

RUÍDO DE TRÁFEGO RODOVIÁRIO: RELAÇÃO ENTRE O L_{Aeq} , PARÂMETROS ESTATÍSTICOS (L_{10} , L_{50} e L_{90}), L_{den} e L_{night} . SUA IMPORTÂNCIA NA AVALIAÇÃO DA INCOMODIDADE

C. Raimundo^a, V. Raposo^b, P. Valentim^c

^a Rua de Pedrouços, nº 70, 1º, Lisboa, Portugal, catarinaraimundo@hotmail.pt

^b Lisboa, Portugal, vascoraposo@mail.telepac.pt

^c Assimétrico, Lda., Alameda Salgueiro Maia, Lote 4, 1ª sala 7, 2660-329 Santo António dos Cavaleiros, assimetrico@mail.telepac.pt

RESUMO: Com o presente estudo pretendeu-se caracterizar o tráfego rodoviário junto de um eixo principal da cidade de Lisboa, a partir da determinação e análise dos parâmetros acústicos L_{Aeq} e L_n (L_{10} , L_{50} e L_{90}). Para tal, foram utilizados valores obtidos em medições realizadas em vários períodos do dia e noite, e valores estimados, através do método simplificado do *Guide du Bruit* e do índice TNI (*Traffic Noise Index*).

Os valores obtidos foram ainda comparados com os indicadores de ruído dia-entardecer-noite e noite, respectivamente L_{den} e L_{night} , de acordo com a Directiva 2002/49/CE, relativa à Avaliação e Gestão do Ruído Ambiente e com os critérios de exposição máxima, definidos pela legislação portuguesa em vigor (Decreto-Lei nº 292/2000, de 14 de Novembro).

As características próprias do ruído, nomeadamente a distribuição da sua energia no espectro de frequências e as variações temporais respectivas, constituem um factor importante na avaliação da incomodidade, que não deve ser avaliada apenas com base no nível sonoro contínuo equivalente, mas também considerando informação de parâmetros estatísticos, cuja introdução enriquece a análise do problema.

ABSTRACT: The intent of this study is to characterize the road traffic near a main axe of the city of Lisbon, starting from the determination and analysis of the acoustic parameters L_{Aeq} and L_n (L_{10} , L_{50} and L_{90}). For this purpose, values obtained with noise level measurements performed in various periods of the day and night and values estimated with the simplified method of *Guide du Bruit* and the TNI index (*Traffic Noise Index*) were used.

The values obtained were also compared with the noise indicators day-evening-night and night, respectively, L_{den} and L_{night} , in agreement with Directive 2002/49/CE, relative to the Evaluation and Management of Environmental Noise and with the criteria of maximum exposure, set forth in the Portuguese environmental noise legislation.

The characteristics of noise, namely the distribution of its energy along the frequency spectrum and the corresponding temporary variations, constitute an important factor in the evaluation of annoyance, which should not be seen only on a basis of the equivalent continuous sound level (L_{Aeq}), but also considering statistical parameters, enriching, thus, the analyses of the problem.

1. INTRODUÇÃO

A poluição sonora constitui, hoje em dia, um dos principais factores da degradação da qualidade de vida em zonas urbanas, sendo o ruído de tráfego, de entre as diversas fontes de ruído existentes, uma das principais causas do elevado nível de ruído naquelas zonas.

No que se refere ao ruído de tráfego rodoviário, os factores que mais contribuem para a sua produção são o motor dos veículos, a interacção pneu/estrada, a velocidade e o tipo de veículo (ligeiro ou pesado). Note-se, contudo, que as características da via (traçado, inclinação, estado de conservação do pavimento, etc.) constituem também factores importantes, contribuindo para o aumento ou diminuição dos níveis de ruído.

Para velocidades sensivelmente abaixo dos 60 km/h o ruído rodoviário deve-se, essencialmente, ao funcionamento do motor, enquanto que para velocidades acima dos 60 km/h, a fonte dominante é a interacção pneu/estrada e o ruído aerodinâmico.

Há, no entanto, outros factores que influenciam o ruído produzido pelo tráfego rodoviário, nomeadamente o volume de tráfego (a duplicação do volume de tráfego traduz-se num aumento de ruído de 3 dB), a percentagem de veículos pesados (veículos por natureza mais ruidosos) e a fluidez do tráfego (fluído ou pulsado).

2. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO

A metodologia de medição utilizada foi a constante da Norma Portuguesa 1730, de Outubro de 1996, “Parte 1: Grandezas fundamentais e procedimentos” e “Parte 2: Recolha de dados relevantes para o uso do solo” [1], a qual assenta na Norma ISO 1996.

Seguiu-se ainda a metodologia descrita no documento emitido pelo Instituto do Ambiente, “Procedimentos Específicos de Medição de Ruído Ambiente” [2], que complementa e especifica os métodos e procedimentos gerais definidos na referida NP 1730.

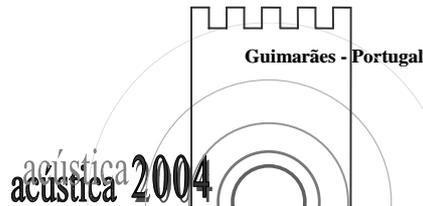
Para o cálculo do indicador dia-fim-de-tarde-noite, L_{den} , e do indicador noite, L_{night} , foi seguido o método de cálculo recomendado nos Anexos I e II da Directiva 2002/49/CE [3], relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, para ruído de tráfego rodoviário.

As medições de ruído de tráfego rodoviário foram efectuadas na Avenida de Berna, em Lisboa, junto a uma das entradas da Fundação Calouste Gulbenkian, tendo o sonómetro ficado colocado a cerca de 2 metros do limite da via de rodagem.

As medições de ruído foram efectuadas no exterior, em condições meteorológicas seleccionadas, de modo a corresponder a condições de propagação sonora estáveis, o que significa velocidade do vento entre 1 e 5 m/s e ausência de chuva e de fortes inversões de temperatura perto do solo.

As medições foram realizadas com um sonómetro integrador de classe 1 (Modelo 2260 da Brüel & Kjær), com a malha A de ponderação na frequência e com a característica *fast* e *impulse* de ponderação no tempo. Cada medição teve uma duração média de 30 minutos. Quando justificável, o tempo de medição ocorreu até estabilização do sinal sonoro.

O microfone foi montado a 1,5 metros de altura em relação ao nível do solo e a uma distância mínima de 3,5 metros de qualquer superfície reflectora, como recomenda a norma.



3. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

As medições referentes ao ruído proveniente do tráfego rodoviário foram efectuadas na Av. de Berna, em Lisboa, entre as 16h00 e as 02h00 dos dias 5, 6 e 14 de Novembro de 2003. Para as restantes horas, procedeu-se à estimação dos valores de L_{Aeq} para aquelas horas, com base no método simplificado do *Guide du Bruit* [4].

O citado método simplificado baseia-se na seguinte expressão:

$$L_{eq} = 20 + 10 \log (Q_{VL} + E Q_{PL}) + 20 \log V - 12 \log (d + lc/3) + 10 \log \theta/180^\circ \text{ dB(A)} \quad (1)$$

Onde:

Q_{VL} = Quantidade de Veículos Ligeiros por hora

Q_{PL} = Quantidade de Veículos Pesados por hora

E = Factor de equivalência acústica entre veículos pesados e veículos ligeiros (na presente situação $E = 10$)

V = Velocidade em Km/h

d = Distância ao bordo da faixa de rodagem (2,00 m)

lc = Largura da faixa de rodagem (24,5 m)

θ = Ângulo de vista do arruamento (180°)

Os valores obtidos pela fórmula anterior são os observáveis a 2 m da fachada dos edifícios confinantes. Como, neste caso particular, a zona onde foram efectuadas as medições não apresentava superfícies reflectoras, aos valores obtidos foram retirados 3 dB(A), de forma a obter-se o nível sonoro em campo livre.

Na tabela seguinte são apresentados, para as 24 horas do dia, os valores do tráfego horário (incluindo o tráfego de pesados convertido em ligeiros), as velocidades médias de circulação, os valores estimados através da aplicação do método simplificado do *Guide du Bruit* e os valores efectivamente medidos.

Tabela 1 – Valores horários do volume de tráfego, velocidade média e valores de L_{Aeq}

Período Horário	Tráfego Veic/Hora	Velocidade Km/h	L_{eq} c/ Reflexão dB(A)	L_{eq} Campo Livre dB(A)	L_{Aeq} Campo Livre dB(A)
00 - 01	1.368	70,0	76,2	73,2	71,2
01 - 02	1.020	70,0	74,9	71,9	65,8
02 - 03	180	70,0	67,4	64,4	64,5
03 - 04	180	70,0	67,4	64,4	64,4
04 - 05	100	70,0	64,8	61,8	61,8
05 - 06	100	70,0	64,8	61,8	61,8
06 - 07	180	70,0	67,4	64,4	64,4
07 - 08	500	60,0	70,5	67,5	67,5
08 - 09	2.340	50,0	75,6	72,6	72,6
09 - 10	4.500	40,0	76,5	73,5	73,5
10 - 11	3.750	40,0	75,7	72,7	72,7
11 - 12	3.100	60,0	78,4	75,4	75,4
12 - 13	3.050	50,0	76,7	73,7	73,7
13 - 14	3.000	50,0	76,7	73,7	73,7
14 - 15	3.578	60,0	79,0	76,0	76,0
15 - 16	4.156	50,0	78,1	75,1	75,1
16 - 17	4.734	40,0	76,7	73,7	74,0
17 - 18	5.106	40,0	77,0	74,0	74,0
18 - 19	4.513	40,0	76,5	73,5	72,5
19 - 20	4.825	40,0	76,8	73,8	71,9
20 - 21	3.906	50,0	77,8	74,8	74,8
21 - 22	2.988	50,0	76,6	73,6	72,2
22 - 23	2.420	50,0	75,7	72,7	73,2
23 - 24	1.882	60,0	76,2	73,2	73,2
xx,x Valores estimados (<i>Guide du Bruit</i>) xx,x Valores medidos					
			L_{day}	74,6	dB (A)
			$L_{evening}$	73,2	dB (A)
			L_{night}	67,9	dB (A)
			L_{den}	76,6	dB (A)
			L_{Aeq} Diurno	73,7	dB (A)
			L_{Aeq} Nocturno	68,9	dB (A)

Apresenta-se em baixo, na figura 1, um gráfico que compara os valores de L_{Aeq} com os valores de $20 \times$ logaritmo do tráfego rodoviário, e que permite também verificar a semelhança do desenvolvimento das duas curvas, sendo no entanto notório que a queda do tráfego entre as 02h00 e as 06h00 não é seguida do mesmo modo pelos valores de L_{Aeq} , por força do aumento da velocidade média de circulação.

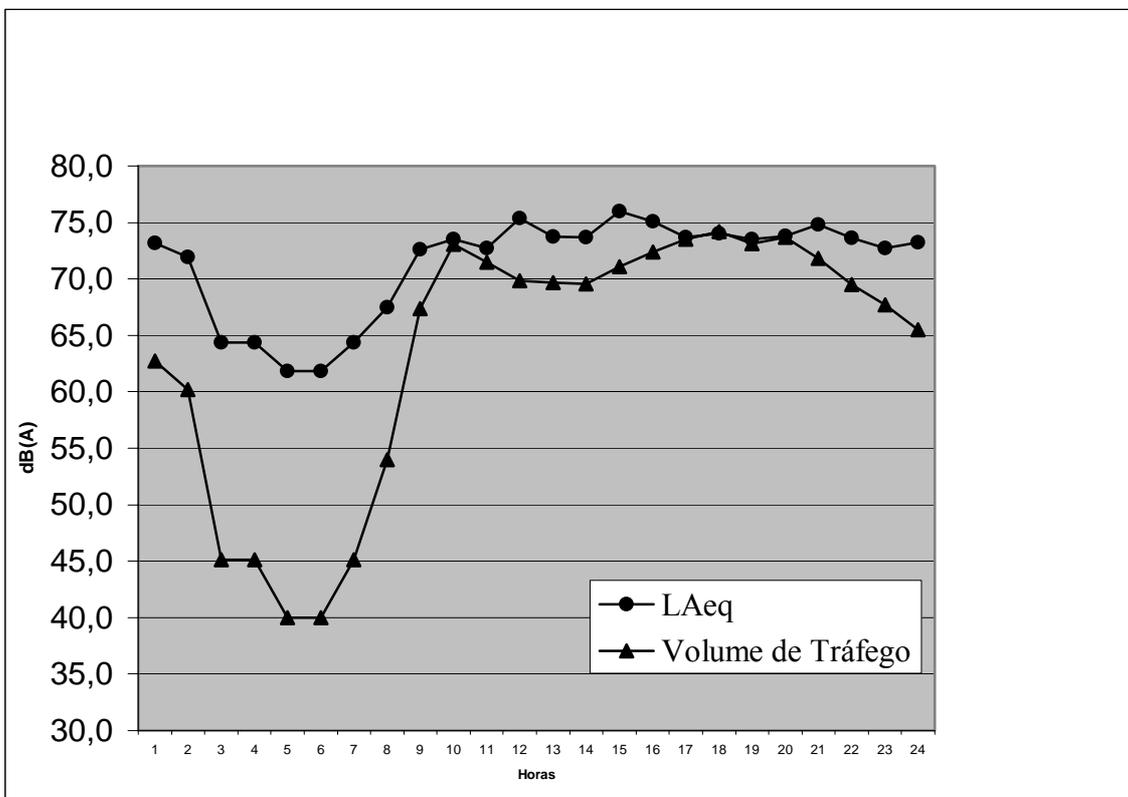


Figura 1 – Relação entre L_{Aeq} e $20\log$ Volume de Tráfego

Com base nos valores obtidos, tanto por medição como estimados, foram também calculados os valores de L_{day} , $L_{evening}$ e L_{night} (considerando os intervalos horários definidos na Directiva 2002/49/CE: 07h00-19h00, 19h00-23h00 e 23h00-07h00), bem como o valor de L_{den} .

Foram ainda determinados, os valores de L_{Aeq} relativos ao período diurno e ao período nocturno, de acordo com a legislação nacional.

Na tabela 2, pormenorizam-se os valores efectivamente medidos, indicando-se tanto os valores de L_{Aeq} como os valores dos parâmetros estatísticos mais significativos: L_{10} , L_{50} e L_{90} . Os parâmetros estatísticos L_n representam o valor do nível de ruído excedido durante $n\%$ do tempo de medição. Destes valores, L_{90} é normalmente considerado como o valor correspondente ao ruído de fundo, sendo o valor de L_{10} correspondente ao nível mais ruidoso.

Tabela 2 – Valores medidos de L_{Aeq} , L_{90} , L_{50} e L_{10}

Período Horário	L_{Aeq} dB(A)	L_{90} dB(A)	L_{50} dB(A)	L_{10} dB(A)
16-17	74,0	64,7	70,3	76,2
18-19	72,5	64,3	68,3	73,7
19-20	71,9	63,7	69,5	75,1
21-22	72,2	61,4	70,5	75,5
22-23	73,2	58,9	69,3	75,6
00-01	71,2	55,4	67,3	74,8
01-02	65,8	49,3	58,5	69,9
02-03	64,5	48,9	55,9	69,1

4. ANÁLISE DE INCOMODIDADE

Os valores obtidos para L_{Aeq} são, em todas as situações, superiores aos valores máximos admitidos pelo Regulamento Geral do Ruído [5], mesmo considerando que os locais de medição se encontram em zonas mistas, conforme se pode resumir no seguinte quadro:

Tabela 3 – Valores de L_{Aeq} , diurno e nocturno e máximos admissíveis.

	Valores obtidos	Máximo admissível
L_{Aeq} Diurno	73,7	65
L_{Aeq} Nocturno	69,5	55

Este facto evidencia uma situação de incomodidade, mais acentuada no período nocturno, pois mesmo que os edificios apresentem valores de isolamento sonoro $D_{2m,n,w}$ compatíveis com os valores regulamentares, o nível sonoro no interior das habitações será superior aos valores máximos recomendados pela Organização Mundial de Saúde [6].

Dado que a legislação nacional não define parâmetros que permitam relacionar os valores de L_{Aeq} com o grau de incomodidade, optou-se por realizar uma análise de incomodidade a partir dos valores obtidos para L_{den} e com base no método descrito na publicação “*Position paper on dose response relationship between transportation noise and annoyance*” [7]. De acordo com aquele método, a determinação do grau de incomodidade da população afectada pelo ruído é efectuada tendo em conta dois descritores: a percentagem de pessoas incomodadas (Annoyed), %A, e a percentagem de pessoas muito incomodadas (Highly Annoyed), %HA.

A tabela 4 apresenta as percentagens de pessoas incomodadas (%A) e muito incomodadas (%HA), determinadas através da formulação apresentada na referida publicação, com base no valor de L_{den} . Como valor de comparação, apresentam-se os graus de incomodidade, para um

L_{den} teórico e correspondente á aplicação dos valores máximos regulamentares do ruído ambiente exterior, para uma zona mista.

Tabela 4 – *Percentagem de pessoas incomodadas (A) e muito incomodadas (HA)*

Valor real	$L_{den} = 77,0$	%A = 66,7	%HA = 42,6
Valor teórico	$L_{den} = 66,3$	%A = 38,3	%HA = 18,1

Este método permite, dum modo simples e directo, determinar o grau de incomodidade, baseando-se apenas no valor de L_{den} .

Optou-se ainda por calcular os valores do TNI (*Traffic Noise Index*), índice este que foi desenvolvido no Reino Unido e que pretende medir o grau de incomodidade gerado pelo tráfego rodoviário, sendo dado por:

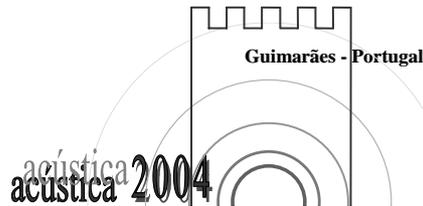
$$TNI = 4 \times (L_{10} - L_{90}) + (L_{90} - 30) \quad (2)$$

Este parâmetro de avaliação da incomodidade têm em linha de conta os parâmetros estatísticos L_{10} e L_{90} . A este parâmetro estão associadas as características próprias de cada ruído, nomeadamente as flutuações de ruído associadas ao ruído de fundo e ao valor de pico.

Face às análises de incomodidade que apenas tomam por base o valor de L_{Aeq} , o índice TNI é mais “rico” por considerar as características particulares de cada situação. Na tabela 5 verifica-se a existência de situações, nomeadamente durante o período nocturno, em que, apesar da redução do parâmetro L_{Aeq} , o valor de TNI aumentou.

Tabela 5 – *Valores medidos de L_{Aeq} , L_{90} , L_{50} , L_{10} , $L_{10}-L_{Aeq}$, $L_{10}-L_{90}$ e TNI*

Período Horário	L_{Aeq} dB(A)	L_{90} dB(A)	L_{50} dB(A)	L_{10} dB(A)	$L_{10}-L_{Aeq}$ dB(A)	$L_{10}-L_{90}$ dB(A)	TNI
16-17	74,0	64,7	70,3	76,2	2,2	11,5	80,7
18-19	72,5	64,3	68,3	73,7	1,2	9,4	71,9
19-20	71,9	63,7	69,5	75,1	3,2	11,4	79,3
21-22	72,2	61,4	70,5	75,5	3,3	14,1	87,8
22-23	73,2	58,9	69,3	75,6	2,4	16,7	95,7
00-01	71,2	55,4	67,3	74,8	3,6	19,4	103,0
01-02	65,8	49,3	58,5	69,9	4,1	20,6	101,7
02-03	64,5	48,9	55,9	69,1	4,6	20,2	99,7



5. CONCLUSÕES

A incomodidade de um ruído pode assim ser analisada e estudada com base nos valores de L_{Aeq} ou de L_{den} , os quais permitem estabelecer uma relação directa e relativamente simples entre ruído e incomodidade. Destes, o indicador L_{den} permite ainda uma comparação directa entre diferentes cidades ou zonas dentro do espaço da União Europeia, assumindo-se como um padrão uniformizador.

No entanto, e apesar da relação intuitiva entre a redução do nível sonoro e a incomodidade, os valores de L_{Aeq} ou de L_{den} são apenas indicadores parciais da realidade sonora, pelo que a sua interpretação deve ser sempre realizada sob esta perspectiva.

Deste modo, a análise da incomodidade não deve ser vista apenas com base nos níveis sonoros, mas deve entrar em linha de conta com os parâmetros estatísticos, nomeadamente os valores de L_{10} e L_{90} , cuja introdução enriquece a compreensão do fenómeno em estudo.

REFERENCIAS

- [1] NP 1730, 1 e 2:1996 - Acústica - Descrição e Medição do Ruído Ambiente. Parte 1: Grandezas fundamentais e procedimentos. Parte 2: Recolha de dados relevantes para o uso do solo.
- [2] Instituto do Ambiente; Procedimentos específicos de medição de ruído ambiente, Lisboa, 2003
- [3] Directiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Junho de 2002, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. Diário Oficial das Comunidades Europeias, L189/12-25. 18 de Julho de 2002.
- [4] Regulamento Legal sobre Poluição Sonora. Decreto-Lei nº 292/2000, de 14 de Novembro. Lisboa, MAOT, 2000.
- [5] Guide du Bruit des Transports Terrestres ; Prevision des Niveaux Sonores. Ministère de L'environnement et du Cadre de Vie. Ministère des transports – Direction des Transports Intérieurs. Novembre, 1980.
- [6] Environmental Health Criteria 12 – Noise, World Health Organisation, 1980.
- [7] Working Group 2 Dose/Effect; Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance. Comissão Europeia, Luxemburgo, Fevereiro, 2002.