a inferência ocorreu segundo regras que relacionam os critérios de avaliação (L_{eq} , L_{TNI} e D_p) com antecedentes (A_i) e a significância do impacto como consequentes (C_j), como expresso na equação (1):

$$R(v,u) = \max_{i \in J_{SR}} (\varphi_{R_i}(v,u)) = \max_{i \in J_{SR}} [\varphi_{A_i}(v) \wedge \varphi_{C_j}(u)] \quad (1)$$

Por sua vez, a “defuzzificação” foi realizada pelo método do centroide, que estabelece uma compatibilidade $\varphi_B(u)$ da saída (u) com o conceito modelado pelo conjunto *fuzzy* B , conforme a equação (2):

$$G(B) = \frac{\sum_{j=0}^n u_j \varphi_B(u_j)}{\sum_{j=0}^n \varphi_B(u_j)} \quad (2)$$

Na sequência, os valores “defuzzificados” foram linearmente normalizados para o intervalo [0, 10] com o uso da equação (3):

$$I_{PS} = 10(x - x_{min} / x_{max} - x_{min}) \quad (3)$$

Em que: x , valor gerado na “defuzzificação”; x_{min} , menor valor gerado na “defuzzificação”; x_{max} , maior valor gerado na “defuzzificação”.

Nesse intervalo foi proposta uma escala para classificar a significância do I_{PS} na qual I: [0, 2], PS: [2, 4], S: [4, 6], MS: [6, 8] e ES: [8, 10].

Medições dos níveis sonoros

Os dados relativos às medições sonoras foram coletados no estudo de Mochizuki ⁵, com o uso de um medidor de pressão sonora digital da marca Instrutherm, modelo DEC-470, classe 2 (Instrutherm, São Paulo, Brasil), calibrado e ajustado para operar no circuito de ponderação dB(A), que melhor se ajusta à sensibilidade do ouvido humano.

O perímetro de amostragem foi delimitado pelas ruas 1 e 7 e avenidas 9 e 10, totalizando 54 quarteirões, no quais os pontos de medição foram situados nos cruzamentos entre ruas e avenidas, distribuídos regularmente em uma malha composta por 35 pontos (Figura 1).

Considerando os períodos críticos observados em outros estudos ³⁷, pré-testes foram rea-

lizados às quintas e sábados das 08 às 09h, 11 às 12h, 12 às 13h, 14:30 às 15:30h (apenas no sábado), 17 às 18h e das 18 às 19h. Com base nesse procedimento, o período selecionado foi entre às 12 e 13h do sábado, visando à avaliação na situação mais crítica observada nos pré-testes.

Foram evitadas medições sob a influência de fontes atípicas, isto é, de eventos ruidosos que não são característicos do local, tais como obras civis que são temporárias ou eventuais, além de fenômenos da natureza, como trovões e chuva forte. Na ausência dessas fontes, as medições foram realizadas em pontos afastados cerca de 1,2m do piso e no mínimo 2m de superfícies refletoras, mediante trinta leituras do nível de pressão sonora em intervalos de dez segundos em cada um dos pontos, sempre prevenindo o efeito de ventos sobre o microfone com o uso de protetor.

Esse procedimento foi realizado duas vezes não consecutivas em cada ponto de amostragem para atenuar atipicidades. Com base nessas medições, os indicadores avaliados foram o $L_{eq}(A)$ e o $L_{TNI}(A)$, dados pelas equações (4) e (5), respectivamente ^{35,38,39}:

$$L_{eq}(A) = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i 10^{0,1L_i} \right) \quad (4)$$

Em que: $L_{eq}(A)$, nível sonoro com energia equivalente à do período avaliado; f_i , frequência de leituras com intensidade L_i ; L_i , nível sonoro instantâneo, lido a cada intervalo de tempo, adotado como 10 segundos.

$$L_{TNI}(A) = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30 \quad (5)$$

Em que: $L_{TNI}(A)$, nível avaliado pelo índice de ruído veicular (*traffic noise index*); L_{10} , nível sonoro superado em 10% do tempo avaliado; L_{90} , nível sonoro superado em 90% do tempo avaliado.

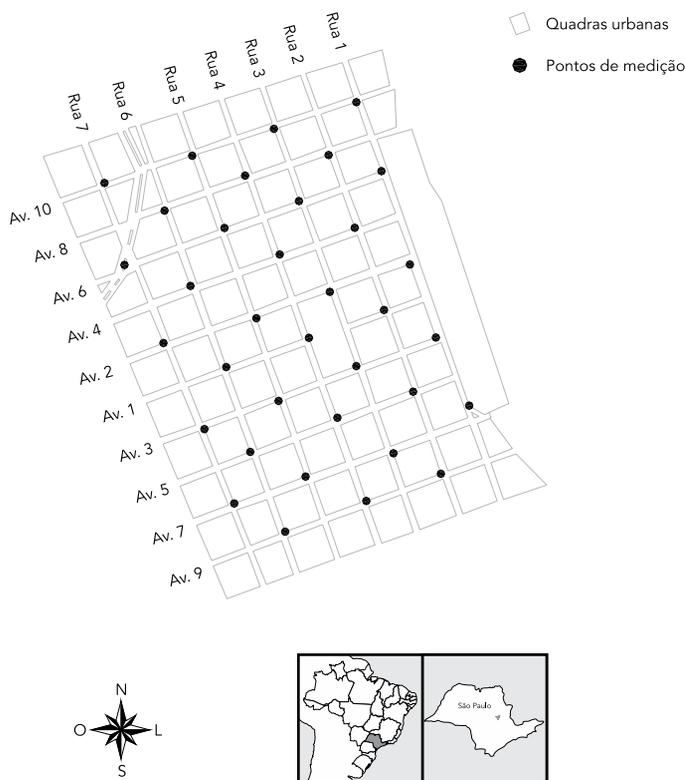
Os resultados desses índices foram analisados e interpretados conforme a norma NBR 10.151 de 2000, destinada à avaliação do ruído em áreas habitadas visando ao conforto da comunidade ³⁴, assim como considerando parâmetros da literatura aplicada.

Diagnóstico participativo dos impactos sobre a saúde

Para a variável D_p foram considerados os dados coletados nos estudos de Bressane et al. ⁷, por meio de entrevistas com pessoas residentes na zonal central de Rio Claro, com o uso de formulários pré-elaborados, compostos de perguntas com respostas de múltipla escolha. No referido estudo ⁷, a amostragem necessária para uma margem de erro $\pm 0,05$ foi calculada pelo método estatístico

Figura 1

Localização da área de estudo e distribuição dos pontos de medição dos níveis sonoros. Rio Claro, São Paulo, Brasil, 2007.



Fonte: Modificado de Mochizuki 5.

apresentado por Krejcie & Morgan ³⁶, dado pela equação (6):

$$s = X^2 NP(1-P) / (d^2(N-1) + X^2 P(1-P)) \quad (6)$$

Em que: s , tamanho da amostra; X^2 , valor tabelado do qui-quadrado para 1 grau de liberdade, assumindo como 3,841; N , tamanho da população estudada; P , proporção da população (igual a 0,50 para maior variância); d , margem de erro tolerada.

Entretanto, como a área na qual foram realizadas as entrevistas é superior àquela em que as medições sonoras foram desenvolvidas, para a finalidade do presente estudo apenas uma proporção de amostras na área comum a ambas as análises (entrevistas e medições sonoras) foi considerada, totalizando 109 entrevistados. Considerando uma população estimada na área de aproximadamente 1.800 residentes, constata-se uma margem de erro de $\pm 0,09$.

Para alcançar o número de entrevistados, a amostragem foi realizada de forma que moradores de uma a cada cinco residências fossem abordados em um dos lados da via (rua/avenida), nas quadras definidas por sorteio. Na ausência de atendentes, casas adjacentes foram selecionadas e, quando necessário, o procedimento foi repetido no lado oposto da via.

O formulário foi composto de duas questões em relação ao perfil do participante (idade e sexo) e uma questão composta por cinco itens para análise da percepção dos entrevistados. “Considera que a poluição sonora tem prejudicado sua: (1) noite de sono ou períodos de descanso; (2) disposição ou desempenho físico; (3) condição ou bem-estar emocional; (4) concentração ou desempenho mental; e (5) audição ou comunicação?”.

Resultados

Como resultado da consulta aos especialistas foi composta uma base com 36 regras conforme apresentado na Tabela 1.

Por sua vez, o sistema de apoio à avaliação dos impactos da poluição sonora sobre a saúde resultou na arquitetura apresentada na Figura 2.

Nota-se que a modelagem das variáveis por meio de conjuntos *fuzzy* buscou uma transição gradual entre estados ou condições sonoras. Como exemplo, na variável $L_{eq}(A)$ o NCA (60 dB) foi definido como limite do intervalo em que há plena pertinência no estado pouco ruidoso. A partir desse valor o nível sonoro começa a ter pertinência no estado ruidoso, definido em torno de 70 dB no intervalo]60-80 dB]. Na sequência, o estado muito ruidoso, que passa a ser pertinente após o máximo da classe anterior (70 dB), torna-se certo para níveis sonoros com 80 dB ou superiores. Dessa forma, a pertinência de pontos amostrais em mais de uma classe é consequência da transição gradual, que é avaliada no processo de inferência *fuzzy*.

Por sua vez, o resultado das entrevistas com a população residente na área de estudo está apresentado na Tabela 2, na qual pode ser observada a proporção das respostas dadas a cada um dos cinco itens avaliados, por meio da qual constatou-se que, em média, 66,4% dos entrevistados consideraram que a poluição sonora tem provocado algum impacto sobre a sua saúde.

As medições do nível sonoro nos 35 pontos de amostragem totalizaram 5 horas e 50 minutos de avaliação do ruído ambiental. O valor e a distribuição espacial do L_{eq} , L_{TN} , bem como o resultado da análise integrada destes com o D_p por meio do SIF podem ser observados na Figura 3, que apresenta o mapa de impacto da poluição sonora sobre a saúde na área de estudo.

Discussão

Com base no resultado do L_{eq} constatou-se que em todos os pontos avaliados o limite de 60 dB(A), estabelecido pela legislação vigente para zonas de uso misto com vocação comercial e administrativa, foi ultrapassado. Contudo, a resposta da comunidade pode variar em função do valor excedido.

Gerges ⁴⁰ aponta que limites superados em cerca de 10 dB(A) comumente provocam queixas da população, e acima de 15 dB(A) podem causar respostas mais enérgicas, como ações comunitárias. Na área avaliada verificou-se que em 52,8% dos pontos o nível sonoro foi excedido de 5 a 10 dB(A) e em 36,1% entre 10 e 15 dB(A).

Tabela 1

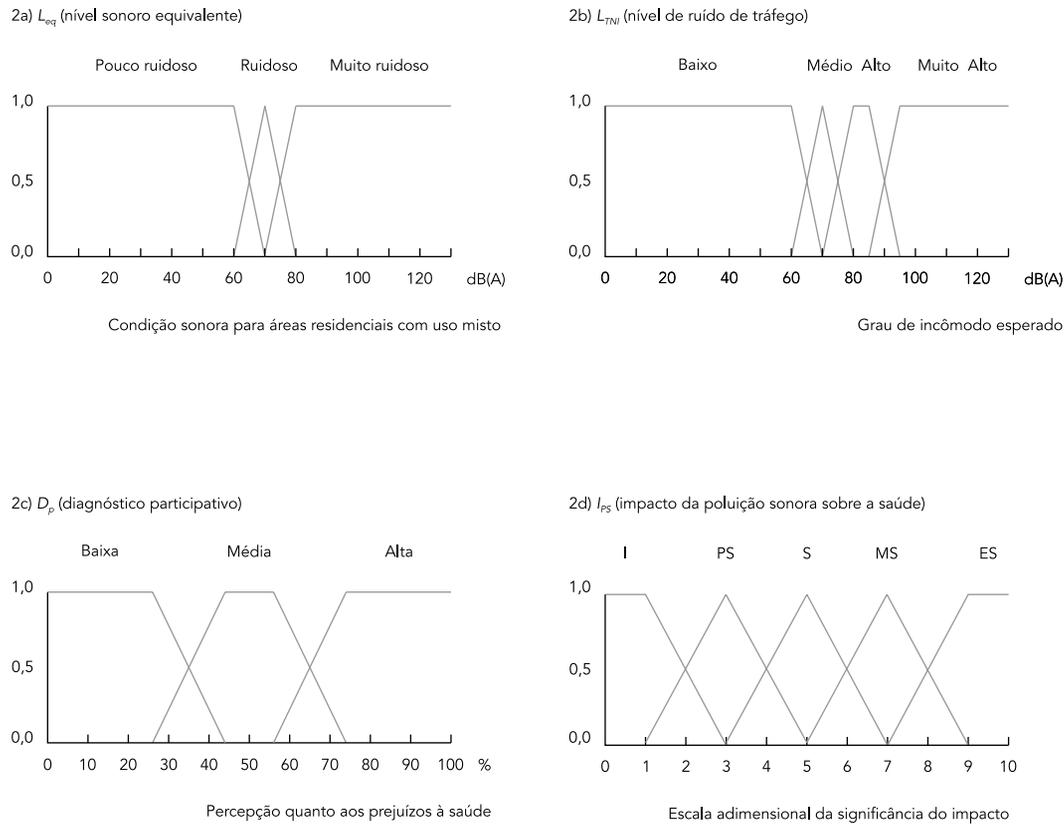
Composição da base de regras no sistema de inferência *fuzzy* (SIF).

Variáveis de entrada		Variável de saída		
$L_{eq}(A)$	$L_{TN}(A)$	D_p	I_{PS}	
Pouco ruidoso	Incômodo baixo	Percepção baixa	Insignificante (I)	
		Percepção média	Pouco significativa (PS)	
		Percepção alta	Pouco significativa (PS)	
		Incômodo médio	Percepção baixa	Pouco significativa (PS)
			Percepção média	Pouco significativa (PS)
			Percepção alta	Significativa (S)
	Incômodo alto	Percepção baixa	Pouco significativa (PS)	
		Percepção média	Significativa (S)	
		Percepção alta	Significativa (S)	
		Incômodo muito alto	Percepção baixa	Significativa (S)
			Percepção média	Significativa (S)
			Percepção alta	Muito significativa (MS)
Ruidoso	Incômodo baixo	Percepção baixa	Pouco significativa (PS)	
		Percepção média	Pouco significativa (PS)	
		Percepção alta	Significativa (S)	
		Incômodo médio	Percepção baixa	Pouco significativa (PS)
			Percepção média	Significativa (S)
			Percepção alta	Significativa (S)
	Incômodo alto	Percepção baixa	Significativa (S)	
		Percepção média	Significativa (S)	
		Percepção alta	Muito significativa (MS)	
		Incômodo muito alto	Percepção baixa	Significativa (S)
			Percepção média	Muito significativa (MS)
			Percepção alta	Muito significativa (MS)
Muito ruidoso	Incômodo baixo	Percepção baixa	Pouco significativa (PS)	
		Percepção média	Significativa (S)	
		Percepção alta	Significativa (S)	
		Incômodo médio	Percepção baixa	Significativa (S)
			Percepção média	Significativa (S)
			Percepção alta	Muito significativa (MS)
	Incômodo alto	Percepção baixa	Significativa (S)	
		Percepção média	Muito significativa (MS)	
		Percepção alta	Muito significativa (MS)	
		Incômodo muito alto	Percepção baixa	Muito significativa (MS)
			Percepção média	Muito significativa (MS)
			Percepção alta	Extremamente significativa (ES)

Considerando-se o $L_{eq}(A)$, constata-se que 21 pontos (60%) apresentam nível sonoro no intervalo [60-70 dB], que define pertinência parcial no estado pouco ruidoso, embora esta seja inferior em relação à pertinência no estado ruidoso a partir de 65 dB, o que ocorre com 18 entre os pontos neste intervalo. No intervalo [70-80 dB], os 14 pontos restantes (40%) também apresentam pertinência parcial no estado ruidoso, mas

Figura 2

Modelagem dos dados de entrada: nível sonoro equivalente (L_{eq}), índice de ruído de tráfego (L_{TNI}) e diagnóstico participativo (D_p) e; saída: impacto da poluição sonora sobre a saúde (I_{ps}), por meio de conjuntos fuzzy.



ES: extremamente significativo; I: insignificante; MS: muito significativo; PS: pouco significativo; S: significativo.

Tabela 2

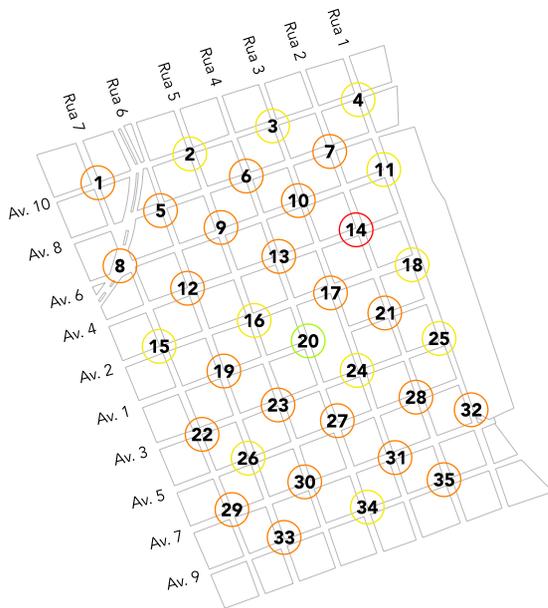
Distribuição das respostas ao diagnóstico participativo em relação aos impactos da poluição sonora sobre a saúde da população. Rio Claro, São Paulo, Brasil, 2007.

Considera que a poluição sonora tem prejudicado sua	Sim		Não		NS/NR	
	n	% ($\pm d$)	n	% ($\pm d$)	n	% ($\pm d$)
(1) Noite de sono ou períodos de descanso	77	70,6	30	27,5	2	1,9
(2) Disposição ou desempenho físico	43	39,4	57	52,3	9	8,3
(3) Condição ou bem-estar emocional	80	73,4	26	23,8	3	2,8
(4) Concentração ou desempenho mental	78	71,5	27	24,8	4	3,7
(5) Audição ou comunicação	84	77,0	23	21,1	2	1,9
Percepção média dos impactos sobre a saúde	-	66,4	-	29,9	-	3,7

NS/NR: não sabe/não respondeu.

Figura 3

Distribuição dos níveis sonoros equivalentes (L_{eq}), índice de ruído de tráfego (L_{TNI}) e mapeamento do impacto da poluição sonora sobre a saúde (I_{PS}). Rio Claro, São Paulo, Brasil, 2007.



- Insignificante
- Pouco significativo
- Significativo
- Muito significativo
- Extremamente significativo

	L_{eq}	L_{TNI}	D_p	I_{PS}		L_{eq}	L_{TNI}	D_p	I_{PS}
1	69,8	80,0	66,4	6,4:MS	19	68,3	81,8	66,4	6,4:MS
2	66,5	75,4	66,4	5,3:S	20	65,5	65,6	66,4	3,8:PS
3	67,7	77,3	66,4	5,7:S	21	72,7	89,6	66,4	6,9:MS
4	69,6	69,8	66,4	4,8:S	22	66,7	82,3	66,4	6,4:MS
5	73,4	89,9	66,4	7,1:MS	23	70,7	78,0	66,4	6,4:MS
6	74,1	90,5	66,4	7,2:MS	24	68,9	73,9	66,4	5,7:S
7	74,2	78,1	66,4	6,4:MS	25	70,1	67,7	66,4	4,3:S
8	69,8	75,9	66,4	6,3:MS	26	67,2	76,9	66,4	5,5:S
9	70,6	83,2	66,4	6,4:MS	27	67,8	80,6	66,4	6,4:MS
10	73,2	86,4	66,4	6,7:MS	28	72,1	88,1	66,4	6,8:MS
11	69,4	67,4	66,4	4,2:S	29	69,9	100,2	66,4	7,5:MS
12	69,9	81,9	66,4	6,4:MS	30	68,6	100,6	66,4	7,0:MS
13	69,0	84,3	66,4	6,4:MS	31	70,5	79,3	66,4	6,4:MS
14	77,2	100,4	66,4	8,7:ES	32	73,2	75,8	66,4	6,4:MS
15	63,5	74,3	66,4	4,9:S	33	66,8	97,7	66,4	6,6:MS
16	67,8	74,1	66,4	5,4:S	34	62,9	88,0	66,4	5,9:S
17	71,8	74,7	66,4	6,2:MS	35	62,6	96,8	66,4	6,4:MS
18	71,1	66,3	66,4	4,4:S					

ES: extremamente significativo; I: insignificante; MS: muito significativo; PS: pouco significativo; S: significativo.

entre estes, um tem pertinência maior no estado muito ruidoso.

Embora o L_{eq} corresponda ao parâmetro normativo aplicável à avaliação do ruído visando ao conforto da comunidade ³⁵, em zonas com um nível médio mais baixo o incômodo pode ser ainda maior em função das amplitudes de variação sonora, que ocorre quando a diferença entre L_{10} e L_{90} , níveis superados em 10 e 90% do período avaliado, respectivamente, é mais significativa ⁴¹. Entre as principais causas dessa variação está o ruído do tráfego veicular automotor, que foi avaliado segundo L_{TNI} .

Pelo resultado da análise do L_{TNI} , verifica-se que 7 (20%) dos pontos avaliados são totalmente pertinentes à condição de alto grau de incômodo, e outros 5 (14%) ao incômodo muito alto, sendo os demais com níveis sonoros em intervalos que defi-

nem regiões de transição. Nesse sentido, registram maior pertinência na condição de médio grau de incômodo 10 pontos (29%), alto grau de incômodo 12 pontos (34%) e muito alto grau de incômodo 1 ponto (3%).

Portanto, constata-se grande proporção de pontos com pertinência em condições de incômodo alto (54%) ou muito alto (17%), sendo verificados L_{TNI} superiores a 100 dB(A) em três cruzamentos (avenida 4 x rua 2, avenida 7 x rua 5 e avenida 7 x rua 7). Por sua vez, os pontos com os menores graus de incômodo estão localizados principalmente ao longo da avenida 2 e da rua 1. Nota-se que em certos cruzamentos avaliados como pouco ou medianamente ruidosos o grau de incômodo esperado foi avaliado como alto, ou até mesmo muito alto, pois nestes casos a grande variação dos níveis sonoros e a ocorrência de picos instantâneos

os muito elevados se tornaram os fatores de maior impacto sobre a população.

Durante as medições observou-se que a concentração de estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços implica a circulação intensa de pessoas, tornando o tráfego veicular a principal fonte de ruído na área de estudo.

Como resultado das entrevistas, quando perguntados sobre a influência da poluição sonora sobre o sono e períodos de descanso, 70,6% das pessoas declararam que se sentem prejudicadas. A condição sonora ambiente é um dos mais importantes sincronizadores do sono, que pode torná-lo superficial ou mesmo interrompido, causando a perda de estágios restauradores, com prejuízos psicológicos, intelectuais, no humor e criatividade^{42,43,44,45}.

Embora em menor proporção, 39,4% acusaram efeitos sobre a sua disposição ou desempenho físico. A poluição sonora pode modificar movimentos rítmicos relacionados à respiração, aceleração cardíaca, fluxo e viscosidade do sangue, causando hipertensão e má oxigenação das células^{3,46,47,48}.

Com relação ao bem-estar emocional, 73,4% dos entrevistados indicaram o ruído excessivo como fator de estresse. Nesse sentido, estudos apontam que níveis sonoros excessivos podem induzir instabilidade emocional, propensão à hostilidade, intolerância e agressividade^{3,49,50,51,52}.

Os efeitos da poluição sonora sobre a concentração ou desempenho mental foram percebidos por 71,5% dos entrevistados. Pesquisas têm demonstrado que o excesso de ruído ambiental altera a condutividade elétrica no cérebro, levando o indivíduo mais rapidamente à fadiga física e intelectual, que diminui a atividade motora, a

capacidade de concentração e performance na realização de tarefas^{53,54,55,56}.

Os prejuízos sobre a audição e comunicação foram os mais percebidos, declarados por 77% dos entrevistados. O ruído ambiente pode prejudicar a comunicação, aumentando a probabilidade de erros e acidentes^{57,58}. Em níveis superiores pode causar estresse auditivo, a mudança temporária ou mesmo perda permanente de limiar auditivo^{59,60,61}.

De acordo com a análise integrada por meio do SIPS, constatou-se que o impacto da poluição sonora sobre a saúde da população exposta pode ser considerado pouco significativo em um único ponto (rua 4 x avenida 1), significativo em 11 pontos (31,4%), muito significativo em 22 (62,9%) e extremamente significativo em 1 ponto, situado na avenida 4 e rua 2.

Assim, o sistema de apoio de avaliação (SIPS), por meio de um processo de inferência *fuzzy*, permitiu classificar os pontos avaliados quanto ao grau de significância do impacto e, desta forma, priorizar locais que exigem maior urgência na identificação das fontes de ruído e respectiva implementação de ações de controle.

A possibilidade de adequar os conjuntos *fuzzy* de acordo com as condições locais, tal como o NCA segundo o uso e ocupação do solo, bem como considerando a margem de erro no D_p , viabiliza a sua generalização para avaliar outras regiões.

Pelo exposto, acreditamos que os resultados alcançados com o SISP permitem considerá-lo uma ferramenta adequada à avaliação e respectiva gestão do ruído ambiental no meio urbano, visando a prevenir e controlar os impactos da poluição sonora sobre a saúde da população.

Colaboradores

A. Bressane participou da coleta, tratamento e análise dos dados de entrevistas com a população, redação, revisão e aprovação da versão final e responsabilidade pelo artigo aceito para publicação. P. S. Mochizuki colaborou na coleta, tratamento e análise dos dados de levantamento acústico, redação, revisão e aprovação da versão final e responsabilidade pelo artigo aceito para publicação. R. M. Caram contribuiu na concepção do

projeto para coleta, análise e interpretação de dados, revisão crítica do manuscrito, aprovação da versão final e responsabilidade pelo artigo aceito para publicação. J. A. F. Roveda colaborou na concepção da construção do modelo de inferência *fuzzy* para avaliação integrada; revisão crítica do manuscrito; aprovação da versão final e responsabilidade pelo artigo aceito para publicação.

Referências

- Portela BS, Queiroga MR, Constantini A, Zannin PHT. Annoyance evaluation and the effect of noise on the health of bus drivers. *Noise Health* 2013; 15:301-6.
- Firdaus G, Ahmad A. Noise pollution and human health: a case study of municipal corporation of Delhi. *Indoor Built Environ* 2010; 19:648-56.
- Niemann H, Bonnefoy X, Braubach M, Hecht K, Maschke C, Rodrigues C, et al. Noise-induced annoyance and morbidity results from the pan-European LARES study. *Noise Health* 2006; 8:63-79.
- Berglund B, Lindvall T, Schwela DH. Guidelines for community noise. <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html> (acessado em 16/Jan/2015).
- Mochizuki PS. Zoneamento acústico urbano e mapeamento de níveis sonoros na zona central de Rio Claro (SP): diretrizes para o gerenciamento do ruído integrado ao planejamento ambiental urbano [Monografia de Graduação]. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista; 2007.
- Gerges SNY. Noise in large cities in Brazil. *J Acoust Soc Am* 2004; 115:2592.
- Bressane A, Mochizuki PS, Salvador NNB, Caram RM. Diagnóstico qualitativo do ruído ambiental em cidades médias. Parte 3: análise comparativa da percepção aos impactos da poluição sonora no centro de Rio Claro (SP). In: Anais do VI Congresso de Meio Ambiente da AUGM. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos; 2009. p. 1-15.
- Belojević G, Jakovljević B, Aleksić O. Subjective reactions for traffic noise with regard to some personality traits. *Environ Int* 1997; 23:221-6.
- Aparicio-Ramón DV, Suárez-Varela MMM, Garcia GA, González AL, Ruano L, Sánchez AM, et al. Subjective annoyance caused by environmental noise. *J Environ Pathol Toxicol Oncol* 1993; 12:237-43.
- Zannin PHT, Engel MS, Fiedler PEK, Bunn F. Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: a case study at a university campus in Brazil. *Cities* 2013; 31:317-27.
- Lacerda ABM, Magni C, Morata TC, Marques JM, Zanin PHT, Calizto A. Ambiente urbano e percepção da poluição sonora. *Ambiente & Sociedade* 2005; 8:85-98.
- Zannin PHT, Calixto A, Diniz FB, Ferreira JA. A survey of urban noise annoyance in a large Brazilian city: the importance of a subjective analysis in conjunction with an objective analysis. *Environ Impact Assess Rev* 2003; 23:245-55.
- Zannin PHT, Szeremetta B. Avaliação da poluição sonora no parque Jardim Botânico de Curitiba, Paraná, Brasil. *Cad Saúde Pública* 2003; 19:683-6.
- Fiedler PEK, Zannin PHT. Evaluation of noise pollution in urban traffic hubs: noise maps and measurements. *Environ Impact Assess Rev* 2015; 51:1-9.
- Casas WP, Cordeiro EP, Mello TC, Zannin PHT. Noise mapping as a tool for controlling industrial noise pollution. *J Sci Ind Res (India)* 2014; 73:262-6.
- Zannin PHT, Gama VL, Cunha ML, Damiani EF, Benetti M, Bianchi H, et al. Noise mapping of an educational environment. *Can Acoust* 2013; 40:27-35.
- Saboya RT. Fundamentos conceituais para uma teoria do planejamento urbano baseada em decisões. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana* 2013; 5:81-95.
- Goldstein RA, Barcellos C, Magalhães MAFM, Gracie R, Viacava F. A experiência de mapeamento participativo para a construção de uma alternativa cartográfica para a ESE Ciênc Saúde Coletiva 2013; 18:45-56.
- Argento RG, Barcellos C. Geoprocessamento e participação social: ferramentas para vigilância ambiental em saúde. In: Miranda AC, Barcellos C, Moreira JC, Monken M, organizadores. Território, ambiente e saúde. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz; 2008. p. 205-15.
- Becker D, Edmundo K, Nunes NR, Bonatto D, Souza R. Empowerment e avaliação participativa em um programa de desenvolvimento local e promoção da saúde. *Ciênc Saúde Coletiva* 2004; 9:655-67.
- Rifkin SB. A framework linking community empowerment and health equity: it is a matter of CHOICE. *J Health Popul Nutr* 2003; 21:168-80.
- Zancan L, Bodstein R, Marcondes WB. Promoção da saúde como caminho para o desenvolvimento local: a experiência em Manginhos-RJ. Rio de Janeiro: ABRASCO; 2002.
- Janssen JAEB, Krol MS, Schielen RMJ, Hoekstra AY, Kok JL. Assessment of uncertainties in expert knowledge, illustrated in fuzzy rule-based models. *Ecol Modell* 2010; 221:1245-51.
- Zadeh L. Is there a need for fuzzy logic? *Inf Sci (Ny)* 2008; 178:2751-79.
- Sánchez-Lezama AP, Cavazos-Arroyo J, Albavera-Hernández C. Applying the Fuzzy Delphi Method for determining socio-ecological factors that influence adherence to mammography screening in rural areas of Mexico. *Cad Saúde Pública* 2014; 30:245-58.
- Ruggeri BFE, Voci SM, Borges CA, Slater B. Assessment of the usability of a nutritional epidemiology computerized system. *Rev Bras Epidemiol* 2013; 16:966-75.
- Canavese D, Ortega NRS, Giatti LL. Ecosystem approach and the Fuzzy logic: a dialectical proposal for information on environmental health. *Eng Sanit Ambient* 2012; 17:363-8.
- Copetti A, Leite JCB, Loques O. Um mecanismo de decisão para inferência de contexto em ambientes pervasivos de tratamento de saúde. *Sba Controle & Automação* 2011; 22:363-78.
- Drumond EF, Machado CJ, França E. Óbitos neonatais precoces: análise de causas múltiplas de morte pelo método *Grade of Membership*. *Cad Saúde Pública* 2007; 23:157-66.
- Reis MAM, Ortega NRS, Silveira PSP. Fuzzy expert system in the prediction of neonatal resuscitation. *Braz J Med Biol Res* 2004; 37:755-64.
- Nascimento LFC, Ortega NRS. Fuzzy linguistic model for evaluating the risk of neonatal death. *Rev Saúde Pública* 2002; 36:686-92.
- Pedrycz W, Gomide F. Fuzzy systems engineering: toward human-centric computing. New York: Wiley/IEEE Press; 2007.

33. Guedes M, Valadas B, Coelho JLB. Exposição ao ruído da população em Portugal. Amadora: Instituto do Ambiente; 1997.
34. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma Técnica NBR 10.151. Avaliação do ruído em áreas habitadas visando ao conforto da comunidade: procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas; 2000.
35. Langdon FJ, Scholes WE. The traffic noise index: a method of controlling noise nuisance. *Architects Journal* 1968; 147:38-57.
36. Krejcie RV, Morgan DW. Determining sample size for research activities. *Educ Psychol Meas* 1970; 30:607-10.
37. Nagem MP. Mapeamento e análise do ruído ambiental: diretrizes e metodologia [Dissertação de Mestrado]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 2004.
38. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Norma Técnica L11.032. Determinação do nível de ruído em ambientes internos e externos de áreas habitadas: método de ensaio. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; 1992.
39. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Norma Técnica L11.033. Processo prático para calcular o nível de ruído equivalente contínuo: procedimento. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; 1992.
40. Gerges SNY. Ruído: fundamentos e controle. 2ª Ed. Florianópolis: NR Editora; 2000.
41. Alvares PAS, Pimentel-Souza F. A poluição sonora em Belo Horizonte. *Revista Acústica e Vibrações* 1992; 10:23-42.
42. Kawada T, Shimizu T, Kuratomi Y, Suto S, Kanai T, Nishime A, et al. Monitoring of the sleep patterns of shift workers in the automotive industry. *Work* 2011; 38:163-9.
43. Cappuccio FP, D'Elia L, Strazzullo P, Miller MA. Sleep duration and all-cause mortality: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Sleep* 2010; 33:585-92.
44. Miedema HM, Vos H. Associations between self-reported sleep disturbance and environmental noise based on reanalyses of pooled data from 24 studies. *Behav Sleep Med* 2007; 5:1-20.
45. Jakovljević B, Belojević G, Paunović K, Stojanov V. Road traffic noise and sleep disturbances in an urban population: cross-sectional study. *Croat Med J* 2006; 47:125-33.
46. Penney PJ, Earl CE. Occupational noise and effects on blood pressure: exploring the relationship of hypertension and noise exposure in workers. *AAOHN J* 2004; 52:476-80.
47. Babisch W, Ising H, Gallacher JEJ. Health status as a potential effect modifier of the relation between noise annoyance and incidence of ischaemic heart disease. *Occup Environ Med* 2003; 60:739-45.
48. Babisch W. Traffic noise and cardiovascular risk. *Noise Health* 2008; 10:27-33.
49. Schmidt FP, Basner M, Kröger G, Weck S, Schnorbus B, Muttray A, et al. Effect of nighttime aircraft noise exposure on endothelial function and stress hormone release in healthy adults. *Eur Heart J* 2013; 34:3508-14.
50. Franssen EA, Wiechen CM, Nagelkerke NJ, Lebet E. Aircraft noise around a large international airport and its impact on general health and medication use. *Occup Environ Med* 2004; 61:405-13.
51. Maschke C. Stress hormone changes in persons exposed to simulated night noise. *Noise Health* 2003; 5:35-45.
52. Lercher P, Hörtnagl J, Kofler WW. Work noise annoyance and blood pressure: combined effects with stressful working conditions. *Int Arch Occup Environ Health* 1993; 65:23-8.
53. Folscher LL, Goldstein LN, Wells M, Rees D. Emergency department noise: mental activation or mental stress? *Emerg Med J* 2014; 32:468-73.
54. Banbury SP, Berry DC. Office noise and employee concentration: identifying causes of disruption and potential improvements. *Ergonomics* 2005; 48:25-37.
55. Hygge S, Evans GW, Bullinger M. A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in school children. *Psychol Sci* 2002; 13:469-74.
56. Evans GW, Johnson D. Stress and open office noise. *J Appl Psychol* 2000; 85:779-83.
57. Girard SA, Leroux T, Courteau M, Picard M, Turcotte F, Richer O. Occupational noise exposure and noise-induced hearing loss are associated with work-related injuries leading to admission to hospital. *Inj Prev* 2015; 21:e88-92.
58. Anjelo KLH, Queiroz DS, Zannin PHT. Noise in leisure activities. *Occup Med Health Aff* 2014; 2:181.
59. Basner M, Babisch W, Davis A, Brink M, Clark C, Janssen S, et al. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet* 2014; 383:1325-32.
60. Henderson D, Bielefeld EC, Harris KC, Hu BH. The role of oxidative stress in noise-induced hearing loss. *Ear Hear* 2006; 27:1-19.
61. Morata TC, Fernandes M. Estudo dos efeitos auditivos e extra-auditivos da exposição ocupacional a ruído e vibração. *Rev Bras Otorrinolaringol* 2002; 68:705-13.

Abstract

The aim of this study was to develop a support system for the evaluation of noise pollution, applied to the central urban area of Rio Claro, São Paulo State, Brazil. Data were obtained from noise measurements and interviews with the population, generating the following indicators: equivalent sound level (L_{eq}), traffic noise index (L_{TNI}), and a participatory diagnosis (D_p), integrated through a fuzzy inference system (FIS). The proposed system allowed classifying the measurement points according to the degree of impact of noise pollution on the population's health (I_{ps}) in the study area. Impact was considered significant in 31.4% of the measurement points and very significant in 62.9%. The FIS can be adjusted to local conditions, allowing generalization and thus also supporting noise pollution evaluation and respective environmental noise management in other geographic areas.

Fuzzy Logic; Sound Contamination; Noise Effects

Resumen

El objetivo del trabajo fue desarrollar un sistema de apoyo a la evaluación de la contaminación acústica, aplicado en la zona central de Río Claro, São Paulo, Brasil. Con este fin, se obtuvieron datos mediante mediciones sonoras y entrevistas a la población, generando como indicadores el nivel sonoro equivalente (L_{eq}), el índice de ruido de tráfico (L_{TNI}) y un diagnóstico participativo (D_p), integrados a través de un sistema de inferencia fuzzy (SIF). Como resultado, el sistema propuesto permitió clasificar los puntos evaluados, en cuanto al grado de impacto de la contaminación sonora sobre la salud de la población (I_{ps}) en el área de estudio, que puede ser considerado significativo en un 31,4% de los puntos y muy significativo en un 62,9%. La posibilidad de adecuar el SIF, de acuerdo a las condiciones de estudio, viabiliza su generalización y, de esta forma, puede apoyar la evaluación y consiguiente gestión del ruido ambiental en otras regiones.

Lógica Difusa; Contaminación Sonora; Efectos del Ruido

Recebido em 12/Fev/2015

Versão final rerepresentada em 12/Ago/2015

Aprovado em 27/Ago/2015