

Desenvolvimento de um sistema de monitorização contínua de ruído sobre uma plataforma LabVIEW.

Mário Mateus, Manuel C. Gameiro da Silva

ADAI-LAETA, Department of Mechanical Engineering, University of Coimbra
(mario.mateus@adai.pt), (manuel.gameiro@dem.uc.pt)

Resumo

Os descritores de ruído, indicados na Directiva Europeia 2002/49/EC e adoptados pela actual legislação Portuguesa, correspondem a indicadores de longa duração que têm por base uma representatividade anual. De acordo com a normalização actualmente aplicável (NP ISO 1996-1:2011 e NP ISO 1996-2:2011), estes indicadores podem resultar de um processo de monitorização em contínuo ou de valores adquiridos por método de amostragem recorrendo a medições de curta duração. Há um conjunto de factores que levam a que, na maior parte das situações, os indicadores não resultem de monitorizações em contínuo, sendo o preço dos equipamentos provavelmente um dos mais preponderantes no processo de decisão.

O sistema de monitorização de sinais sonoros apresentado foi desenvolvido em torno de uma plataforma informática para a aquisição e armazenamento automático dos níveis de pressão sonora. Os sinais captados por um microfone de precisão são adquiridos utilizando uma placa de aquisição de dados da National Instruments (NI) sendo processados por uma aplicação informática LabView, adaptada e desenvolvida especificamente com esta finalidade.

O sistema foi desenvolvido para utilização no âmbito de um trabalho específico, tendo como principal objectivo a caracterização do nível sonoro contínuo equivalente, ao longo de um período de longa duração. São apresentados dados reais obtidos pelo sistema, numa localização em meio urbano, ao longo de um período de 36 meses.

Palavras-chave: Equipamentos Virtuais, Medição e Análise do Som, Electroacústica e Instrumentação.

Abstract

The noise descriptors established in European Directive 2002/49/EC and adopted by the current Portuguese legislation, correspond to long-term indicators that should be representative of a year period. According to the currently applicable standards (ISO 1996-1:2011 NP and NP ISO 1996-2:2011), these indicators may result from a process of continuous monitoring or be obtained by sampling methods using short-term measurements. There are a number of factors that lead to that, in most situations, the indicators do not result from continuous monitoring. Price of continuous monitoring equipment is probably one of the most prevalent factors in the decision process.

The presented noise monitoring system was developed around a platform for the acquisition and automatic storage of sound pressure levels. The signals captured by a precision microphone are registered using a National Instruments (NI) data acquisition card being processed through a LabView computer application, specifically designed for this purpose.

The system was developed for use within a particular job, with the primary aim of characterizing the equivalent continuous sound level over a long duration period. Actual data obtained with the system in a location in an urban environment, over a period of 36 months, is presented.

Keywords: Virtual Instruments, Sound Measurement and Analysis, Electroacoustics and Instrumentation

PACS no. 43.20.Ye

1 Introdução

A monitorização contínua, ou por largos períodos de medição, requer sempre a utilização de meios relativamente dispendiosos, enquanto que o sistema aqui apresentado pelos autores representa um custo de investimento moderado. O sistema baseia-se num computador portátil ao qual é ligada uma placa de aquisição de sinais sonoros com um conversor analógico-digital de 24 bits, um microfone de precisão e o respectivo pré amplificador. O sistema permite definir a duração do período de recolha de dados para cálculo do nível sonoro contínuo equivalente. A taxa de aquisição do sinal sonoro é de 44 kHz. Para cada período de integração, o sistema grava os dados do nível sonoro contínuo equivalente global, bem como para todas as bandas de terço de oitava, compreendidas entre 20 Hz e 20 kHz.

É feita a descrição geral do sistema e comparado o seu desempenho com os requisitos metrológicos da norma IEC 61672:1.

2 Sistema de aquisição de níveis sonoros

2.1 Descrição do sistema

Este sistema corresponde ao aperfeiçoamento, de modo a garantir o cumprimento dos requisitos estabelecidos em termos metrológicos para o equipamento de medição utilizado na área de acústica, de algumas aplicações anteriormente desenvolvidas pelos autores com carácter eminentemente didáctico [1], [2], [3]. O sistema de medição é baseado na utilização de um computador portátil e de uma plataforma informática LabView. Este sistema inclui um microfone de 1/2" (meia polegada) modelo 4189 com o respectivo pré-amplificador modelo 2671, ambos da marca Brüel & Kjær. O pré-amplificador, destina-se a elevar os níveis de tensão eléctrica resultantes da pressão sonora captada pelo microfone, para valores que possam ser aplicados à placa de aquisição de sinal. A placa utilizada corresponde à referência NI 9233, da National Instruments, que para além de proceder à aquisição dos sinais eléctricos correspondente aos níveis de pressão, possui também a capacidade de fornecer alimentação eléctrica ao pré-amplificador.

Todo o processamento é efectuado por uma aplicação computacional, escrita na linguagem de programação Labview 7.1 utilizando algumas das ferramentas do pacote Noise & Vibration Toolkits.

No seu conjunto o sistema, com a actual versão de software, tem a possibilidade de processar o sinal sonoro de forma a permitir a obtenção do nível de pressão sonora, do nível sonoro contínuo equivalente e ainda efectuar análise em bandas de terços de oitava, em tempo real.

Todos os valores adquiridos podem ser guardados de forma sequencial num ficheiro Excel, em que para além da data e da hora, são registados todos os dados do nível sonoro contínuo equivalente global, bem como para todas as bandas de terço de oitava, compreendidas entre 20 Hz e 20 kHz.

O tempo de integração pode ser configurado pelo utilizador, permitindo efectuar medições desde poucos minutos até várias horas, dias, meses ou mesmo com duração superior a um ano.



Figura 1 – Sistema de medição e aquisição de sinais sonoros – microfone, pré-amplificador, placa de aquisição e computador portátil.

2.2 Composição do sistema de medição acústica

A aplicação informática, que possui um módulo específico para a aquisição dos níveis sonoros, permite configurar o sistema com características equivalentes a um analisador de ruído, possibilitando a selecção dos seguintes parâmetros:

- a sensibilidade do microfone ($\mu\text{V}/\text{Pa}$);
- a constante de tempo de integração para a obtenção do valor r.m.s. da pressão sonora;
- o valor da pressão de referência para a referenciação dos níveis de pressão sonora ($20\mu\text{Pa}$);
- A ponderação em frequência a utilizar (A, B, C, Linear).

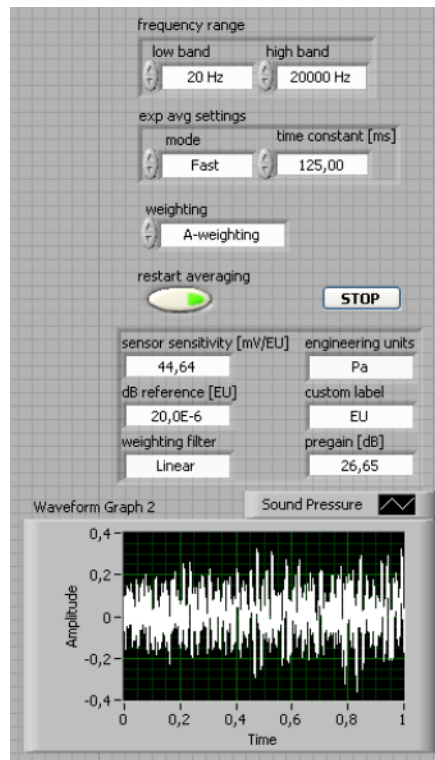


Figura 2- Menu de configuração de características do sistema analisador de ruído.

Em simultâneo com o processamento do valor da pressão sonora, e por integração desta, é determinado o nível sonoro contínuo equivalente, $L_{Aeq,T}$, ao longo de um intervalo de tempo, ΔT , sendo este pré definido pelo utilizador.

Paralelamente, sobre o sinal de pressão, é efectuada a análise em frequência numa gama de frequências seleccionável entre 20 Hz e 20000Hz, sendo também calculados em simultâneo os respectivos $L_{Aeq,T,f}$, para todos os terços de banda de oitava incluídos no intervalo seleccionado. Este módulo de análise espectral cumpre as especificações da norma IEC61260:2001.

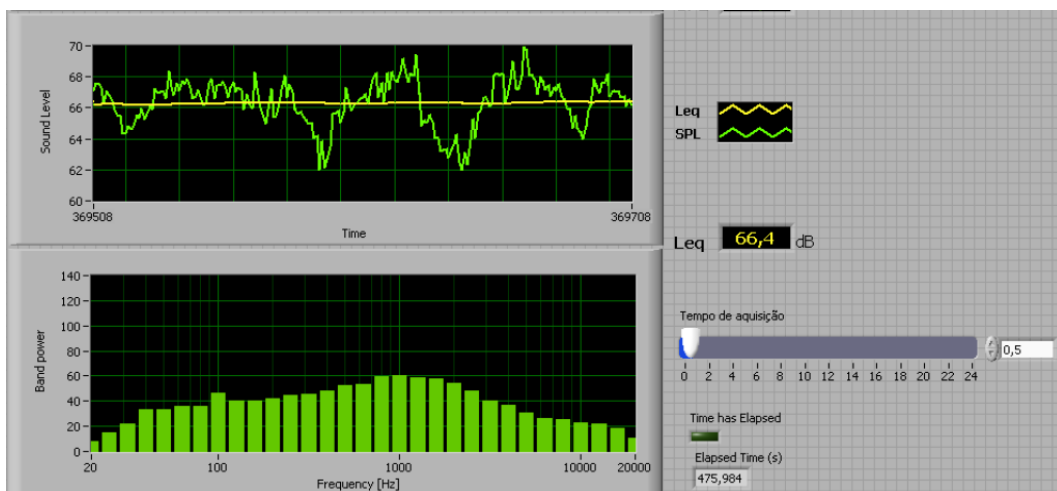


Figura 3- Evolução temporal do nível de pressão sonora, nível sonoro contínuo equivalente e correspondente espectro de frequências.

2.3 Caracterização metrológica

O sistema, no seu conjunto, corresponde a um analisador de níveis sonoros em tempo real. O mesmo foi sujeito a uma calibração em Laboratório Acreditado, onde foi possível verificar que cumpre as especificações da norma IEC61672-1:2002, para a classe I de precisão.

Apresentam-se de seguida alguns excertos do certificado de calibração emitido pela entidade calibradora.

Tabela 1- Resposta em frequência para as malhas A, C e Z (linear)

Resposta em frequência, malha A

Frequência de análise	Valor de referência	Valor do equipamento	Erro	Especificação da norma		Incerteza
				Sup.	Inf.	
1000 Hz	95,0 dB SPL	95,0 dB SPL	0,0 dB	---	---	± 0,10 dB
63 Hz	95,0 dB SPL	95,4 dB SPL	0,4 dB	1,5 dB	-1,5 dB	± 0,12 dB
125 Hz	95,0 dB SPL	94,9 dB SPL	-0,1 dB	1,5 dB	-1,5 dB	± 0,12 dB
250 Hz	95,0 dB SPL	94,9 dB SPL	-0,1 dB	1,4 dB	-1,4 dB	± 0,12 dB
500 Hz	95,0 dB SPL	94,9 dB SPL	-0,1 dB	1,4 dB	-1,4 dB	± 0,12 dB
2000 Hz	95,0 dB SPL	95,1 dB SPL	0,1 dB	1,6 dB	-1,6 dB	± 0,12 dB
4000 Hz	95,0 dB SPL	95,3 dB SPL	0,3 dB	1,6 dB	-1,6 dB	± 0,12 dB
8000 Hz	95,0 dB SPL	95,7 dB SPL	0,7 dB	2,1 dB	-3,1 dB	± 0,12 dB
16000 Hz	95,0 dB SPL	92,3 dB SPL	-2,7 dB	3,5 dB	-17 dB	± 0,12 dB

Resposta em frequência, malha C

Frequência de análise	Valor de referência	Valor do equipamento	Erro	Especificação da norma		Incerteza
				Sup.	Inf.	
1000 Hz	95,0 dB SPL	95,0 dB SPL	0,0 dB	---	---	± 0,10 dB
63 Hz	95,0 dB SPL	95,0 dB SPL	0,0 dB	1,5 dB	-1,5 dB	± 0,12 dB
125 Hz	95,0 dB SPL	95,0 dB SPL	0,0 dB	1,5 dB	-1,5 dB	± 0,12 dB
250 Hz	95,0 dB SPL	95,0 dB SPL	0,0 dB	1,4 dB	-1,4 dB	± 0,12 dB
500 Hz	95,0 dB SPL	95,0 dB SPL	0,0 dB	1,4 dB	-1,4 dB	± 0,12 dB
2000 Hz	95,0 dB SPL	95,2 dB SPL	0,2 dB	1,6 dB	-1,6 dB	± 0,12 dB
4000 Hz	95,0 dB SPL	95,3 dB SPL	0,3 dB	1,6 dB	-1,6 dB	± 0,12 dB
8000 Hz	95,0 dB SPL	95,7 dB SPL	0,7 dB	2,1 dB	-3,1 dB	± 0,12 dB
16000 Hz	95,0 dB SPL	92,3 dB SPL	-2,7 dB	3,5 dB	-17,0 dB	± 0,12 dB

Resposta em frequência, malha Z

Frequência de análise	Valor de referência	Valor do equipamento	Erro	Especificação da norma		Incerteza
				Sup.	Inf.	
1000 Hz	95,0 dB SPL	95,0 dB SPL	0,0 dB	---	---	± 0,10 dB
63 Hz	95,0 dB SPL	94,9 dB SPL	-0,1 dB	1,5 dB	-1,5 dB	± 0,12 dB
125 Hz	95,0 dB SPL	94,9 dB SPL	-0,1 dB	1,5 dB	-1,5 dB	± 0,12 dB
250 Hz	95,0 dB SPL	94,9 dB SPL	-0,1 dB	1,4 dB	-1,4 dB	± 0,12 dB
500 Hz	95,0 dB SPL	94,9 dB SPL	-0,1 dB	1,4 dB	-1,4 dB	± 0,12 dB
2000 Hz	95,0 dB SPL	94,9 dB SPL	-0,1 dB	1,6 dB	-1,6 dB	± 0,12 dB
4000 Hz	95,0 dB SPL	94,9 dB SPL	-0,1 dB	1,6 dB	-1,6 dB	± 0,12 dB
8000 Hz	95,0 dB SPL	94,9 dB SPL	-0,1 dB	2,1 dB	-3,1 dB	± 0,12 dB
16000 Hz	95,0 dB SPL	94,9 dB SPL	-0,1 dB	3,5 dB	-17,0 dB	± 0,12 dB

Tabela 2- Verificação da resposta aplicação da ponderação temporal à frequência de 1kHz

Ponderação em tempo e a frequência de 1KHz						
		Valor de referência	Valor do equipamento	Erro	Especificação da norma	Incerteza
Ref. FAST		94,0 dB SPL	94,0 dB SPL	0,0 dB	---	± 0,10 dB
Malha C		94,0 dB SPL	94,0 dB SPL	0,0 dB	± 0,4 dB	± 0,11 dB
Malha Z		94,0 dB SPL	94,0 dB SPL	0,0 dB	± 0,4 dB	± 0,11 dB
Malha A	Slow	94,0 dB SPL	94,0 dB SPL	0,0 dB	± 0,3 dB	± 0,11 dB
Malha A	Leq	94,0 dB SPL	94,0 dB SPL	0,0 dB	± 0,3 dB	± 0,11 dB

Tabela 3- Verificação da linearidade da escala na gama 39,0 dB a 133,0 dB, à frequência de 8000 Hz

Linearidade de escala, 8000 Hz, malha A					
	Valor de referência	Valor do equipamento	Erro	Especificação da norma	Incerteza
Ref. FAST	94,0 dB SPL	94,0 dB SPL	---	---	± 0,10 dB
	39,0 dB SPL	39,8 dB SPL	0,8 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	44,0 dB SPL	44,2 dB SPL	0,2 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	49,0 dB SPL	49,1 dB SPL	0,1 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	54,0 dB SPL	54,0 dB SPL	0,0 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	59,0 dB SPL	59,0 dB SPL	0,0 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	64,0 dB SPL	64,0 dB SPL	0,0 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	69,0 dB SPL	69,0 dB SPL	0,0 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	74,0 dB SPL	74,0 dB SPL	0,0 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	79,0 dB SPL	79,0 dB SPL	0,0 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	84,0 dB SPL	84,0 dB SPL	0,0 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	89,0 dB SPL	89,0 dB SPL	0,0 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	94,0 dB SPL	94,0 dB SPL	0,0 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	99,0 dB SPL	99,0 dB SPL	0,0 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	104,0 dB SPL	104,0 dB SPL	0,0 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	109,0 dB SPL	109,0 dB SPL	0,0 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	114,0 dB SPL	114,0 dB SPL	0,0 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	119,0 dB SPL	119,1 dB SPL	0,1 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	124,0 dB SPL	124,1 dB SPL	0,1 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	129,0 dB SPL	129,1 dB SPL	0,1 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	130,0 dB SPL	130,1 dB SPL	0,1 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	131,0 dB SPL	131,0 dB SPL	0,0 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	132,0 dB SPL	132,1 dB SPL	0,1 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB
	133,0 dB SPL	132,7 dB SPL	-0,3 dB	± 1,1 dB	± 0,23 dB

Uma análise quantitativa dos resultados apresentados nas tabelas acima apresentadas, permite concluir que adicionando o valor dos erros obtidos ao valor das respectivas incertezas, todos os resultados se encontram dentro das tolerâncias especificadas na norma IEC61672-1:2002.

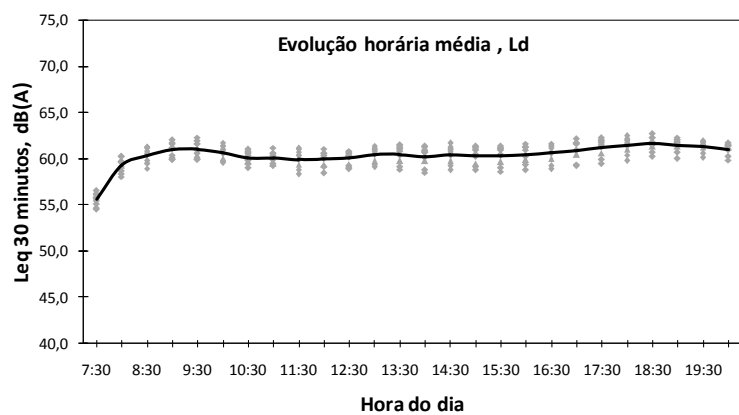
3 Dados experimentais

O sistema descrito encontra-se instalado no edifício da ADAI desde Maio de 2009 [5]. Os dados experimentais, têm sido recolhidos no âmbito de um trabalho que se encontra ainda a decorrer, prevendo-se a sua finalização durante o 1º semestre do ano 2013.

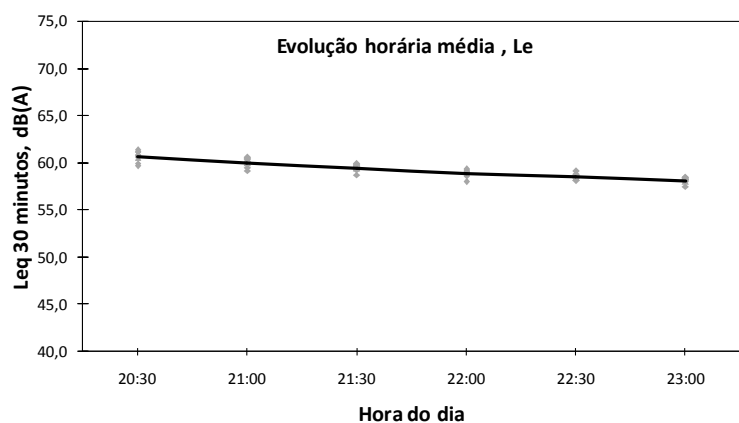
Os dados já recolhidos ao longo dos últimos três anos, após serem devidamente tratados, permitem por exemplo representar a evolução diária, mensal ou anual dos níveis sonoros. A partir destas representações pode-se proceder a vários estudos, por exemplo orientados para a análise das variações temporais e sazonais dos níveis sonoros naquela zona urbana. Para além disso, permite também a análise comparativa das incertezas associadas aos indicadores de ruído obtidos com base em medições de curta duração e ainda o estudo da sensibilidade dos erros relativamente à obtenção dos níveis tendo em conta a duração das medições *versus* o número de medições que são efectuadas num determinado período temporal, que se pretenda caracterizar com base em medições pontuais.

3.1 Evoluções horárias médias, para os períodos diurno, entardecer e nocturno - ano 2010

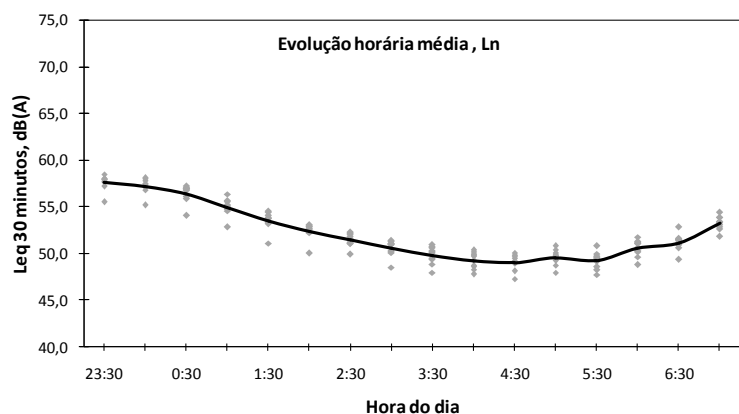
Apresentam-se de seguida alguns resultados obtidos a partir dos dados adquiridos ao longo dos últimos três anos.



a)



b)



c)

Figura 7 – Evolução horária, do ano 2010, nos períodos a) diurno, b) entardecer e c) nocturno.

Nas figuras apresentadas anteriormente, a linha contínua liga os valores das médias do nível equivalente de ruído, calculadas ao longo de todos os dias do ano de 2010, para a hora considerada. Os pontos marcados e representados em cada marca horária representam o as médias mensais, permitindo perceber a variabilidade do nível sonoro ao longo de todos os meses ao longo do ano considerado.

3.2 *Evolução mensal média para os períodos diurno, entardecer e nocturno, considerando os anos 2009, 2010 e 2011.*

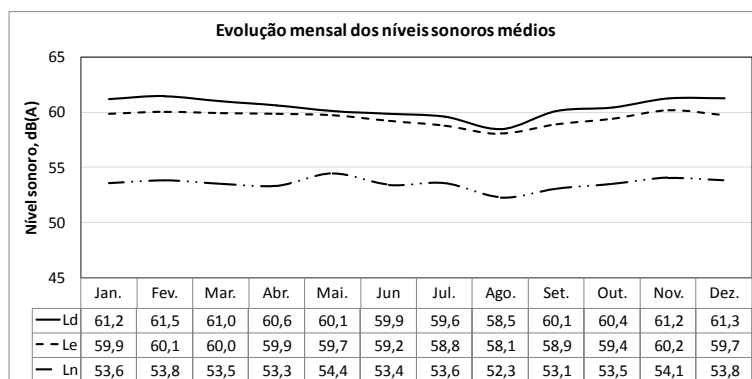


Figura 8 – Evolução mensal média dos níveis sonoros médios nos três períodos de referência (diurno: linha a cheio; entardecer: linha tracejada; nocturno: linha a traço ponto)

Na figura 8, cujos resultados reflectem os dados acumulados durante os anos de 2009, 2010 e 2011, é possível identificar o padrão da sazonalidade anual dos níveis de ruído da zona. Os períodos diurnos nos meses de Verão mostram alguma tendência a ser menos ruidosos que os restantes meses do ano. Por outro lado, os períodos nocturnos do mês de Maio têm notória tendência a ser mais elevados, comparativamente aos restantes meses, em consequência da ocorrência das festividades académicas anuais que ocorrem na cidade.

3.3 *Evolução média do nível sonoro médio de longa duração, considerando os anos 2009, 2010 e 2011.*

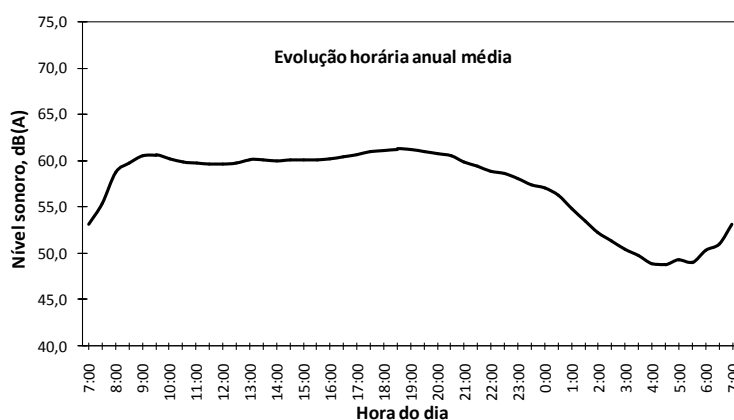


Figura 9 – Evolução horária da média anual do nível sonoro ao longo do período de 24h.

A figura 9 corresponde à reconstituição da evolução diária do nível sonoro, tendo sido considerados todos valores horários, diários, ao longo dos anos 2009, 2010 e 2011.

Na figura 10 representa-se a dispersão dos valores de nível sonoro horário, registados diariamente ao longo do mesmo período.

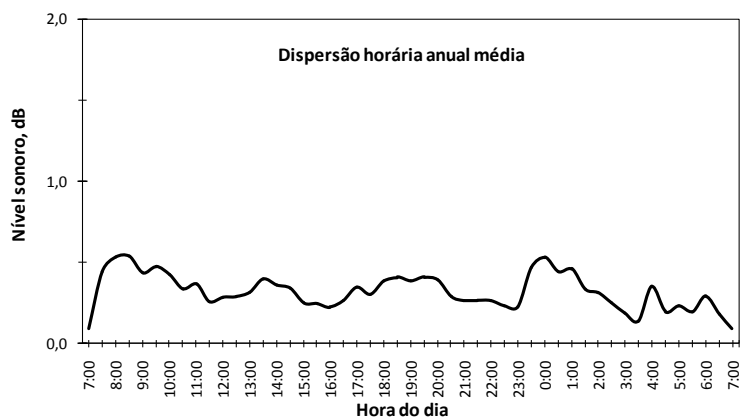


Figura 10 – Dispersão horária média anual do nível sonoro.

4 Conclusões

O sistema implementado, que tem um custo reduzido, quando comparado com os sistemas disponíveis no mercado, evidenciou possuir características metrológicas que cumprem as exigências colocadas aos sonómetros integradores e aos analisadores de frequência, de classe I de precisão. Considerando o seu funcionamento ininterrupto desde Maio de 2009, o sistema demonstra grande fiabilidade.

O modo e o formato dos ficheiros adquiridos permitem um rápido tratamento dos mesmos, sem necessidade de efectuar conversões para compatibilização dos dados.

Tratando-se de um sistema que foi desenvolvido especificamente para a aquisição de níveis sonoros de longa duração, o facto de se apoiar numa plataforma informática de utilização muito intuitiva, permite adaptá-lo às necessidades de outros trabalhos.

A sua aplicação em contexto real, em medições de longa duração, revelou-se viável e extremamente fiável, tendo sido possível a aquisição de dados que revelam algumas características interessantes no que respeita ao ruído ambiente em contexto urbano.

Referências

- [1] M. C. Gameiro da Silva, “Virtual Laboratories for a Course about Indoor Environmental Quality”, Special Issue of International Journal on Emerging Technologies in Learning, November 2009
- [2] Manuel C. Gameiro da Silva, Mário Mateus, “Desenvolvimento de um conjunto de aplicações computacionais para emulação de equipamentos de medição e análise sonora”, Coimbra, Acústica 2008, 20 a 22 de Outubro de 2008.
- [3] M. C. Gameiro da Silva, *Sound Measuring Virtual Instruments*, International Conference on Remote and Virtual Laboratories (REV 2007), Porto, 23 a 27 de Junho de 2007.

- [4] M. C. Gameiro da Silva “Enhancement of teaching about measurement systems in a graduation course on mechanical engineering”, 5th International Conference on Mechanics and Materials in Design, ,24-26 July 2006, Porto, Portugal.
- [5] Mário Mateus, Manuel C. Gameiro da Silva, “Estudo sobre o factor de correcção acústica nas medições de ruído ambiental com microfone aplicado directamente em elementos de fachada”, Évora, Acústica 2012, 1 a 3 de Outubro de 2012.