

**Environmental Acoustics and Noise Community:
FIA2016-43****Acoustic mapping in the Institute of Biological
Science from UFMG: Identification of the noise fonts
and sound pressure levels in outdoors areas****Krisdany-Cavalcante, V. S. M.^(a), Macedo, A. M.^(b), Pimentel-Souza, F.^(c),
Resende, F. G. S.^(d), Rezende, V. M.^(e), Poague, K. I. H. M.^(f), Ribeiro, P. V. P.^(g)**^(a) dB Laboratório de Engenharia Acústica, Brasil, krisdany@dbacustica.com.br^(b) Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, andrea@icb.ufmg.br^(c) Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, fernandopimenteldesouza@gmail.com^(d) Centro Universitário de Belo Horizonte (UNI-BH), Brasil, fabyolagleyce@gmail.com^(e) Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, van2012ufmg@gmail.com^(f) Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, poaguek@gmail.com^(g) Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, paulovitorcmt@hotmail.com**Abstract**

This work evaluated the sound pressure levels in external areas inside the Institute of Biological Sciences – ICB on the Federal University of Minas Gerais – UFMG, Pampulha Campus, where students, teachers and employees pass by. The methodology adopted was accorded to the Brazilian standards revision project ABNT NBR 10151 and used Class 1 instrumentation, as accorded with IEC 61672-1, always registering the sound pressure levels in the domain of time and frequency, in bands of 1/3 octaves. The main sources of continuum noise found are related to refrigerators and air conditioning equipment, all located in the laboratories, auditoriums, halls and classrooms. As for the occasional sounds mainly consisted on traffic of heavy vehicles, overflight of aircraft and animal noises. The results were higher than what is recommended for humans. Besides the people who are part of this academic community, ICB has various laboratories with different fauna, also exposed to these noises. This research was motivated by people complaints and uncomfortable impression experienced by the community, which were registered. Also this work could complement further research inside the classrooms, laboratories and auditoriums, all distributed between the four floors from seventeen blocks which constitute the institute. The final results show that there is a demand for solutions in order to achieve the control and suppression of these noise fonts.

Keywords: acoustic map, environmental noise map, noise, sound pressure levels

Mapeamento acústico no Instituto de Ciências Biológicas da UFMG: Identificação das fontes de ruído e dos níveis de pressão sonora nas áreas externas de circulação de pessoas

1 Introdução

Segundo a Organização Mundial de Saúde – OMS [1], o ruído é a segunda maior causa ambiental de problemas na saúde. Também de acordo com a OMS, saúde é um estado de completo bem-estar físico, mental e social, e não apenas a ausência de doença física ou enfermidade.

O impacto da poluição sonora ambiental é uma ameaça subestimada e prejudica a saúde humana e dos animais, interfere diretamente nas atividades diárias das pessoas, seja em ambientes escolares, de trabalho, em casa e no lazer. Pode provocar distúrbios no sono, problemas cardiovasculares e psicofisiológicos, reduzir o desempenho, provocar estresse e mudanças no comportamento social, perda auditiva, distúrbios neurológicos, dentre outros. Tais consequências dependem da correlação entre tempo de exposição e níveis de pressão sonora. Diversas publicações científicas apontam a poluição sonora ambiental como causadora de impactos sobre ecossistemas e biodiversidade [2], [3] e [4].

Em salas de aula e pequenos auditórios os níveis de pressão sonora contínuos equivalentes, ponderada em A, devem ser de até 35 dB e o tempo de reverberação de até 0,6 s, para proporcionar uma maior compreensão verbal em um fluxo rápido de conversação. Já nas áreas de circulação, em prédios escolares, o L_{Aeq} deve ser de até 50 dB e o tempo de reverberação não deve ultrapassar a 1 s, possibilitando a compreensão verbal, evitando o estresse e mantendo a propícia condição do ambiente [5]. Já a ABNT [6] especifica níveis entre 40 dB e 50 dB para salas de aula e entre 45 dB e 55 dB em áreas de circulação.

O respeito a esses limites é necessário. A partir de 55 dB ocorre a ativação nervosa autônoma simpática, que pode induzir perturbações e estresse leve, pela excitação constante do sistema reticular ativador, levando à preocupações e agitação motora estéril, comprometendo a capacidade de concentração em atividades intelectuais [2], [5], [7] e [8].

Situado na área central do campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais, o Instituto de Ciências Biológicas – ICB é um dos principais institutos de ensino e pesquisa em sua área. Segundo o próprio instituto [9], suas instalações abrigam cerca de 263 docentes, 185 servidores, 4200 alunos de graduação, distribuídos em 23 cursos presenciais, 1200 estudantes de pós-graduação, especialização, mestrado e doutorado, distribuídos em 12 programas de pós-graduação, além de pesquisadores em pós-doutorado, totalizando quase 6000 pessoas que circulam e utilizam as instalações do ICB.

Além da comunidade acadêmica, diferentes departamentos abrangem diversas subáreas da biologia, associadas aos campos de estudos de meio ambiente, biotecnologia e saúde, onde

quase todos utilizam animais para pesquisas científicas, tais como roedores empregados pelos departamentos de Bioquímica e Imunologia, Parasitologia, Farmacologia, Fisiologia, Biofísica e Microbiologia, e peixes, insetos, anfíbios, répteis, moluscos e mamíferos em geral, empregados pelos departamentos de Zoologia, Ecologia e Parasitologia.

A produção acadêmica no campo do conhecimento de bem-estar animal, que relaciona poluição sonora com estresse em animais, se concentra em estudos com roedores.

O fornecimento de animais para pesquisa científica e para ensino, de graduação e de pós-graduação no ICB, é de atribuição do Centro de Bioterismo (CEBIO) que incorpora duas áreas distintas. O biotério de ratos está localizado em salas comuns do prédio, enquanto o biotério de camundongos se localiza em um prédio anexo ao ICB. Apesar de grande parte dos departamentos conduzirem os experimentos com animais dentro dos laboratórios, há também aquários com animais de pesquisa científica dispostos nos corredores dos prédios.

Sabe-se que roedores podem perceber frequências sonoras de 0,25 Hz a 80 kHz [10]. Deguchi [11], ao realizar um diagnóstico de bem-estar em camundongos e ratos de biotérios no estado do Paraná, relatou diminuição no número de filhotes nascidos de ratos no período relativo ao início da construção de um novo prédio, situado aproximadamente a cinco metros de distância da sala dos animais. Comportamento que não foi verificado em período posterior.

Rasmussen [12] já havia constatado que o barulho de construções pode diminuir a eficiência reprodutiva, diminuindo os nascimentos e aumentando a taxa de natimortos, enquanto Krebs [13] ressalta que a variação de níveis de pressão sonora entre 55 dB e 95 dB produzem alterações nos comportamentos alimentares, reduzindo a duração e a ingestão de alimentos, aumentando a velocidade ao comer, a defecação e exploração.

Assim, considerando a importância acadêmica e científica do ICB como ambiente de ensino e de pesquisa, bem como os efeitos da poluição sonora sobre a saúde e o bem-estar das pessoas e dos animais empregados nas mais diversas pesquisas, a direção do ICB proporcionou a formação deste grupo de trabalho a fim de investigar e diagnosticar os níveis de pressão sonora nas instalações do ICB, bem com identificar e propor ações para controlar e reduzir os níveis de pressão sonora a que a comunidade acadêmica e os animais estão expostos.

Neste artigo são apresentados os resultados das avaliações realizadas na primeira etapa de pesquisa, compreendida pelas áreas externas de circulação de alunos, professores, pesquisadores e servidores.

2 Material e método

Neste item são apresentados o material e método utilizados nas medições de níveis de pressão sonora, tratamento dos resultados e elaboração dos mapas acústicos ambientais, bem como as informações sobre o local objeto deste estudo.

2.1 Instituto de Ciências Biológicas – ICB

O Instituto de Ciências Biológicas ocupa uma área aproximada de cinquenta mil metros quadrados do campus Pampulha da UFMG. Suas principais instalações estão distribuídas em

17 blocos de 4 pavimentos, além das áreas externas de jardins, estacionamento e circulação de pedestres. Em seu entorno estão localizados a Biblioteca Central, a praça de serviços, o Instituto de Ciências Exatas – ICEX, o Departamento de Física, o restaurante Setorial II, a Faculdade de Farmácia, o Centro de Atividades Didáticas de Ciências Naturais – CAD I e dois importantes corredores de tráfego do campus, rua Prof. Baeta Viana e rua Prof. Giorgio Schreiber. Destaca-se também que o ICB está situado a menos de 150 m da Av. Presidente Carlos Luz, na altura do Estádio Governador Magalhães Pinto (Mineirão). Sua localização está ilustrada na Figura 1.



Fonte: (Google Earth, 2016)

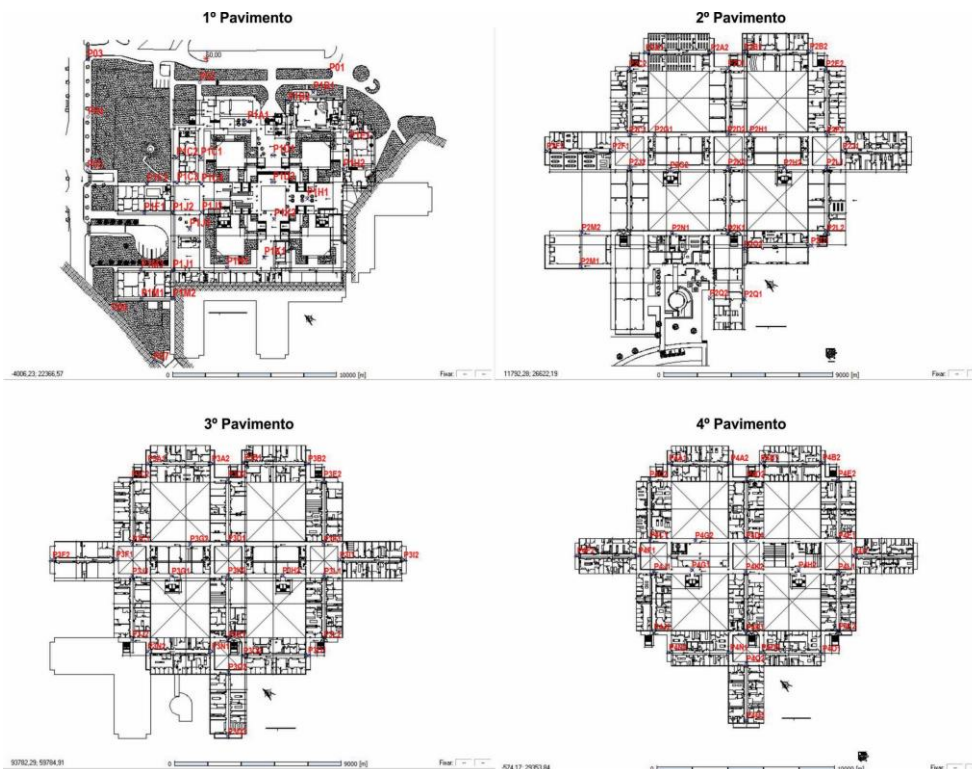
Figura 1: Localização do ICB

2.2 Pontos de medição

Foram medidos os níveis de pressão sonora em 138 pontos de medição distribuídos nas áreas externas do piso térreo e corredores externos dos 4 pavimentos dos 17 blocos que integram as principais instalações do ICB.

Os pontos de medição foram locados de modo a caracterizar as áreas de maior circulação de pessoas e codificados com três algarismos alfanuméricos precedidos pela letra P, sendo: PXYZ, onde P indica pavimento, X indica o número do pavimento, entre 1 e 4; Y indica o bloco, entre A e Q; e Z indica o nº sequencial do ponto de medição no respectivo bloco e pavimento. Exemplo: P3H2, indica que se trata do ponto de medição nº 2 do bloco H no 3º pavimento. Em cada ponto de medição o sonômetro foi posicionado, sobre tripé, distante pelo menos a 1,5 m do piso e de paredes, pilares e demais objetos que pudessem reflexão ou sombreamento sonoro.

A figura 2 ilustra, em vermelho, a distribuição dos pontos de medição nos quatro pavimentos dos dezessete blocos do ICB.



Fonte: (Autor, 2016)

Figura 2: Pontos de medição

2.3 Instrumentação eletroacústica

Todas as medições de níveis de pressão sonora foram realizadas com sonômetro Brüel&Kjaer modelo 2270, microfone modelo 4189 e calibrador sonoro modelo 4231, todos Classe 1, calibrados e em conformidade com a IEC 61672, partes 1, 2 e 3. Os filtros de 1/3 de oitava também foram calibrados e atendem à IEC 61260, para a classe 1. O sonômetro foi configurado para correção da influência do protetor de vento, modelo UA-1650, na resposta em frequência.

O sonômetro foi configurado para medição simultânea dos descritores globais $L_{Aeq,1s}$, $L_{Ceq,1s}$, L_{AFmax} , L_{ASmax} , L_{CFmax} , L_{CSmax} , $L_{Zpeakmax}$ e também $L_{Zeq,1s}$ nas bandas de 1/3 de oitavas compreendidas entre 12,5 Hz e 20 kHz. Além dos registros dos resultados nos domínios do tempo e da frequência, foram registrados os áudios das medições em formato .wav.

O tempo de integração, para medição e registro dos descritores, foi ajustado para 1 s. O tempo de medição foi ajustado para cinco minutos.

Considerado o ruído termoelétrico autogerado, informado no certificado de calibração do sonômetro, tomou-se como faixa dinâmica útil, para aceitação dos resultados, a faixa de 20 dB a 140 dB no espectro global e de 15 dB a 140 dB nas bandas de 1/3 de oitavas.

2.4 Procedimento de medição

Adotou-se como procedimento de medição as especificações do texto de referência do segundo projeto de revisão da norma brasileira 2ºP_ABNT NBR 10151, em elaboração pela comissão de estudos de desempenho acústico de edificação ABNT/CE-02:135.01.

O sonômetro foi ajustado, com o calibrador sonoro acoplado ao microfone, antes e após cada série de medições. O valor adotado no ajuste foi de 93,85 dB e corresponde ao valor indicado no certificado de calibração do calibrador sonoro, aplicada a correção para microfone de campo livre, conforme instrução do fabricante. Considerou-se válidos os resultados cujo ajuste final tenha indicado variação entre - 0,1 dB e 0,1 dB em relação ao ajuste inicial. Considerou-se como série de medições aquelas realizadas em um mesmo dia e período escolar, matutino ou vespertino. Nesta etapa não foram realizadas medições no período noturno.

As medições de níveis de pressão sonora foram realizadas apenas para condições ambientais típicas do local de estudo. Considerou-se como condição típica: dia letivo com fluxo comumente observado de servidores, alunos e professores dos cursos de graduação e pós-graduação, sem registro de atividades festivas ou culturais; temperatura do ar compreendida entre 19 °C e 32 °C; umidade relativa do ar entre 35 % e 85 % e sem ocorrências de ventos, chuvas e trovoadas.

2.5 Tratamento de dados

Os resultados registrados pelo sonômetro foram exportados, através do software da B&K BZ 5503, para planilha eletrônica especialmente elaborada para esta finalidade.

Foram validados os resultados decorrentes das fontes sonoras residuais e descartados os resultados devidos aos sons intrusivos. Foi gerado um relatório para cada medição realizada, contendo resultados dos descritores de espectro global, em bandas de 1/3 de oitavas e descrição textual das fontes sonoras identificadas como residuais e intrusivas.

Neste artigo serão apresentados apenas os resultados de L_{Aeq} . Os resultados de L_{Zeq} em 1/3 de oitavas foram utilizados apenas para identificação de sons tonais, conforme anexo D da ISO 1996-2:2007. Os demais descritores serão considerados em análises específicas contempladas nas etapas seguintes desse estudo, que visam a caracterização das fontes sonoras e a proposição de soluções para controle e redução das emissões sonoras.

2.6 Análise e validação dos resultados

Inicialmente foi realizada uma única medição em cada um dos 138 pontos distribuídos nas áreas externas do piso térreo e corredores externos dos pavimentos superiores dos 17 blocos que integram as principais instalações do ICB.

Tratados estes resultados, foram selecionados quatro pontos de medição, por pavimento, que apresentaram os maiores valores de desvio padrão dentre os resultados de $L_{Aeq,1s}$ validados como sons residuais. Nestes pontos, foram realizadas pelo menos cinco novas medições de níveis de pressão sonora em dias e horários diferentes, sendo novamente registradas e identificadas as principais fontes sonoras, residuais e intrusivas.

Estes resultados foram então analisados em comparação aos resultados obtidos na primeira medição, nestes mesmos pontos, consideradas as incertezas expandidas de medição.

2.7 Incerteza expandida de medição

A incerteza expandida de medição (U), expressa em dB, foi calculada com base em uma incerteza-padrão combinada (u) multiplicada por um fator de abrangência de 2 ($k = 2$), para uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95 %.













A incerteza-padrão combinada foi tomada pela raiz quadrada da soma dos quadrados de duas variáveis. A primeira, devida à instrumentação, calculada com base nos dados contidos nos certificados de calibração do sonômetro e do calibrador sonoro. A segunda determinada pela razão do desvio-padrão, obtido entre os valores medidos de $L_{Aeq,1s}$, pela raiz quadrada do número (n) de medições validadas em cada ponto.

O cálculo da incerteza expandida de medição foi implementado nas planilhas eletrônicas de tratamento de dados.

2.8 Mapa acústico

Consolidados os resultados, foi elaborado um mapa acústico ambiental para cada um dos quatro pavimentos das instalações do ICB. O mapa foi elaborado através do software NoiseAtWork que constrói as curvas de níveis de pressão sonora através do método de triangulação de Delaunaya, calculados a partir dos resultados de L_{Aeq} medidos em cada ponto de medição.

Padronizou-se uma tabela de cores, em faixas de 5 dB em 5 dB, a ser aplicada para ilustração dos resultados desta e das próximas etapas deste estudo, que envolverão medições de níveis de pressão sonora em ambientes internos como: salas de aula, auditórios, laboratórios e biotérios. A tabela de cores aplicada aos mapas acústicos é apresentada na Figura 3.

De	Ate	Cor	De	Ate	Cor
0,00	30,00		55,00	60,00	
30,00	35,00		60,00	65,00	
35,00	40,00		65,00	70,00	
40,00	45,00		70,00	75,00	
45,00	50,00		75,00	80,00	
50,00	55,00		80,00	100,00	

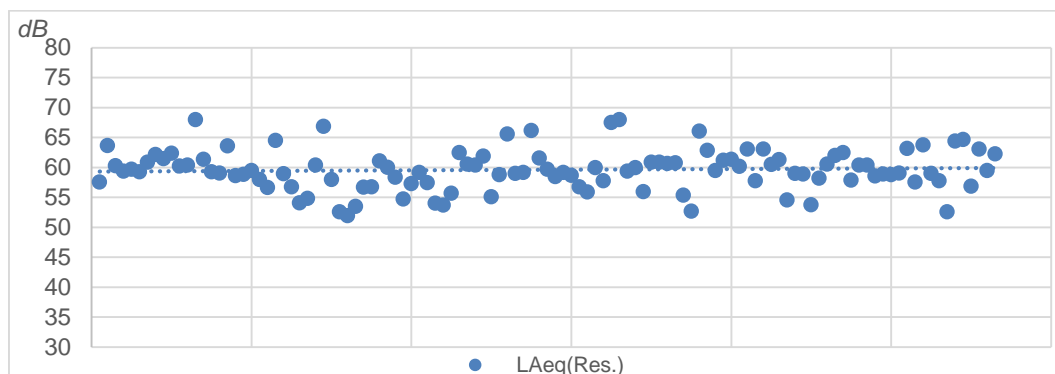
Fonte: (Autor, 2016)

Figura 3: Tabela de cores dos mapas acústicos

3 Resultados e discussões

Analisados os resultados da primeira série de medições de níveis de pressão sonora constatou-se que, dentre os 138 pontos de medição, o menor resultado registrado foi de $L_{Aeq(res.)} = 52,0$ dB, $U = \pm 1,0$ dB e o maior valor foi de $L_{Aeq(res.)} = 68,0$ dB, $U = \pm 1,1$ dB, sendo que 83 % destes resultados estão distribuídos entre 55 dB e 65 dB.

A distribuição destes resultados pode ser observada na Figura 4. A Tabela 1 apresenta a mesma análise, por pavimento.



Fonte: (Autor, 2016)

Figura 4: Distribuição dos resultados obtidos em 138 diferentes pontos de medições

Tabela 1: Análise geral dos resultados distribuídos por faixas de níveis de pressão sonora

Análise geral dos resultados					
$L_{Aeq(res.)}$ (dB)	ICB	1º Pavimento	2º Pavimento	3º Pavimento	4º Pavimento
50,0 a 55,0	11%	0%	29%	3%	9%
55,1 a 60,0	46%	50%	39%	52%	44%
60,1 a 65,0	37%	46%	25%	31%	47%
65,1 a 70,0	6%	4%	7%	14%	0%

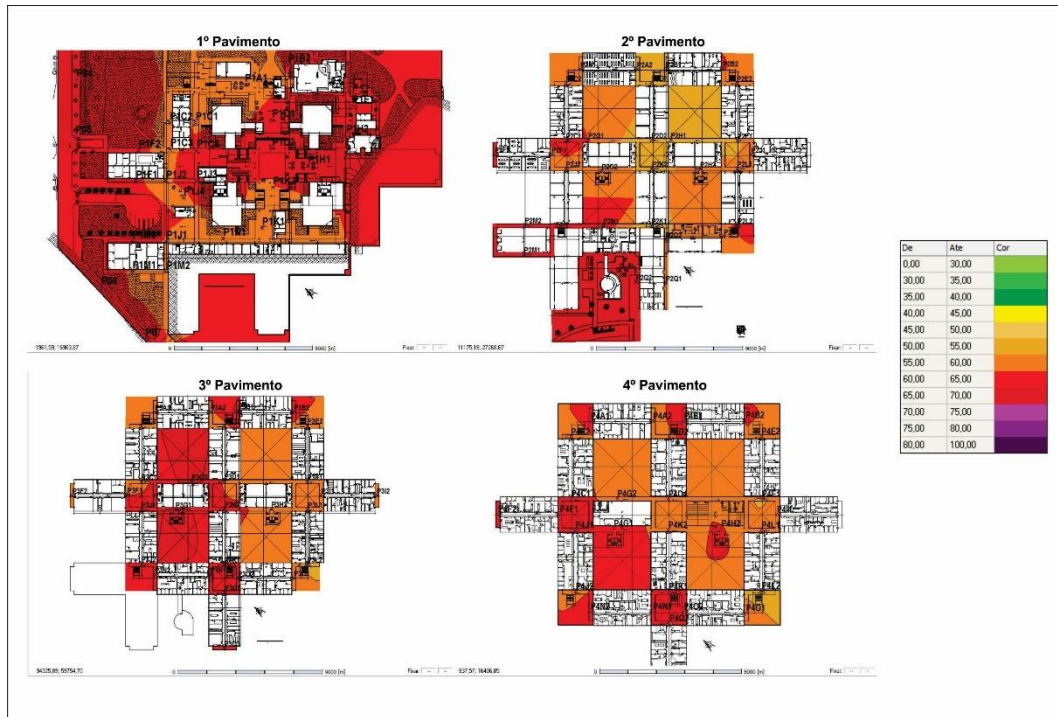
Identificou-se as fontes sonoras contribuintes a partir dos resultados obtidos no segundo e no primeiro ciclo de medições. De modo geral, são fontes de ruído contínuo e intermitente os equipamentos de ar condicionado das salas e laboratórios, os refrigeradores e freezers dispostos em corredores internos e, nas áreas voltadas para as vias de tráfego do campus, o ruído de automóveis, motos e ônibus. Como fonte sonora episódica foram registradas ocorrências de sobrevoo de aviões e helicópteros. Ao contrário do esperado, o ruído de conversação por concentração de pessoas foi significativo apenas nas proximidades do restaurante.

Além da confirmação quanto a identificação das fontes sonoras contribuintes, confirmou-se também a equivalência entre os resultados obtidos, a cada ponto, no primeiro e segundo ciclos de medições, com uma variação de ± 2 dB.

Nenhuma medição apresentou ocorrência de ruído tonal ou impulsivos. Os ruídos de conversação de pessoas em trânsito pelo ponto de medição, bem como eventuais ruídos de pequenas obras de manutenção no prédio foram tratados como sons intrusivos.

Assim, a partir destes resultados de L_{Aeq} foram elaborados os mapas acústicos ambientais das áreas externas dos quatro pavimentos do ICB. A Figura 5 ilustra as áreas com maior ou menor

nível de pressão sonora contínuo equivalente, ponderada em A – L_{Aeq} devidos às fontes de ruído residuais.



Fonte: (Autor, 2016)

Figura 5: Mapas acústicos ambientais das áreas externas do ICB

4 Conclusões e recomendações

Áreas de circulação em prédios escolares requerem que o L_{Aeq} seja de até 50 dB, possibilitando a compreensão verbal, prevenindo o estresse e mantendo o ambiente sadio [2] e [5].

No entanto, 100% dos resultados de L_{Aeq} obtidos no piso térreo do ICB (1º pavimento) estão acima de 55 dB. No 3º e 4º pavimento, respectivamente 97 % e 91 % dos resultados estão acima de 55 dB. Apenas o 2º pavimento apresentou percentual significativo de pontos, 33 %, cujos resultados de L_{Aeq} estão abaixo de 55 dB. Destaca-se também que 37 % de todos os resultados estão acima de 60 dB.

O respeito ao limite de 50 dB é necessário, uma vez que a partir de 55 dB ocorre a ativação nervosa autônoma simpática, que pode induzir perturbações e estresse leve afetando todo sistema nervoso central [7] e [8].

Diante destes resultados cabe recomendar a substituição dos atuais equipamentos de ar condicionado instalados nas paredes e janelas de salas de aula e laboratórios por novos sistemas de climatização e ventilação, desde que seus compressores e condensadores não sejam instalados em áreas de circulação. Destaca-se também que parte do ruído percebido é devido aos equipamentos refrigeradores e freezers dispostos nos corredores internos dos blocos

do ICB. Assim, torna-se necessário recomendar também que sejam projetadas soluções que contemplem a substituição e remoção dos atuais refrigeradores, reduzindo as inúmeras fontes atualmente distribuídas ao longo dos corredores internos.

Propõe-se como próxima etapa de estudo a caracterização acústica das fontes sonoras identificadas neste artigo, incluindo o ruído de tráfego e o ruído da central de ar condicionado. Propõe-se ainda que a elaboração de soluções acústicas contemple aspectos técnicos de eficiência energética e redução do consumo de energia elétrica.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos servidores do ICB pelo apoio técnico, à DGMR Consulting Engineers pela cessão da licença do software NoiseAtWork e ao dB Laboratório de Engenharia Acústica pela disponibilidade da instrumentação de medição, software e pessoal de apoio técnico.

Referências

- [1] Organização Mundial de Saúde – OMS. Disponível em: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/>. Acessado em 31 de maio de 2016.
- [2] PIMENTEL-SOUZA, F. Efeito do ruído no homem dormindo e acordado. Anais da XIX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Belo Horizonte, Brasil, 15-19 abril, 2000.
- [3] Hammer MS, Swinburn TK, Neitzel RL. Environmental noise pollution in the United States: Developing an effective public health response. Environmental Health Perspectives, volume 122 (2), 2014, pp 115-119.
- [4] Goines, L.; Hagler, L. Noise Pollution: A Modern Plague. Southern Medical Journal, volume 100 (3), 2007, pp 287-294.
- [5] Berglund, B.; Lindvall, T. Community Noise. Stockholm, Sweden, 1995. ISBN 9188784029.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 10152 – Níveis de ruído para conforto acústico, Brasil, 1987.
- [7] World Health Organization – WHO. Environmental Health Criteria 12 – Noise, Geneva, 1980. ISBN 92 4 154072 9.
- [8] Ridgen, J. S., in: Halliday Resnick Walker, Fundamentos de Física, LTC, São Paulo (Brasil), 2, 1991.
- [9] Instituto de Ciências Biológicas – ICB, UFMG. Disponível em: <http://www.icb.ufmg.br/>. Acessado em 28 de abril de 2016.
- [10] Kelly, J. B., Masterton, B. Auditory sensitivity of the albino rat. Journal of Comparative and Physiological Psychology, Washington, DC, v. 91, n. 4, pp 930-936.
- [11] Deguchi, B. G. F. Bem-estar de animais de laboratório. Dissertação, UFPR, 27 de novembro de 2013.
- [12] Rasmussen, S.; Glickman, G.; Norinsky, R.; Quimby, F. W.; Tolwani, R. J. Construction noise decreases reproductive efficiency in mice. Journal of the American Association for Laboratory Animal Science, Memphis, USA, Vol. 48 (4), 2009, pp 363-370.
- [13] Krebs, H.; Macht, M.; Weyers, P.; Weijers, H.; Janke, W. Effects of Stressful Noise on Eating and Non-eating Behavior in Rats, Appetite, 26, 1996, pp 193–202.