

PERCENTAGENS DE EXCEDÊNCIA DO NCA COMO TÉCNICA PARA HIERARQUIZAÇÃO DE AÇÕES PARA CONTROLE DE RUÍDO INDUSTRIAL

Simone Queiroz Silveira (1); Victor Mourthé Valadares (2)

(1) Fonoaudióloga; Arquiteta; Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, simoneqs@yahoo.com.br

(2) MSc, Professor do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, vmares@terra.com.br
Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo,
Laboratório de Conforto Ambiental, Belo Horizonte-MG, 30.130-140, Tel.: (31) 3409-8823

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma técnica complementar útil ao diagnóstico da atmosfera acústica de ambientes industriais. A avaliação da poluição acústica nesses ambientes é feita, convencionalmente, pela comparação de um descritor acústico (DA) medido em campo (L_{AeqT} , por exemplo), com um nível de critério de avaliação (NCA, pela nomenclatura da NBR 10.151). Além da informação de que o descritor acústico excede o critério ($DA > NCA$), indicando poluição acústica, convém identificar também a porcentagem de tempo em que o valor do NCA foi excedido, através da distribuição de frequência relativa acumulada dos níveis de pressão acústica amostrados, ou seja, associar o valor de NCA ao percentil “N” pelo descritor $L_N = NCA$. Embora isto não seja um recurso de análise usual nos diagnósticos de atmosferas acústicas industriais, esta informação é útil para definição da ordem de prioridade das medidas de controle de ruído e sua distribuição no cronograma de ações nos postos de trabalho em situações de exposições acústicas críticas para atender as exigências do Ministério do Trabalho. A aplicação desse recurso, aqui denominado de técnica “ $L_N = NCA$ ” será exemplificado por um estudo de caso. A técnica em evidência também pode ser aplicada na análise da poluição acústica de uma forma geral, não restrita a ambientes industriais.

Palavras-chave: mapeamento de ruído, ruído ocupacional, poluição acústica, descritores acústicos

ABSTRACT

This paper shows a complementary technique to be applied on basic acoustical atmosphere diagnosis in industrial environments. It is used to develop a noise pollution evaluation in industrial environments by comparison between a specific acoustical descriptor (AD) measured in field (L_{AeqT} , for instance) and its respective level criteria (L_C , in general). Further on verify the exceeded criteria, it must be established how long that level criteria was exceed. So the idea about the time excess level criteria, from a cumulative distribution of relative statistical frequency of acoustical pressure levels is introduced. The noise criteria (L_C) is associated to a specific percentile value “N” of L_N acoustical descriptor : the L_C was exceed in a percentage of the time observation on an acoustical pressure levels surveys. This information gives a support to establish a schedule to noise control, specifying actions in a short, medium and long term. A case study was presented as an example to apply the technique here suggested, which can be applied to noise pollution analysis in a general way, beyond the industrial environments.

Keywords: Noise map, occupational noise, noise pollution, industrial noise, acoustical descriptors.

1. INTRODUÇÃO

Um diagnóstico convencional da atmosfera acústica industrial usualmente integra um conjunto de atividades no contexto do programa de conservação da audição (PCA) em ambiente laboral. GERGES (1992; 2000) apresentou um esquema de estruturação de um PCA, recuperado na Figura 1. Entre os primeiros passos da avaliação do ruído está o seu mapeamento, pelo qual são identificadas áreas de risco. As metas de redução da exposição ao ruído requerem medidas de controle de emissão e imissão acústicas. Para emissão, o controle centra-se na fonte e no caminho de transmissão. Para imissão, o controle atua no nível das pessoas, envolvendo as envoltórias de ambientes, rotatividade ocupacional, construção de refúgios de alívio temporário de exposição ao ruído e a proteção auricular. Para incentivar a mudança de comportamento para preservação da audição, as atividades de educação, supervisão e treinamento, assim como a audiometria são um conjunto de ações necessárias. Na medida do possível, linhas de produção antigas e ruidosas devem ser adaptadas ou substituídas para atender exigências ergonômicas do ambiente laboral (NR15 e NR17). A definição da ordem de prioridade de medidas de controle de ruído é necessária para elaboração do cronograma de ações, entre áreas, processos e equipamentos industriais de forma hierarquizada, orientando a aplicação de investimentos no curto, médio e longo prazo pela empresa. Aqui reside a motivação do desenvolvimento deste artigo.

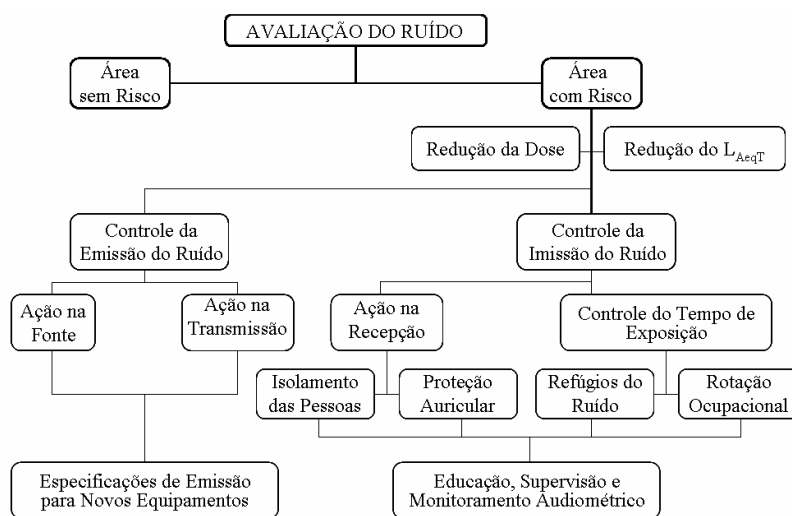


Figura 1 – Diagrama da estratégia de um PCA (adaptado de GERGES, 2000).

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é a proposição de uma técnica para priorização de áreas, processos e equipamentos industriais a serem submetidas a ações de controle de ruído baseada na identificação da porcentagem de tempo em que o nível de critério de avaliação (NCA) foi excedido durante o período de monitoramento dos níveis de pressão acústica, através da distribuição de frequência relativa acumulada (DFRA). Isso requer associar ao NCA um percentil “N” da referida DFRA, fazendo-se a correspondência $L_N = NCA$ por área, processo industrial ou equipamento industrial. Desta identificação, essas áreas, processos e equipamentos ruidosos podem ser comparados entre si, especialmente aqueles que apresentaram o mesmo desnível entre o descritor acústico e o NCA.

3. METODOLOGIA

Usualmente, o descritor L_N tem sido utilizado em acústica para determinar os valores de L_{10} , que representa níveis acústicos mais elevados da atmosfera acústica considerada, frequentemente associado ao ruído de tráfego quando é avaliado o ruído urbano em grandes cidades, especialmente aquelas de perfil metropolitano; L_{50} , substituído pelo $L_{Aeq,T}$ e que representa os níveis acústicos médios da atmosfera acústica; e L_{90} , que representa os níveis acústicos mais baixos da atmosfera acústica observada, normalmente referindo-se ao ruído ambiente do local (L_{RA}). Algumas sugestões de avaliação do impacto do ruído ambiental nas pessoas, como o índice de ruído de tráfego (TNI) ou mesmo o nível de poluição sonora (L_{NP}), por exemplo, utilizam a diferença “ $L_{10} - L_{90}$ ” em sua definição, indicada como o clima acústico de um ambiente (ALEXANDER, 1975; GERGES, 2000; BISTAFA, 2006). Neste trabalho é sugerida a aplicação do descritor acústico L_N na avaliação da excedência do NCA, através da técnica “ $L_N = NCA$ ” aplicável também na análise da poluição acústica em geral, não restrita aos ambientes industriais.

Inicialmente e de forma geral, será apresentada a base de informação necessária para o uso da técnica “ $L_N = NCA$ ” na análise de poluição acústica de ambientes submetidos a um diagnóstico acústico. Estabelecido o programa de amostragem dos níveis de pressão acústica e uma vez coletado os dados de níveis de pressão acústica (L_{AF}), esses devem ser tratados por recursos da estatística descritiva (HOEL, 1969), procedendo-se a determinação dos intervalos de classe, pontos de classe, distribuição de frequência de ocorrência e distribuição de frequência de ocorrência acumulada “acima de”, ambos em valores absolutos e percentuais (SPIEGEL, 1993). A Tabela 1 exemplifica uma sinopse desse procedimento, ausentes em um medidor de nível de pressão acústica básico, mas presentes em analisadores de ruído mais sofisticados.

Tabela 1 – Dados de níveis de pressão acústica amostrados a cada 5 segundos durante 6 minutos de medição e seu tratamento ¹

Sequência	L_{AF} ²	LC_I ³	LC_S ⁴	PC ⁵	DF ⁶	DFR ⁷	$DF^*10^{(PC/10)}$	DFA ⁸	DFRA ⁹
Amostragem	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[N]	[%]	[N]	[N]	[%]
1	49,7	30	32	31	0	0	0	0	100,0
2	75,9	32	34	33	0	0	0	0	100
3	69,8	34	36	35	0	0	0	0	100
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
8	51,6	44	46	45	0	0	0	0	100,0
9	56,6	46	48	47	3	4,1666667	150356,17	0	100,0
10	61,2	48	50	49	5	6,9444444	397164,12	3	95,8
11	56,8	50	52	51	10	13,888889	1258925,4	8	88,9
12	55,8	52	54	53	9	12,5	1795736,1	18	75,0
13	59,0	54	56	55	11	15,277778	3478505,4	27	62,5
14	49,1	56	58	57	7	9,7222222	3508310,6	38	47,2
15	58,5	58	60	59	12	16,666667	9531938,8	45	37,5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
48	54,1	124	126	125	0	0	0	72	0,0
49	54,5	126	128	127	0	0	0	72	0,0
50	49,4	128	130	129	0	0	0	72	0,0
⋮	⋮	–	–	–	–	–	–	–	–
70	56,8	–	–	–	–	–	–	–	–
71	52,1	–	–	–	–	–	–	–	–
72	62,0	–	–	–	–	–	–	–	–

1 – esta tabela foi elaborada para aplicação na disciplina TAU 018 – Conforto Acústico nos Edifícios e na Cidade, do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Arquitetura da UFMG; 2 – nível de pressão acústica instantâneo ponderado na curva “A” e tempo de resposta rápida; 3 – limite de classe inferior; 4 – limite de classe superior; 5 – ponto de classe; 6 – distribuição de frequência; 7 – distribuição de frequência relativa; 8 – distribuição de frequência acumulada; 9 – distribuição de frequência relativa acumulada “acima de”.

Na Tabela 1, a primeira coluna apresenta o ordenamento de uma amostragem, com valores de L_{AF} dispostos sequencialmente na segunda coluna. Na terceira e quarta coluna constam os valores de LC_I e LC_S para classificação estatística, cujo PC está indicado na quarta coluna. Na quinta coluna consta a ocorrência de valores de L_{AF} no intervalo [LC_I ; LC_S], denominado distribuição de frequência (SPIEGEL, 1993). Este valor é transformado em porcentagem, através do DFR na sétima coluna (SPIEGEL, 1993). A oitava coluna prepara os dados para uma estimativa do L_{AeqT} baseados na DFR (BISTAFA, 2006). A nona coluna acumula os valores no sentido ascendente dos intervalos de classe e a décima coluna apresenta a acumulação da coluna anterior em percentagens (SPIEGEL, 1993). Associando valores de PC (colunas 5) com os de DFRA (coluna 10) podem ser obtidos os valores do décimo, quinquagésimo e novagésimo percentis, por exemplo (L_{AF10} , L_{AF50} e L_{AF90} , respectivamente). Os níveis de pressão acústica referenciados a esses percentis podem ser estimados através de uma interpolação simples, quando tais percentis não constam explicitamente na seqüência de valores de DRFA, como é o caso da Tabela 1, para os percentis 10, 50 e 90 comumente usados. Pela Equação 1 faz-se a interpolação para se obter um valor de L_N referente a um determinado percentil N. Na seqüência consta a Equação 2 a partir da qual pode-se estimar o valor do percentil “N” correspondente ao NCA, para que seja aplicada a técnica “ $L_N = NCA$ ” objeto de foco deste trabalho como recurso adicional para orientar a hierarquização das ações de medidas de controle de ruído. Da Tabela 1 também são obtidos L_{AFmax} e L_{AFmin} dos L_{AF} amostrados.

$$L_{AFN} = L_{AF(NS)} + [(L_{AF(NI)} - L_{AF(NS)}) \cdot (N - N_i) / (N_s - N_i)] \quad [1]$$

L_{AFN} : nível não explícito de pressão acústica referente ao N – ésimio percentil de interesse da DFRA não explícito.

$L_{AF(NS)}$: nível explícito de pressão acústica referente ao N_s , percentil da DFRA imediatamente superior ao nível de interesse não explícito

$L_{AF(NI)}$: nível explícito de pressão acústica referente ao N_i , percentil da DFRA imediatamente inferior ao nível de interesse não explícito

N : percentil de interesse não explícito na DFRA (1,2,.. 100)

N_i : percentil imediatamente inferior àquele de interesse da DFRA (< N)

N_s : percentil imediatamente superior àquele de interesse da DFRA (> N)

$$N = N_s - [(L_{AF(NS)} - NCA) \cdot (N_s - N_i) / (L_{AF(NS)} - L_{AF(NI)})] \quad [2]$$

N : percentil de interesse não explícito na DFRA, referente ao NCA

$L_{AF(NS)}$: nível explícito de pressão acústica referente ao respectivo N_s percentil da DFRA, imediatamente superior ao NCA

$L_{AF(NI)}$: nível explícito de pressão acústica referente ao respectivo N_i percentil da DFRA, imediatamente inferior ao NCA

NCA: nível de critério de avaliação em foco

N_i : percentil imediatamente inferior àquele de interesse não explícito da DFRA (< N)

N_s : percentil imediatamente superior àquele de interesse não explícito da DFRA (> N)

A Equação 2 é um recurso mais preciso de se obter o percentil “N” correspondente ao NCA, do que sua a leitura direta no gráfico da DFRA que consta na Figura 2, referente à Tabela 1. Neste gráfico, a linha a linha vertical faz referência para um NCA = 50 dB(A) no eixo das abscissas, referente a uma determinada recomendação da NR 17 para um tipo de ambiente. A linha horizontal passando pela intercessão da curva DFRA com a reta vertical referente ao NCA, determina o percentil N no eixo da ordenadas do gráfico. Com base nos dados da Tabela 1, considerando $L_{AF(NS)} = 49$ dB, $L_{AF(NI)} = 51$ dB, $N_s = 95,8\%$ e $N_i = 88,9$, .obtem-se $N = 92,4\%$ ou $L_{92,4} = NCA$. Assim, o NCA foi excedido em 92,4% do tempo de caracterização da atmosfera acústica objeto de avaliação.

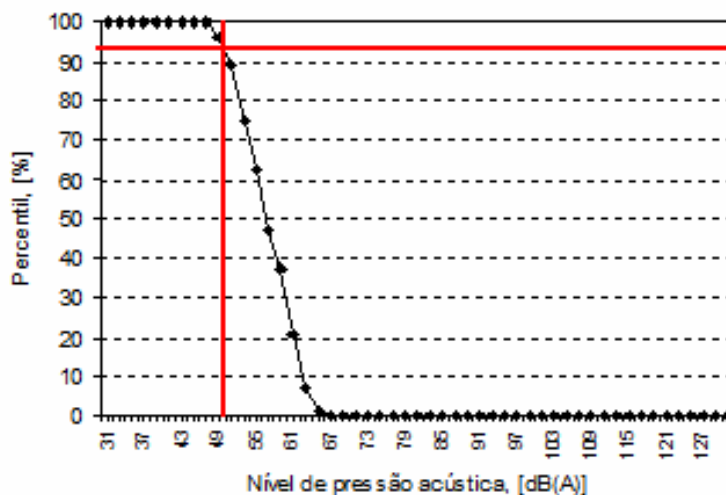


Figura 2 – Gráfico de DFRA para determinação do percentil N associado ao NCA (Fonte: adaptado da base de dados do autor).

Pela aplicação da técnica “ $L_N = NCA$ ”, adquire-se uma informação útil sobre a atmosfera acústica da empresa que deve estar presente no elenco de informações necessárias para um diagnóstico consistente de ruído ambiental de uma área objeto de avaliação no contexto de um PCA. Integrando a referida técnica em diagnósticos de ruído ambiental dessa natureza, obtém-se uma base de dados da qual pode-se determinar e/ou gerar:

- (a) descritores acústicos (DA) básicos, L_{AFmax} , L_{AF10} , L_{AeqT} , L_{AF90} e L_{AFmin} , em termos das médias espaço-temporal em valores globais, assim como a Dose de Ruído (D), o desvio padrão “s” que informam sobre a variação das magnitudes, a condição da exposição acústica pessoal do trabalhador e dispersão de L_{AF} em relação ao valor médio, apresentando uma noção do clima acústico e possibilitando o cálculo de alguns índices acústicos (IA) ou DA complementares de avaliação (L_{NP} , por exemplo). Valores de DA podem ser apresentados em tabela, gráficos ou mapas acústicos;
- (b) desníveis acústicos ou diferenças de nível acústico, Δ ou L_D , respectivamente, para se determinar a magnitude de excedência do NCA pelo descritor acústico considerado, DA – NCA, sendo que valores positivos indicam poluição acústica presente e, valores negativos, ausente;
- (c) tabelas e/ou gráficos das distribuições estatísticas de frequência acumulada “acima de”, como pré-requisito da aplicação da técnica $L_N = NCA$;
- (d) os percentis “N” do descritor $L_N = NCA$, para cada área, identificando o período de tempo em que certo DA excedeu o NCA, utilizando a Equação 2;
- (e) gráficos da média espaço-temporal de certo DA (L_{AFmax} e L_{AeqT} , por exemplo), em 1/3 de oitava no intervalo espectral [31,5Hz;10 kHz], para identificar o perfil espectral do ruído, que auxilia na orientação da seleção de técnicas de controle de ruído passivas, resistivas ou ativas;

Usualmente, nos arquivos das empresas, constam relatórios solicitados ou elaborados pela Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA) com as informações (a) e (b) apenas. Uma vez obtidas as informações de (b) e (d) identificando poluição acústica, sugere-se uma estimativa do seu grau a partir de avaliação baseada nos seguintes parâmetros:

- (a) magnitude de excedência (ME), ou seja $ME = (DA - NCA)$, que pode ser classificada em Branda (B), quando $ME \leq 5dB(A)$; Razoável (R), quando $5dB(A) < ME \leq 10dB(A)$; Notável (C), quando $10dB(A) < ME \leq 15dB(A)$ e Elevada, quando $ME \geq 15 dB(A)$;
- (b) extensão da excedência (EE), ou seja $EE = N$, extraído da técnica $L_N = NCA$, que pode ser classificada em, Curta (C) quando $50\% < N \leq 65\% dB(A)$; Pequena, (P), quando $65\%dB(A) < N \leq 80\%$; Grande (G), quando para $80\% < N \leq 95\%$ e, Longa (L) quando $N \geq 95\%$.

Pelo Quadro 1, pode-se proceder à combinação dos parâmetros ME e EE para identificar a classe da poluição acústica (de A até D) e a sua gradação (de 1 até 4), dentro conjunto das 16 combinações possíveis sugeridas. Pela aplicação da técnica “ $L_N = NCA$ ”, foco deste trabalho, e a determinação da gradação distinta em uma classe de poluição comum entre duas áreas da empresa, é possível identificar qual delas tem prioridade para a ações de controle de ruído. A definição da prioridade nas ações de controle de ruído, pode ainda levar em conta outros aspectos, como a densidade de ocupação de cada área, entre outros que não foram abordados neste trabalho.

Quadro 1 – Avaliação da poluição acústica por classificação baseada nos parâmetros magnitude e extensão de excedência

Avaliação do Grau da Poluição Acústica		Magnitude de Excedência (ME)							
		Branda (B)		Razoável (R)		Notável (N)		Elevada (E)	
Extensão de Excedência (EE)	Curta (C)	() BC	D1	() RC	C1	() NC	B1	() EC	A1
	Pequena (P)	() BP	D2	() RP	C2	() NP	B2	() EP	A2
	Grande (G)	() BG	D3	() RG	C3	() NG	B3	() EG	A3
	Longa (L)	() BL	D4	() RL	C4	() NL	B4	() EL	A4
Classificação da Poluição		Classe D		Classe C		Classe B		Classe A	

Uma vez determinado o grau da poluição acústica a partir de uma das opções do Quadro 1, para se proceder a uma avaliação do impacto da poluição acústica sobre as pessoas a ela exposta, como sugere a NBR 7731, é essencial que o todo o elenco de informações acima listadas seja conhecido.

4. ESTUDO DE CASO

Para ilustrar a aplicação da técnica “ $L_N = NCA$ ” na priorização das ações em controle de ruído industrial, foi realizado um estudo de caso numa empresa do distrito industrial de Contagem – MG, na Região Metropolitana de Belo Horizonte.

4.1. Descritores acústicos (DA) básicos

O Quadro 2 apresenta a relação das áreas cujas atmosferas acústicas foram pesquisadas, por unidade empresarial (matriz ou filial) em três dias de levantamentos acústicos (19, 21 e 28/05/2008). Valores médios espaço-temporais dos descritores L_{AFmax} , L_{AF10} , L_{AeqT} , L_{AF90} e L_{AFmin} , por áreas das unidades da empresa, estão na Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4. As células negras indicam valores $L_{AeqT} \geq NCA$, com $NCA = 80$ dB(A) para critério mais restritivo e $NCA = 85$ dB(A) para critério menos restritivo em chão de fábrica.

Quadro 2 – Relação das áreas da empresa investigadas.

Unidade	Dia	Áreas na Empresa												
		ALM1 ¹	ALM 2 ²	TRANS ³	SLD ⁴	DPSA ⁵	FAFLU ⁶	EMS ⁷	OMEF ⁸	CARP ⁹	EPMS ¹⁰	DERE ¹¹	–	–
Matriz	19	ALM1 ¹	ALM 2 ²	TRANS ³	SLD ⁴	DPSA ⁵	FAFLU ⁶	EMS ⁷	OMEF ⁸	CARP ⁹	EPMS ¹⁰	DERE ¹¹	–	–
	21	ESAR ¹²	SPESE ¹³	MISU ¹⁴	EMBA ¹⁵	DEPLA ¹⁶	EPAM ¹⁷	ETO ¹⁸	FAMAQ ¹⁹	SECS ²⁰	BOBIN ²¹	SERP ²²	PIN ²³	GARE ²⁴
Filial	28	FATU ²⁵	BFATU ²⁶	FPAD ²⁷	COPLA ²⁸	CALDE ²⁹	EXCAL ³⁰	MLOG2 ³¹	MLOG1 ³²	DAC ³³	–	–	–	–

1. ALM 1 – Depósito de Produto Acabado, de Arames Tubulares e Fluxos; 2. ALM 2 – Depósito Matéria Prima de Máquinas; 3. TRANS – Transição entre Almoarifados 1 e 2; 4. SLD – Sala de Solda; 5. DPSA – Depósito de Produto Semi-Acabado; 6. FAFLU – Fábrica de Fluxo; 7. EMS – Exaustor Mistura Seca; 8. OMEF – Oficina Manutenção/Exaustor de Fluxo; 9. CARP – Carpintaria; 10. EPMS – Estocagem de Pós e Mistura Seca; 11. DERE – Depósito Resíduos; 12. ESAR – Estocagem Arames; 13. SPESE – Setor de Prensagem Eletrodos/Secagem/Embalagem; 14. MISU – Mistura Seca / Mistura Úmida; 15. EMBA – Embalagem; 16. DEPLA – Depósito de Latas; 17. EPAM – Expedição e Produto Acabado de Arames e Máquinas; 18. ETO – Expedição e Tornearia; 19. FAMAQ – Fábrica de Máquinas; 20. SECS – Setor Corte Silício; 21. BOBIN – Bobinadeiras; 22. SERP – Serralheria Puncionadeiras; 23. PIN – Pintura; 24. GARE – Galpão de Resíduos; 25. FATU – Fábrica de Arames Tubulares; 26. BFATU – Bobinadeiras da Fábrica de Arames Tubulares; 27. FPAD – Fábrica de Placas Anti-Desgaste; 28. COPLA – Corte a Plasma; 29. CALDE – Calderaria; 30. EXCAL – Extensão da Calderaria; 31. MLOG 2 – Movimentação Logística 2; 32. MLOG 1 – Movimentação Logística 1; 33. DAC – Depósito e Automação e Corte.

Tabela 2 – Descritores acústicos por área da unidade matriz (19/05/2008), valores em [dB]

Descritor	Áreas na Unidade Matriz da Empresa												
	ALM1 ¹	ALM 2 ²	TRANS ³	SLD ⁴	DPSA ⁵	FAFLU ⁶	EMS ⁷	OMEF ⁸	CARP ⁹	EPMS ¹⁰	DERE ¹¹	FAMAQ ¹⁹	SPESE ¹³
LAFmin	52	57	66	83	72	83	86	83	77	71	65	59	62
LAF90	53	58	67	84	73	84	87	84	78	72	66	60	63
L_{AeqT}	54	62	69	85	73	85	87	87	85	76	67	63*	65*
LAF10	54	63	71	85	74	86	87	88	87	77	67	65	66
LAFmax	56	70	73	87	75	88	88	89	92	82	68	71	69

1. ALM 1 – Depósito de Produto Acabado, de Arames Tubulares e Fluxos; 2. ALM 2 – Depósito Matéria Prima de Máquinas; 3. TRANS – Transição entre Almoarifados 1 e 2; 4. SLD – Sala de Solda; 5. DPSA – Depósito de Produto Semi-Acabado; 6. FAFLU – Fábrica de Fluxo; 7. EMS – Exaustor Mistura Seca; 8. OMEF – Oficina Manutenção/Exaustor de Fluxo; 9. CARP – Carpintaria; 10. EPMS – Estocagem de Pós e Mistura Seca; 11. DERE – Depósito Resíduos; 12. ESC 1 / FAMAQ – Escritório Fábrica de Máquinas 13. ESC 2 / SPESE – Escritório Setor de Prensagem Eletrodos/Secagem/Embalagem; * Em escritório, 30dB(A) < NCA < 60dB(A) dependendo do local

Tabela 3 – Descritores acústicos por área da unidade matriz (21/05/2008), valores em [dB]

Descritor	Áreas na Unidade Matriz da Empresa												
	ESAR ¹²	SPESE ¹³	MISU ¹⁴	EMBA ¹⁵	DEPLA ¹⁶	EPAM ¹⁷	ETO ¹⁸	FAMAQ ¹⁹	SECS ²⁰	BOBIN ²¹	SERP ²²	PIN ²³	GARE ²⁴
LAFmin	81	86	80	80	60	67	77	72	90	73	77	75	64
LAF90	82	86	80	81	61	68	79	73	91	74	78	75	66
L_{AeqT}	85	88	82	83	63	72	80	77	93	78	83	79	72
LAF10	86	89	82	84	65	74	81	80	94	80	86	80	75
LAFmax	92	91	87	88	70	81	85	83	95	85	92	85	80

12. ESAR – Estocagem Arames; 13. SPESE – Setor de Prensagem Eletrodos/Secagem/Embalagem; 14. MISU – Mistura Seca / Mistura Úmida; 15. EMBA – Embalagem; 16. DEPLA – Depósito de Latas; 17. EPAM – Expedição e Produto Acabado de Arames e Máquinas; 18. ETO – Expedição e Tornearia; 19. FAMAQ – Fábrica de Máquinas; 20. SECS – Setor Corte Silício; 21. BOBIN – Bobinadeiras; 22. SERP – Serralheria / Puncionadeiras; 23. PIN – Pintura; 24. Galpão de Resíduos.

Tabela 4 – Descritores acústicos por área da unidade filial (28/05/2008), valores em [dB]

Descritor	Áreas na Unidade Filial da Empresa										
	FATU ²⁵	BFATU ²⁶	FPAD ²⁷	COPLA ²⁸	CALDE ²⁹	EXCAL ³⁰	MLOG2 ³¹	MLOG1 ³²	DAC ³³	FATU ²⁵	
LAFmin	90	83	84	85	84	91	78	71	71	70	
LAF90	90	83	85	86	85	92	84	72	54	71	
L_{AeqT}	91	84	86	89	88	94	92	74	57	72*	
LAF10	92	85	87	91	89	95	95	76	63	74	
LAFmax	92	86	91	95	92	97	93	78	66	78	

25. FATU – Fábrica de Arames Tubulares; 26. BFATU – Bobinadeiras da Fábrica de Arames Tubulares; 27. FPAD – Fábrica de Placas Anti-Desgaste; 28. COPLA – Corte a Plasma; 29. CALDE – Calderaria; 30. EXCAL – Extensão da Calderaria; 31. MLOG 2 – Movimentação Logística 2; 32. MLOG 1 – Movimentação Logística 1; 33. DAC – Depósito e Automação e Corte; * Em escritório, 30 dB(A) < NCA < 60 dB(A) dependendo do local.

4.2. Distribuições de frequência relativa acumulada (DRFA) e percentil N relativo ao NCA

Dados de DFRA para os levantamentos dos dias 19, 21 e 28/05/08 estão na Figura 3, Figura 4 e Figura 5, com correspondência entre NCA e N na Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7, respectivamente

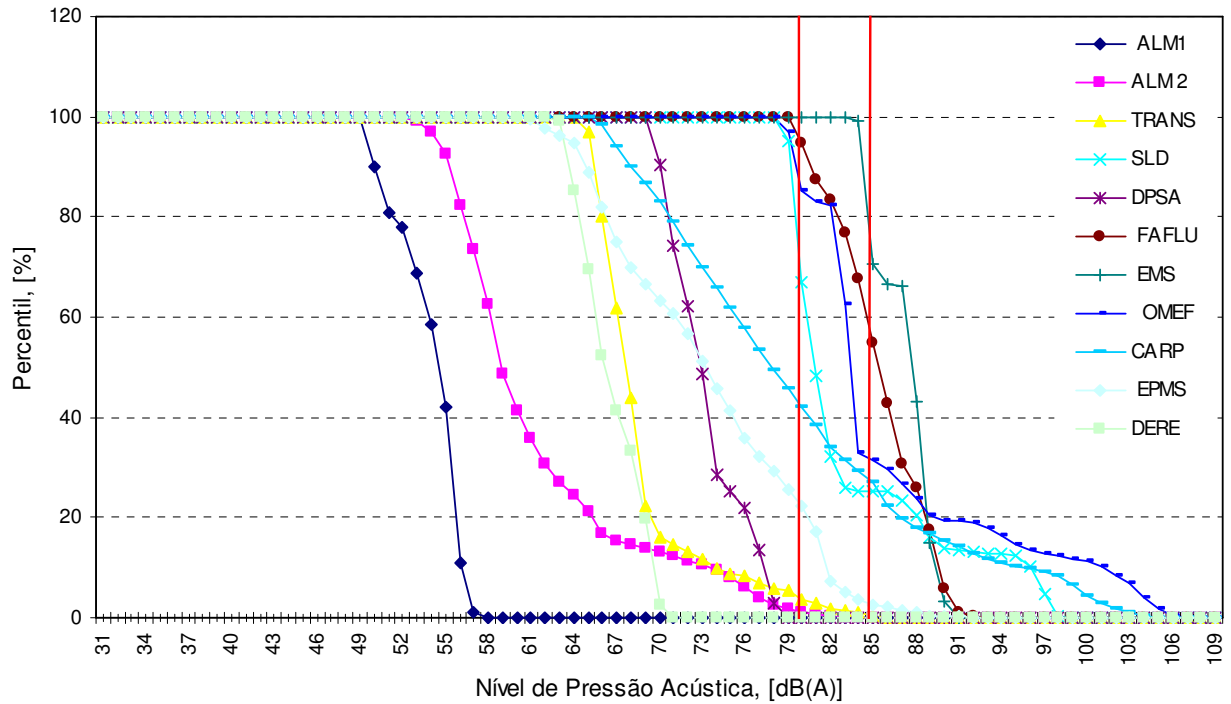


Figura 3 – Gráfico de DFRA (matriz, 19/05/2008) com linha vertical à esquerda para NCA = 80 dB(A) e, à direita, para NCA = 85 dB(A).

Tabela 5 – Percentis relativos aos $L_{N1}=80$ dB(A) e $L_{N2}=85$ dB(A) na Unidade Matriz (19/05/2008)

DFRA – Figura 3	SLD	FAFLU	EMS	OMEF	CARP
N1, [%]	67	95	100	85	42
N2, [%]	25	55	71	32	27

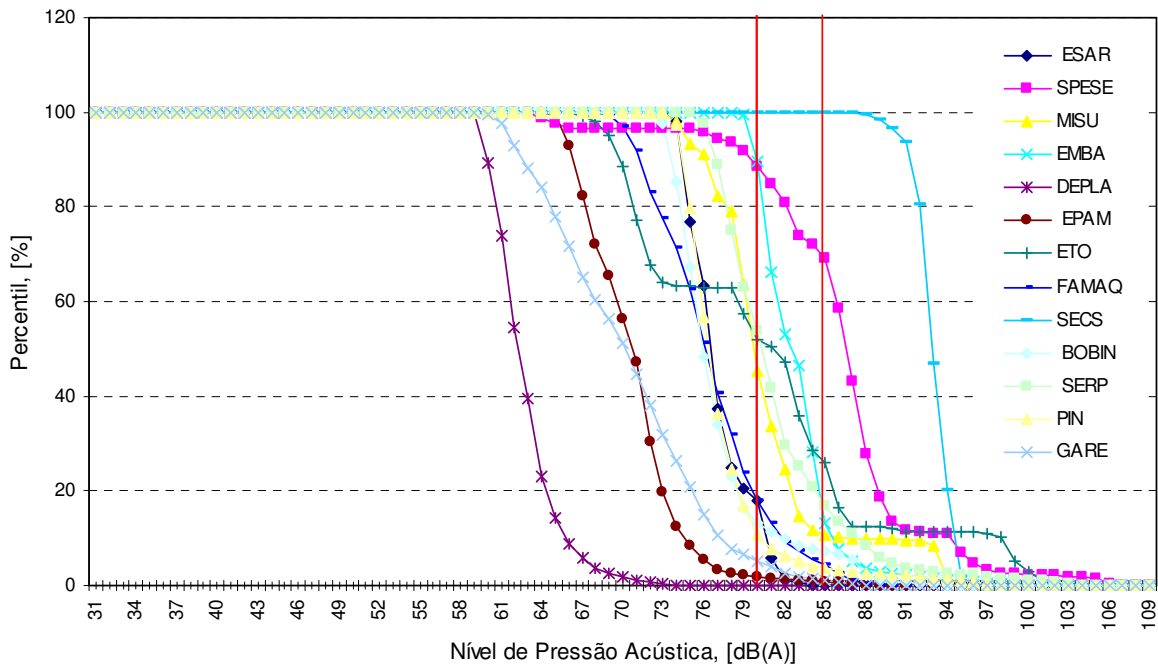


Figura 4 – Gráfico de DFRA (matriz, 21/05/2008) com linha vertical à esquerda para NCA = 80 dB(A) e, à direita, para NCA = 85 dB(A).

Tabela 6 – Percentis relativos ao $L_{N1}=80$ dB(A) e $L_{N2}=85$ dB(A) em áreas na Unidade Matriz (21/05/2008)

DFRA– Figura 4	ESAR	SPESE	MISU	EMBA	ETO	SECS	SERP
N1, [%]	18	89	45	90	52	100	54
N2, [%]	0	69	11	13	26	100	17

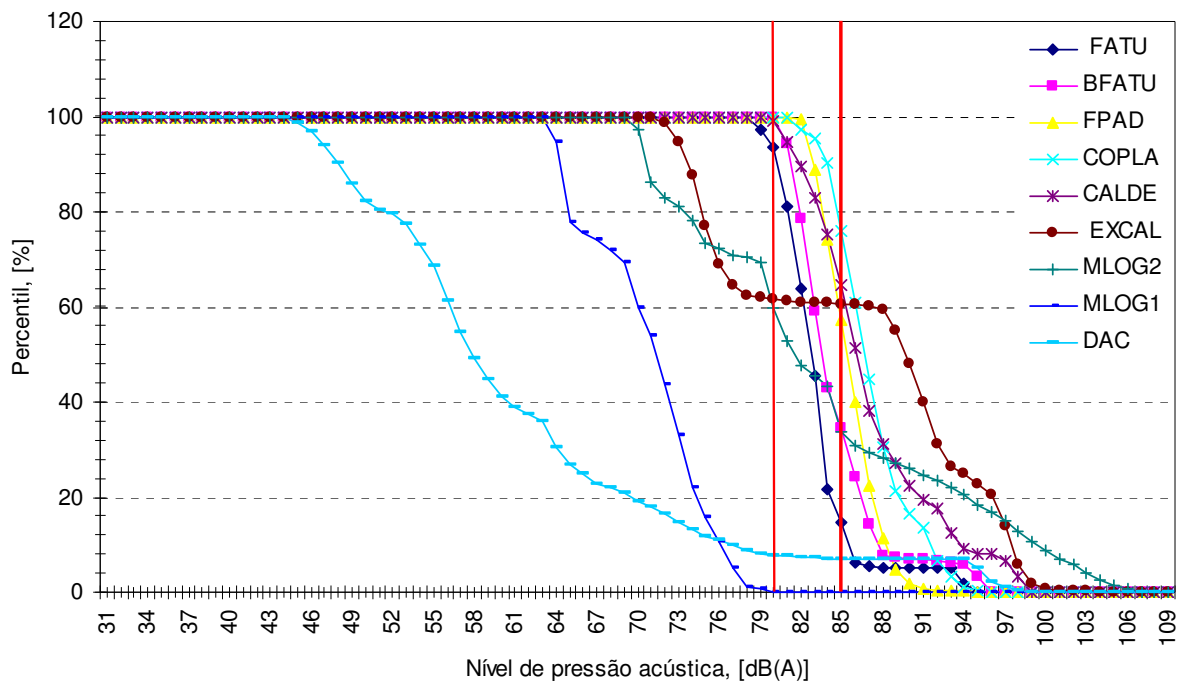


Figura 5 – Gráfico de DFRA (filial, 28/05/2008) com linha vertical à esquerda para NCA = 80 dB(A) e, à direita, para NCA = 85 dB(A).

Tabela 7 – Percentis relativos ao $L_{N1}=80$ dB(A) e $L_{N2}=85$ dB(A) em áreas na Unidade Matriz (21/05/2008)

DFRA- Figura 5	FATU	BFATU	FPAD	COPLA	CALDE	EXCAL	MLOG2
N1, [%]	95	100	100	100	100	60	60
N2, [%]	15	35	60	75	65	60	35

4.3. Dados espectrais de L_{AeqT}

O perfil espectral do L_{LeqT} espacial em terço de oitava no intervalo de 16Hz a 12,5 kHz por áreas das unidades matriz e filial da empresa, estão na Figura 6.

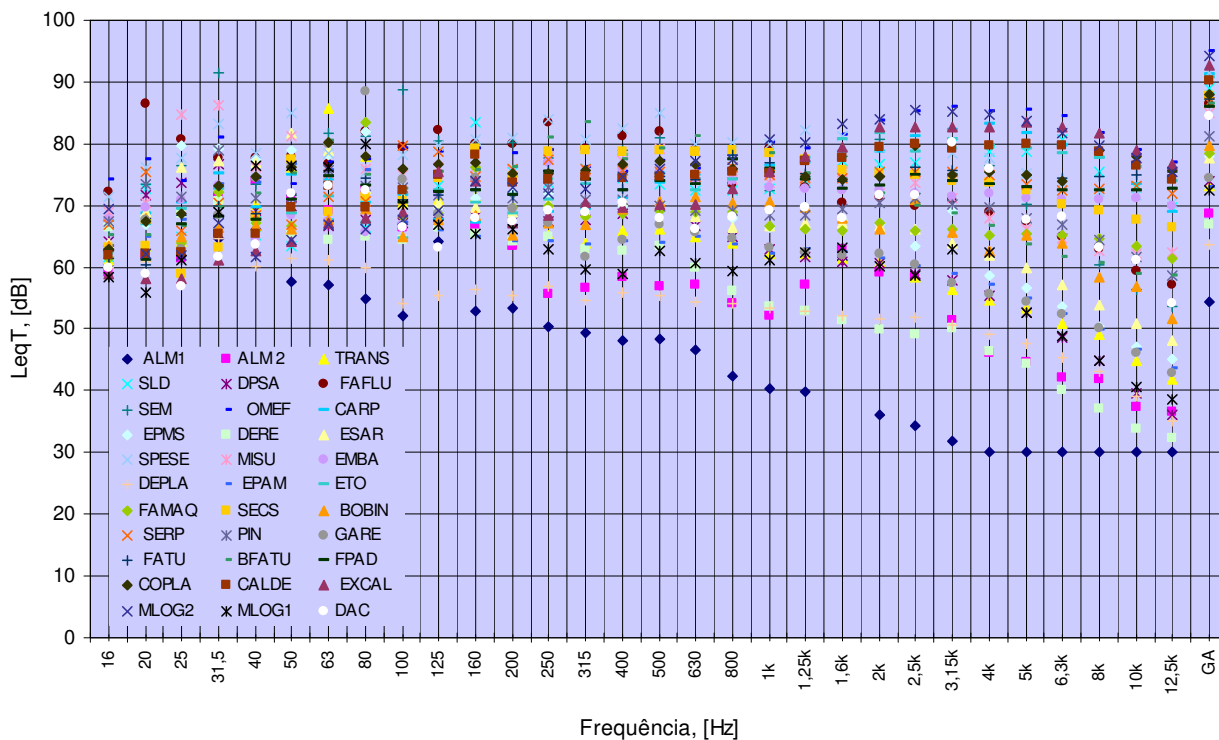
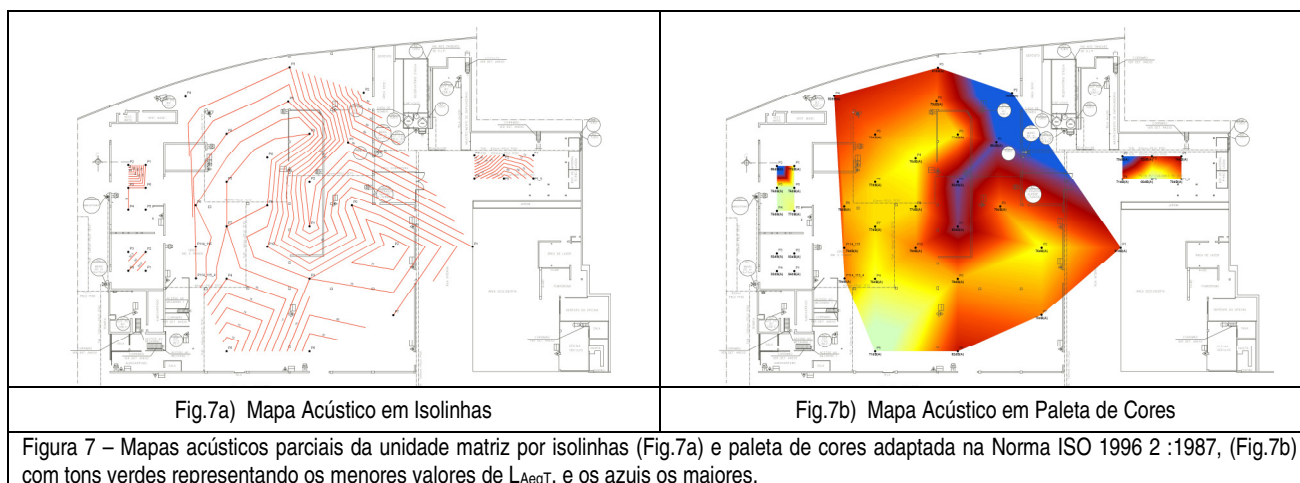


Figura 6 – Gráfico de valores em terços de oitava de L_{AeqT} e globais (G_A) nas áreas selecionadas na empresa.

4.4. Mapas Acústicos

Dois exemplos dos oito mapas acústicos gerados, contendo a distribuição de L_{AeqT} , estão na Figura 7. Na Figura 7a) é representada a atmosfera acústica em isolinhas, enquanto na Figura 7b), há representação em paleta de cores adaptada da norma ISO 1996. Para melhor representar a variabilidade dos níveis acústicos nos mapas de paleta de cores, a escala de cores foi ajustada aos valores máximos e mínimos encontrados em cada ambiente, pois de outra forma não haveria variação de cores, mas apenas variação de saturação de um mesmo matiz.



4.5. Aplicação da técnica “ $L_N = NCA$ ”

Os ambientes EMBA e SERP (Tabela 3 e Tabela 6) foram selecionados para esse exemplo. Em termos de $NCA = 80 \text{ dB(A)}$, critério mais restritivo, ambos apresentam o mesmo valor de magnitude de excedência (ME), ou seja, $L_{AeqT} - NCA_{80 \text{ dB(A)}} = 3 \text{ dB(A)}$. Isso equivale a dizer que, na perspectiva da avaliação do grau da poluição acústica (Quadro 1), ambas as áreas possuem a mesma classe D de poluição branda (ME B), mas com gradação distintas nessa classe, ou seja, em EMBA o percentil $N = 90\%$ relativo ao $NCA_{80 \text{ dB(A)}}$ é maior, evidenciando maior extensão de excedência (EE G) que o percentil $N = 54\%$ relativo ao $NCA_{80 \text{ dB(A)}}$ em SERP (EE C). Desta forma o ambiente EMBA possui o grau de poluição “BG” enquanto o ambiente SERP possui “BC”, sendo classificados, como sugere o Quadro 1, em “D3” e “D1”, respectivamente. Assim, o ambiente EMBA tem prioridade de receber as ações de controle de ruído em suas instalações em relação ao ambiente SERP. Como ambos os ambientes possuem $L_{AeqT} < NCA = 85 \text{ dB(A)}$, não procede a aplicação da técnica nesse caso, pois não há poluição acústica pelo critério menos restritivo.

Um outro exemplo é o caso das áreas SLD, FAFLU e CARP (Tabela 2 e Tabela 5), assim como a área ESAR (Tabela 3 e Tabela 6). Todas elas, em termos de $NCA = 80 \text{ dB(A)}$, critério mais restritivo, apresentam o mesmo valor de magnitude de excedência (ME), ou seja, $L_{AeqT} - NCA_{80 \text{ dB(A)}} = 5 \text{ dB(A)}$. Isso equivale a dizer que, na perspectiva da avaliação do grau da poluição acústica (Quadro 1), todas as áreas possuem a mesma classe D de poluição branda (ME B), mas com gradação distintas nessa classe, ou seja, em SLD o percentil $N = 67\%$ relativo ao $NCA_{80 \text{ dB(A)}}$ evidencia extensão de excedência pequena (EE P); em FAFLU o percentil $N = 95\%$ relativo ao $NCA_{80 \text{ dB(A)}}$ evidencia extensão de excedência grande (EE G); em CARP o percentil $N = 42\%$ relativo ao $NCA_{80 \text{ dB(A)}}$ evidencia extensão de excedência abaixo do intervalo proposto (EE inferior); em ESAR o percentil $N = 18\%$ relativo ao $NCA_{80 \text{ dB(A)}}$ também evidencia extensão de excedência abaixo do intervalo proposto (EE inferior).

Pelo Quadro 1, as áreas CARP e ESAR possuem o menor grau de poluição, classe $D0^1$, entre as áreas consideradas. Porém a área CARP é prioritária em relação à ESAR, pois o percentil $N_{CARP} > N_{ESAR}$. A área SLD possui o grau de poluição “BC”, classe D1, enquanto o ambiente FAFLU possui “BG”, classe D3. Assim, considerando esses ambientes em conjunto, a ordem de prioridade para receber medidas de controle de ruído deve ser: FAFLU, SLD, CARP e ESAR.

¹ Tendo em vista que os valores de N para os ambientes CARP e ESAR foram menores que o limite inferior do intervalo de avaliação da extensão de excedência apresentado na Metodologia, sugere-se que nesses casos a classe seja seguida da gradação “0” (zero).

5. DISCUSSÃO

Tradicionalmente, no campo da acústica ambiental, a utilização do descritor L_N esteve vinculada aos décimo, quinquagésimo e nonagésimo percentis da DFRA de níveis de pressão acústica. A diferença de nível entre L_{10} e L_{90} foi vinculada ao conceito de clima acústico utilizado na determinação de índices acústicos e descritores secundários para avaliação do impacto da poluição acústica sobre as pessoas como apresentado na introdução deste trabalho. Com a sugestão do descritor Leq à comunidade científica e sua aceitação por ela, o descritor L_{50} caiu em desuso. Um aprofundamento sobre a questão desses descritores, dentre outros pode ser feita a partir da bibliografia especializada nesse assunto (ALEXANDER, 1975; REYNOLDS, 1981, BERANEK, 1988; HARRIS, 1990; GERGES, 1992 e 2000; BISTAFA, 2006).

Nesse trabalho, ao ser sugerida a técnica " $L_N = NCA$ ", destaca-se a utilização do descritor L_N de uma nova maneira. Usualmente o percentil N é conhecido a priori para se obter o valor de L_N a partir dele: $L_N = f(N)$, aplicando-se a Equação 1, quando não se dispõe de equipamentos de medição de níveis de pressão acústica que fornecem a DRFA. Neste trabalho sugerimos o uso desse descritor em sentido inverso, ou seja, o L_N é conhecido a priori, consistindo no NCA para o propósito aqui em foco. O valor do percentil N , então, é obtido a partir dele: $N = f(L_N)$, aplicando-se a Equação 2 quando não se dispõe de equipamentos de medição de níveis de pressão acústica que fornecem a DRFA. Dessa maneira, a percentagem de excedência de um critério de qualidade de uma determinada atmosfera acústica é obtida.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho, contextualizado na estratégia do PCA em ambientes industriais, sugeriu a utilização da técnica denominada " $L_N = NCA$ " na avaliação de poluição acústica, baseada numa classificação de ambientes ruidosos através da associação de 4 classes (A, B, C e D), baseadas no conceito de magnitude de excedência (ME), com 4 gradações (1,2,3 e 4), baseadas no conceito de extensão de excedência (EE). Das classes e gradações contidas no Quadro 1, são possíveis 16 combinações para se avaliar o grau de poluição acústica. A proposição da classificação sugerida neste trabalho foi motivada pela constatação de que apenas identificando a presença da poluição acústica, ou seja, a verificação de um descritor acústico (DA) excedendo um nível de critério de avaliação (NCA), desigualdade $DA > NCA$, pode ser insuficiente para orientar a hierarquização de ações para manter a atmosfera acústica das empresas dentro dos padrões da NR 15 e NR 17. É conveniente, portanto, o conhecimento do período de tempo que o NCA foi excedido para fundamentar a elaboração de um cronograma de intervenção contemplando uma escala de prioridade de implementação de medidas de controle de ruído definida com auxílio da aplicação da técnica " $L_N = NCA$ ".

Foi ressaltado que a informação adquirida por esta técnica deve fazer parte de um elenco de informações necessárias à elaboração diagnósticos acústicos consistentes, qual seja: a) um conjunto de descritores acústicos (DA) básicos (L_{AFmax} , L_{AF10} , L_{AeqT} , L_{AF90} e L_{AFmin}); b) diferenças de nível acústico $DA - NCA$ para identificação da presença ou ausência da poluição acústica; c) tabelas e/ou gráficos de DFRA; d) percentis N do descritor " $L_N = NCA$ "; e) espectros de DA (L_{AFmax} e L_{AeqT} , por exemplo) em terços de oitava. Um adequado diagnóstico de ruído ambiental é um recurso básico para atender as exigências do Ministério do Trabalho, em termos de se assegurar um ambiente acusticamente saudável e seguro à vida ocupacional.

7. REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, A. et al. **Road Traffic Noise**. London: Applied Science Publishers, 1975.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI S12.9-1988 **Quantities and Procedures for Description and Measurement of Environmental Sound**, Part 1.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI S12.18-1994. **Procedures for Outdoor Measurement of Sound Pressure Level**.
- BERANEK, L.L. **Noise and Vibration Control**. 2.ed. Washington: INCE, 1988.
- BISTAFA, S. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- GERGES, Samir N.Y. **Ruído: fundamentos e Controle**. 2.ed. Florianópolis: Samir N. Y. Gerges, 2000.
- HARRIS, Cyril M. **Handbook of acoustical measurements and noise control**. New York, 3a Ed., McGraw-Hill, 1991.
- HOEL, Paul G. **Estatística Elementar**. 3ª. Ed. Rio de Janeiro, Editora Fundo de Cultura, 1969.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Níveis de ruído para conforto acústico – NBR 10.152**. Rio de Janeiro, 1987
- MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO – Secretaria de Inspeção do Trabalho. Norma Regulamentadora 15: **Atividades e Operações Insalubres – NR 15**. Portaria no. 3.214 de 8 de jun. 1978. Diário Oficial da União - Suplemento, Brasília, 1978.
- MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA SOCIAL. Norma Regulamentadora 17: **Ergonomia – NR 17**. Portaria no. 3.751 de 23 de nov. 1990. Diário Oficial da União – Seção I, Brasília, 1990.
- REYNOLDS, Douglas D. **Engineering principles of acoustics : noise and vibration control**. Allyn & Bacon inc. Boston, 1981.
- SPIEGEL, Murray R. **Estatística** (Coleção Schaum) 3a. ed. São Paulo: Makron Books, 1993.

8. AGRADECIMENTOS

Este trabalho não seria possível sem a colaboração de diversas pessoas às quais manifestamos aqui nossos sinceros agradecimentos, em especial à SOLUCIONNE TERMO ACÚSTICO DO BRASIL LTDA.