



## LEVANTAMENTO DA CARTA DE RUÍDO NA ZONA RIBEIRINHA DO MONDEGO NA CIDADE DE COIMBRA

PACS: 43.50.Sr

M. L. O. S. Mateus, R. C. Henriques, Nuno M. A. Silva, M. C. Gameiro da Silva  
ADAI – Departamento de Engenharia Mecânica  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Universidade de Coimbra – Pólo II  
3030-201 Coimbra, PORTUGAL  
E-mail: mariomateus@clix.pt, manuel.gameiro@dem.uc.pt

### ABSTRACT

It is presented the noise map of an area of the city of Coimbra. The calculation was carried out with the software Lima B, based upon the digital cartography files of topography and implantation of buildings and noise sources. In order to allow the setting and validation of the computed map, a noise monitoring campaign was carried out in 11 locations, with a total duration of 5 days in each measuring point. It is verified that, in the calculated area, subsist areas dedicated to habitation with values of the noise equivalent level  $L_{eq}$  over the prescribed limits, both for day and night periods.

### RESUMO

Apresenta-se uma parte da carta de ruído da cidade de Coimbra, obtida pelos autores no âmbito de um trabalho mais vasto que tem por objectivo o mapeamento total da cidade. O cálculo da carta foi efectuado com a aplicação computacional LIMA B, tendo-se utilizado, como base, os ficheiros cartográficos em formato digital da topografia, planimetria e implantação das redes viária e ferroviária. Para permitir a validação e a afinação do mapa obtido por cálculo numérico, foi efectuada uma campanha de monitorização experimental do ruído em 11 pontos distintos, com amostragem do nível de pressão sonora, expresso em dB(A), durante cinco dias consecutivos, em cada um dos pontos. Constata-se que na área calculada subsistem zonas habitacionais com valores de  $L_{eq}$  acima dos limites estabelecidos na legislação, quer no período diurno, quer no período nocturno.

**Palavras-chave:** Acústica, Ruído ambiental, Mapas de Ruído.

### INTRODUÇÃO

O presente trabalho corresponde a um cálculo parcial do mapa de ruído da cidade de Coimbra, tendo a campanha de medições sido levada a cabo no âmbito da disciplina de Seminário do plano de estudos da licenciatura em Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra. Este tipo de trabalhos tem, no momento presente, uma grande expansão devido às imposições resultantes da transcrição para as legislações nacionais das directivas comunitárias, pelo que se

justifica um esforço no sentido do aperfeiçoamento das técnicas de cálculo e monitorização empregues.

## ZONA ANALISADA

O presente estudo incidiu sobre a zona do “Parque Verde do Mondego” da cidade de Coimbra, a montante da Ponte de Santa Clara e a jusante da futura Ponte Europa, ao longo de ambas as margens do Mondego, na área delimitada na fotografia apresentada na figura 1, onde se indicam também as localizações dos pontos de medição seleccionados para a campanha de monitorização dos níveis de ruído.

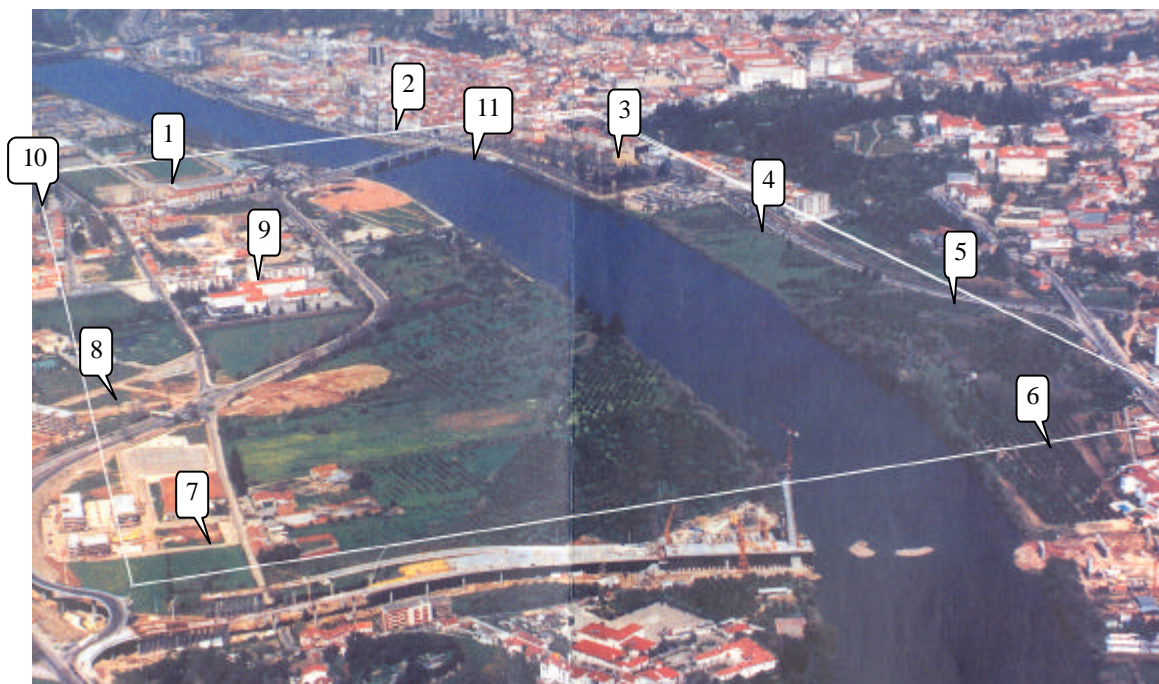


Figura 1. Vista aérea parcial da cidade Coimbra com delimitação da zona estudada e indicação dos pontos de monitorização.

## EQUIPAMENTO DE MEDIDA

Utilizaram-se dois sonómetros da marca CEL, modelos 231 e 254, ambos da classe II (norma IEC 651) tendo os valores das suas saídas analógicas em tensão, correspondentes ao nível de pressão sonora expresso em dB(A), sido adquiridos através de dois registadores de dados da marca Easylog, cujos conversores analógicos-digitais têm uma resolução de 12 bits. Este modelo de registador comunica com os computadores pessoais através da porta série e permite guardar em memória o máximo de 8000 valores, sendo os parâmetros de amostragem (tempo total e frequência de aquisição) seleccionáveis pelo utilizador através da sua aplicação computacional de configuração. É alimentado por uma pilha de iões de lítio de 3.2 volt, que lhe garante uma autonomia superior a dois anos.

A saída analógica dos sonómetros varia dentro de uma gama em tensão que vai dos 4 aos 6 volt, correspondente a uma gama de nível de pressão sonora (NPS) dos 30 aos 130 dB(A), pelo que teve que se seleccionar a gama de 0-20 volt nos registadores de dados, por ser a única que comportava toda a extensão do sinal de saída dos sonómetros. Desta forma, a resolução do sinal digital adquirido do nível de pressão sonora foi de 0.048 dB(A). O intervalo entre amostragens sucessivas do sinal foi, em todos os casos, de 10 segundos.

Foram montadas duas caixas de monitorização, tendo-se instalado em cada uma delas um sonómetro, um registador de dados e uma bateria de 6 volts, destinada a aumentar o tempo de

autonomia do sonómetro em medição contínua. As caixas metálicas são herméticas e resistentes às condições meteorológicas exteriores, tendo sido penduradas em postes de iluminação pública e árvores a uma altura de 4 metros. Foi efectuado na caixa um furo para permitir a passagem para o exterior do microfone do sonómetro, ao qual foi aplicada a bola de espuma destinada à protecção relativamente ao efeito do vento.

## RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os ficheiros com os registos das medições foram transferidos para um computador pessoal e importados para uma base de dados construída em Access, em que foram determinados os valores instantâneos do nível de pressão sonora, a partir da expressão de calibração da saída analógica em tensão do sonómetro, previamente determinada:

$$NPS_n = V_n \times 40 - 99.049 \quad [\text{dB(A)}] \quad (1)$$

Utilizando os ficheiros com as evoluções temporais do nível de pressão sonora, traçaram-se os respectivos gráficos e procedeu-se ao cálculo dos valores diários do nível equivalente de ruído  $L_{Aeq}$ , para os períodos diurnos (07:00 h às 22:00 h) e nocturnos (22:00 h às 07:00 h), a partir da expressão de cálculo deste último índice:

$$L_{Aeq,P} = 10 \cdot \log \frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{NPS}{10}} dt \quad [\text{dB(A)}] \quad (2)$$

que no, caso de o sinal do nível de pressão sonora (NPS) ser discreto, por ter resultado de um processo de amostragem temporal sequenciada, virá:

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \log \frac{1}{n} \sum_0^n 10^{\frac{NPS_n}{10}} \quad [\text{dB(A)}] \quad (3)$$

Tendo, em cada um dos pontos de medida, sido monitorizado o ruído durante cinco dias, incluindo o Sábado e o Domingo, o nível equivalente semanal, quer para o período nocturno, quer para o período diurno, foi obtido a partir de uma média energética ponderada, dada pela expressão

$$L_{Aeq,S} = 10 \cdot \log \left\{ \frac{1}{7} \cdot \left( 5 \times 10^{\frac{(L_{Aeq,P})_{2^a \text{ a } 6^a}}{10}} + 10^{\frac{(L_{Aeq,P})_{Domingo}}{10}} + 10^{\frac{(L_{Aeq,P})_{Sábado}}{10}} \right) \right\}, \quad (4)$$

em que  $(L_{Aeq,P})_{2^a \text{ a } 6^a}$  representa o valor da média energética dos 3 dias de semana em que foram feitas medições. O programa de processamento de dados permite ainda o cálculo dos parâmetros estatísticos relativos ao sinal de ruído (máximos, mínimos e valores de percentil).

Na figura 2, a título exemplificativo, apresenta-se um gráfico com a evolução temporal do sinal do nível de pressão sonora expresso em dB(A), no ponto de medida 8, desde as 0 horas do dia 14 de Março de 2003 até às 0 horas do dia 19 de Março de 2003. Sobrepos-se ao sinal original a evolução da sua média móvel com um período de 30 pontos de amostragem, de forma a filtrar as flutuações de maior frequência, proporcionando uma melhor percepção da tendência de evolução da série. Verifica-se que, nos dias de fim de semana, os níveis de pressão sonora são tendencialmente mais baixos do que nos dias laborais, conduzindo a valores de  $L_{Aeq}$  diário ligeiramente inferiores, principalmente no período diurno. Há, na manhã de Domingo, um decréscimo claro da actividade relativamente aos outros dias, o que se reflecte na forma apresentada pela linha das médias móveis que tem um crescimento muito mais gradual. Comparando os três dias laborais, constata-se que apresentam níveis equivalentes diários muito semelhantes, quer para o período diurno, quer para o período nocturno.

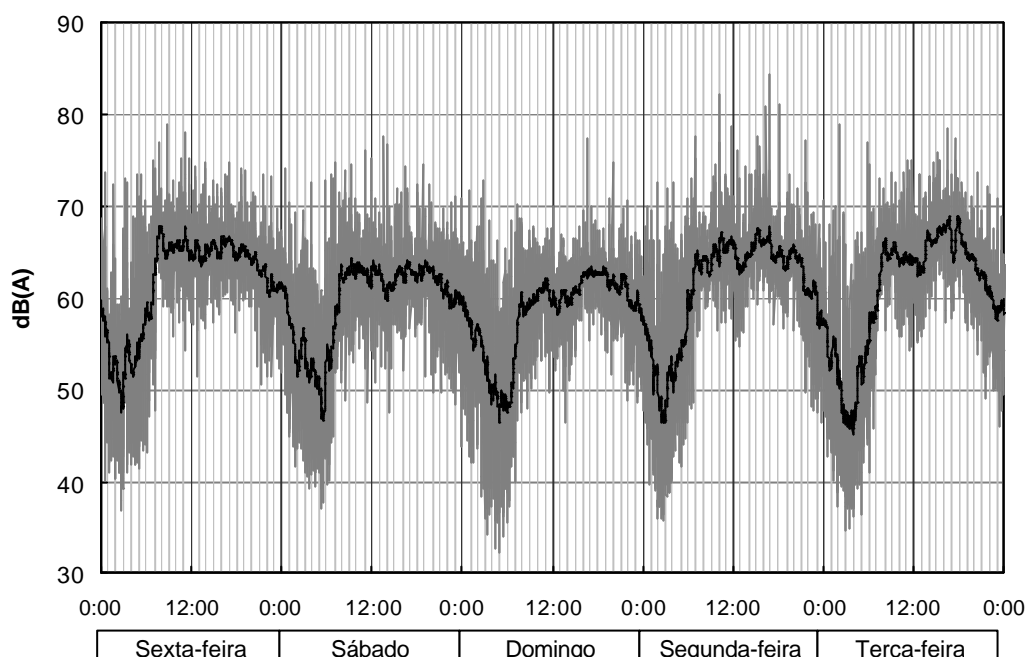


Figura 2. Evolução temporal do nível de pressão sonora e da respectiva média móvel ( $p=30$  pontos) para a localização 8.

A aplicação do processo de cálculo descrito anteriormente (equações 1 a 4) aos ficheiros recolhidos nos onze pontos de medida, aos quais correspondem representações semelhantes à da figura anterior, permitiu obter os resultados que se apresentam nas Tabelas 1 e 2 e no gráfico de barras da Figura 3. Para todas as localizações calcularam-se os níveis equivalentes semanais de ruído no período diurno e no período nocturno, bem como os parâmetros mais relevantes para uma boa definição estatística das séries temporais do nível de pressão sonora.

Tabela 1. Valores semanais, período diurno, dB(A)

Local	Tráfego (uv/dia)	$L_{Aeq,S}$	$L_{min}$	$L_{95}$	$L_{90}$	$L_{50}$	$L_{10}$	$L_5$	$L_{max}$
1 Avenida João das regras	35000*	73,6	58,9	64,6	65,8	70,5	75,9	77,8	94,3
2 Largo da portagem	40000	69,1	59,0	62,5	63,3	66,6	71,3	73,3	86,4
3 Avenida Emídio Navarro	40000	74,2	52,9	60,9	63,0	71,3	76,6	78,7	92,1
4 Na zona da Insua dos Bentos	20000	76,3	50,1	57,5	61,0	72,0	79,4	81,2	94,9
5 Avenida Urbano Duarte	23000	75,4	52,4	63,2	65,3	72,3	78,9	80,5	90,8
6 Junto aos acesso da Ponte Europa (Nascente)	12500	66,7	48,8	52,6	54,6	62,3	69,6	71,6	85,6
7 Junto aos acesso da Ponte Europa (Poente)		70,9	44,6	48,0	49,3	62,6	72,8	74,7	94,5
8 Junto ao Nó das Lajes		65,6	50,2	57,2	58,9	64,0	68,2	69,9	79,5
9 Liceu D. Duarte	38000	78,0	58,6	61,3	63,3	73,8	81,2	84,2	91,9
1 Início da rua António Augusto Gonçalves	35000	72,5	58,4	64,0	65,1	69,2	75,0	77,0	89,7
1 Parque Dr. Manuel Braga - Coreto		62,0	48,6	54,2	55,6	60,3	64,5	65,5	79,3

(\*) Fonte: Transitec - Metro do Mondego, Coimbra

Tabela 2. Valores semanais, período nocturno, dB(A)

Local	Tráfego	L <sub>Aeq,S</sub>	L <sub>min</sub>	L <sub>95</sub>	L <sub>90</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>10</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>máx</sub>
1 Avenida João das Regras	35000	69,4	43,3	50,2	53,3	63,9	72,7	75,2	86,9
2 Largo da Portagem	40000	64,3	49,8	53,8	55,2	61,9	67,1	68,7	79,4
3 Avenida Emídio Navarro	40000	69,9	38,2	45,0	47,5	64,2	74,2	76,2	84,2
4 Na zona da Ínsua dos Bentos	20000	71,9	36,8	41,9	44,1	57,2	75,3	78,6	89,4
5 Avenida Urbano Duarte	23000	71,8	41,4	44,0	46,6	62,0	75,5	78,7	90,4
6 Junto aos acesso da Ponte Europa (Nascente)	12500	59,8	47,2	48,4	48,8	50,8	62,1	65,2	79,1
7 Junto aos acesso da Ponte Europa (Poente)		62,9	34,7	37,0	38,0	45,2	65,9	70,0	82,6
8 Junto ao Nó das Lajes		61,1	35,8	40,6	43,0	55,5	64,9	67,1	78,2
9 Liceu D. Duarte	38000	74,5	39,6	44,2	46,1	61,0	77,5	80,7	93,2
1 Início da rua António Augusto Gonçalves	35000	68,9	51,8	55,0	56,5	63,4	71,3	73,8	89,4
1 Parque Dr. Manuel Braga - Coreto		58,1	37,9	41,9	44,1	54,4	62,1	63,8	73,1

(\*) Fonte: Transitec - Metro do Mondego, Coimbra

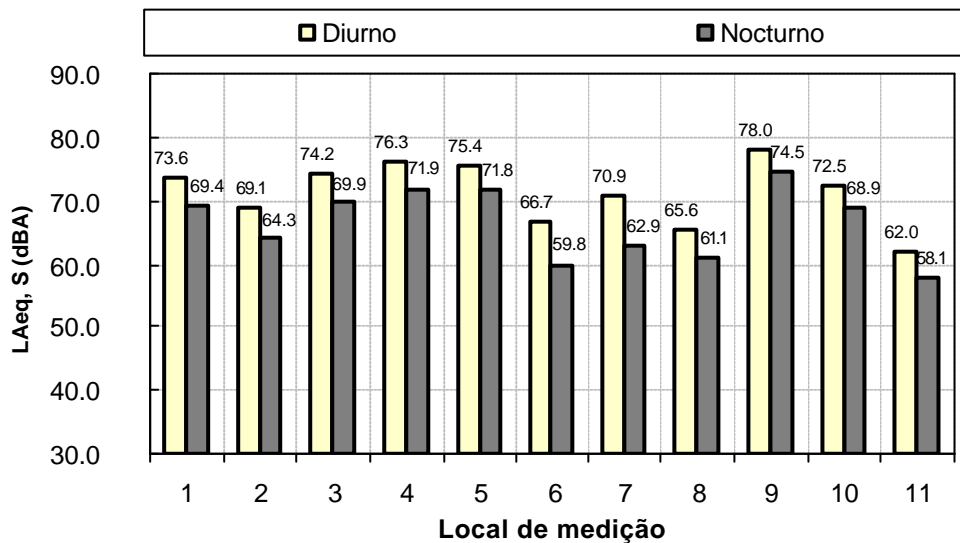


Figura 3. Valores do nível equivalente semanal de ruído para os períodos nocturno e diurno, determinados para os pontos de medição.

### SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

O cálculo foi efectuado com a aplicação LIMA B, tendo sido montado um modelo digital da zona estudada da cidade que inclui a topografia com as linhas de nível com um incremento de 5 metros, a planimetria, a altimetria e a implantação e definição das principais fontes de ruído. Utilizou-se uma malha cartesiana de cálculo com uma dimensão de lado de 2 metros.

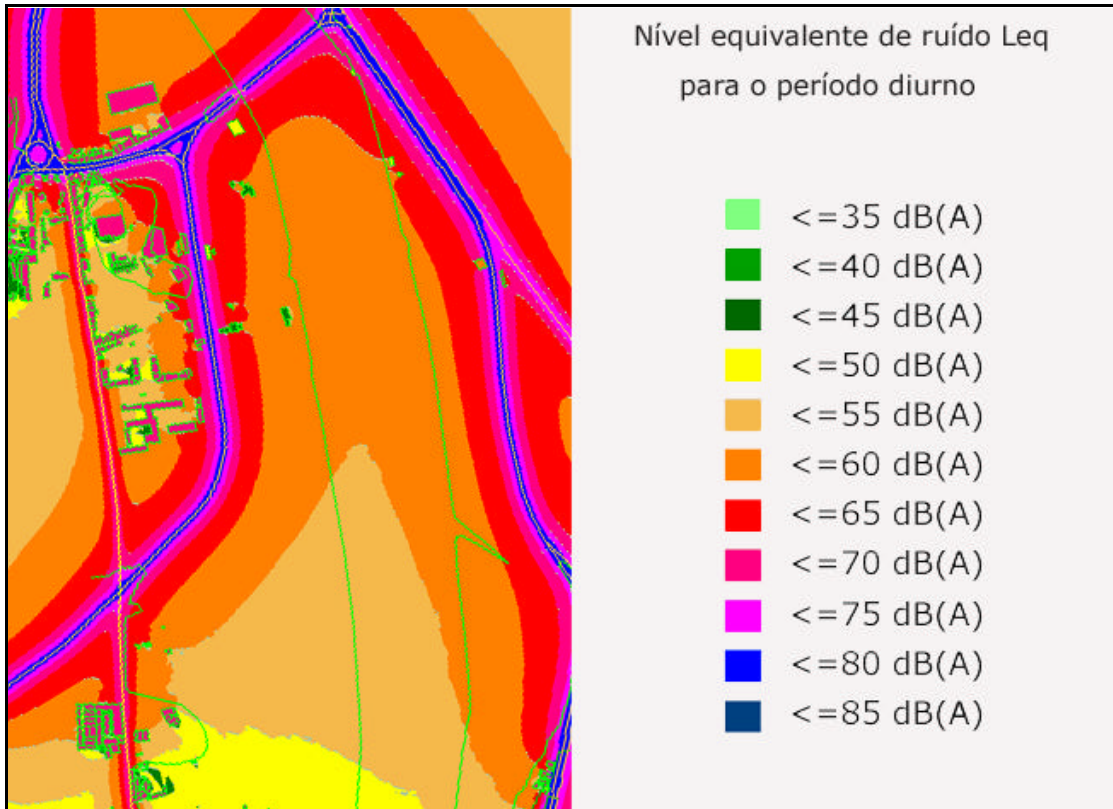


Figura 4. Carta de ruído com distribuição das zonas isofónicas do nível equivalente  $L_{Aeq}$  para o período diurno.

## CONCLUSÃO

Foi feito o levantamento da carta de ruído de uma zona da cidade de Coimbra, tendo-se conseguido um bom ajustamento entre os resultados do processo de cálculo e os valores determinados a partir da monitorização experimental do ruído, com discrepâncias inferiores a 1 dB(A), em todas as localizações de controlo.

Verifica-se que na distribuição das zonas isofónicas, em termos do nível equivalente de ruído, há uma percentagem não desprezável de área em que ocorrem valores acima dos limites legais estabelecidos pela legislação em vigor, sendo a situação mais gravosa no período nocturno do que no período diurno

## REFERÊNCIAS

Regulamento Geral sobre o Ruído, Decreto-Lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro, Colecção Regulamentos, Porto Editora, Porto, 2002

Elaboração de mapas de ruído – Princípios orientadores, Instituto do Ambiente e Direcção do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano