



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

Modelagem e Estudo de Solução para a Mitigação dos Níveis de Ruído em Escolas da Cidade de Uberlândia – MG

Ricardo Humberto de Oliveira Filho, rholiveira@mecanica.ufu.br¹
Marcos Morais de Sousa, mmsousa@mecanica.ufu.br¹
Vera Lúcia D. S. Franco, vlfranco@ufu.br¹
Marcus Antonio Viana Duarte, mvduarte@mecanica.ufu.br¹
Elias Bitencourt Teodoro, teodoro@mecanica.ufu.br¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica - Campus Santa Mônica - CEP: 38400-902 Uberlândia – MG

Resumo: A poluição sonora entre outras é um dos principais fatores que afetam a saúde e o comportamento humano. O ruído pode perturbar o homem no trabalho, na comunicação, nas horas de lazer e descanso. A Norma NBR-10.152 'Níveis de Ruído para Conforto Acústico' fixa limites de ruído visando o conforto ambiental, tecnologia e conhecimento são necessários para monitoramento, avaliação e controle. Neste trabalho é apresentada a validação dos modelos acústicos de edificações de escolas, os resultados da análise de sensibilidade para classificar a contribuição das principais fontes nos níveis de ruído simulados para a edificação da escola e os resultados das simulações com medidas de controle para a mitigação dos níveis de ruído da planta estudada. Para o estudo dos níveis de ruído gerados nas escolas em análise, desenvolveu-se um procedimento de simulação do campo acústico baseado em fontes monopólos para a potência sonora e na teoria de raios acústicos para calcular a difusão sonora. Após a validação do modelo matemático-computacional, utilizando os níveis de LAeq-dB(A) de alguns pontos de referência, realizou-se uma análise de sensibilidade para se definir a ordem de importância das fontes de ruído (alunos nas quadras e carros nas ruas) nos níveis de ruído simulado. Isso foi efetuado desligando-se computacionalmente as fontes estudadas e calculando-se o aumento percentual da área, da região estudada, com valores de LAeq abaixo de 60, 70 e 80 dB(A) quando comparadas com as áreas percentuais calculadas para as condições normais da planta. Classificadas as fontes por ordem de importância, estudaram-se as possibilidades de tratamentos acústicos que poderiam ser aplicados (barreiras acústicas e atenuadores de ruído) para fins de controle dos níveis globais de ruído calculados nas dependências das escolas. A seguir foram realizadas simulações dos valores de LAeq-dB(A) das áreas estudadas para os tratamentos acústicos propostos para fins de análise, com resultados promissores.

Palavras-chave: Acústica de salas, simulação acústica, mitigação de ruídos.

1. INTRODUÇÃO

Com relação ao ruído na comunidade, atualmente a preocupação com a qualidade de vida leva as pessoas a se mobilizarem e agirem no controle das ações que possam afetar o meio ambiente. Porém, um aspecto importante que precisa ser lembrado quando se fala em qualidade de vida é o conforto sonoro.

O primeiro efeito fisiológico de exposição a níveis altos de ruído é a perda de audição na faixa de 4 a 6 kHz, que não é irreversível, podendo ser recuperada, se houver tempo hábil para isto. Se a exposição a elevados níveis de ruído for contínua, a perda temporária de audição pode se tornar permanente, em uma faixa de frequência ainda maior. A perda de audição passa a ser irreversível porque as células nervosas do ouvido interno são danificadas. Os altos índices de ruído provocam vibrações na membrana basal, que provocam o rompimento e as distorções nas células, atrofiando o aparelho auditivo.

Além de danos no sistema auditivo, o ruído provoca outras alterações no homem, comprometendo as atividades físicas e mentais. São conhecidos sérios efeitos como: aumento da pressão arterial e do ritmo da pulsação, estreitamento dos vasos sanguíneos, dores de cabeça, náuseas, vômitos, tremores, insônia, distúrbios respiratórios e outros. Quando a exposição a elevados níveis de ruído continua, seus efeitos no homem são ainda mais sérios: sobrecarga do coração, mudanças de comportamento e dificuldades mentais e emocionais (Bistafa, 2006).

Segundo Nunes (2006, apud revista PROTEÇÃO, 2002), o agente físico ruído é responsável por mais de 80% das concessões de aposentadoria especial, demonstrando que as medidas de controle baseadas em utilização de E.P.I não são suficientes para contornar este problema. Com relação à comunidade circunvizinha, a Organização Mundial de Saúde considera o ruído como uma das formas mais graves de agressão ao Homem e ao meio ambiente, sendo que a exposição contínua a níveis de ruído superiores a 65 dB(A) resulta em perda de qualidade de sono, aumento do estresse e riscos de doenças, principalmente cardiovasculares.

A Organização Mundial de Saúde considera que "o estresse auditivo se inicia sob exposições de níveis de ruído de 55 dB (MACHADO, 1996 apud OIT, 1980)". Acima destes níveis, o excesso de colesterol liberado pelo ruído justifica resultados como os de um recente congresso na Alemanha em que populações, submetidas a níveis entre 65 a 70 dB, tiveram 10% a mais de enfarte e entre 70 e 80 dB, 20%.

Diversos estudos têm alertado a sociedade sobre os problemas resultantes dos altos níveis de ruído nas áreas escolares, resultando em caso extremas de perdas auditivas entre alunos e professores.

Uma das conseqüências nefastas do efeito do mesmo sobre a aprendizagem. Bradley e Picard (1997) observaram que em escolas normais de ensino fundamental os estudantes conseguem reconhecer 66% das palavras faladas pelos professores, o que torna a situação alarmante. Picard considera como grandes responsáveis pelo nível de ruído os sistemas de ventilação-refrigeração, as conversas dos alunos, o ruído das salas vizinhas e diversas fontes externas. Além das fontes de ruído, os autores salientam que o projeto arquitetônico das salas desfavorece o tempo de reverberação, o que agrava o problema.

Day (1996), num estudo realizado com crianças e jovens de 6 a 19 anos, observou que 15% apresentaram perda de audição, devido a ruído de ventiladores, sistemas de aquecimento e método de ensino utilizado nas aulas.

Com relação aos professores, Jiang (1997), demonstrou que 61% dos professores sentem-se desconfortáveis nos ambientes escolar, sendo que, entre professores de educação física, este número sobe para 77%. Isto ocorre devido aos níveis de ruído em sala de aula e nos ginásios. Em seu estudo mediu 94,4 dB num ginásio de uma escola elementar, o que ocasionou perda de audição permanente a um professor de 57 anos de idade

A Acústica Previsional (Gerges, 2000) é um conjunto de técnicas utilizado para prognosticar o nível de ruído em um ambiente determinado, destacando-se as técnicas clássicas, teoria dos raios acústicos e técnicas de elementos finitos.

Nas técnicas clássicas (Keränen ET all, 2010), as fontes de ruído são discretizadas em fontes acústicas do tipo monopólo e o campo de pressão sonora é obtido a partir de expressões empíricas para a difusão do som. Uma excelente revisão bibliográfica sobre as técnicas clássicas pode ser encontrada em Slama (Slama e Kortchmar, 1996).

A teoria dos raios acústicos (Peter Svensson, 2008) é baseada na hipótese da superposição do efeito de fontes monopólares, gerando raios acústicos divergentes que são refletidos nas paredes (método das imagens), perdendo energia até atingir o observador. Esta teoria apresenta bons resultados para análise previewal em ambientes abertos.

Nas técnicas de elementos finitos, a região a ser analisada é discretizada em volumes elementares. A pressão sonora nestes elementos é representada por uma função de interpolação e os parâmetros que definem tal função são numericamente obtidos a partir de um princípio variacional. Em seu trabalho, Kroeff (Kroeff, 1997) explica detalhadamente a modelagem de campos acústicos através de elementos finitos e a teoria dos raios acústicos. Apesar de apresentar excelentes resultados para ambientes fechados e abertos, a técnica de elementos finitos tem como principal problema a exigência de que as dimensões básicas do volume elementar sejam menores do que um décimo do comprimento da onda acústica analisada, o que a limita para regiões pequenas e ruído de baixa frequência.

Do exposto, e considerando as dimensões e afastamentos envolvidos, optou-se por utilizar, neste trabalho, uma técnica clássica de análise previewal baseada na equação de difusão de Thompson (Slama e Kortchmar, 1996), sendo a técnica dos elementos finitos utilizada para modelar a eficiência de soluções acústicas específicas.

2. METODOLOGIA

Para o estudo dos níveis de ruído gerados nas escolas em análise, desenvolveu-se um procedimento de simulação do campo acústico baseado em fontes monopólos para a potência sonora e na teoria de raios acústicos para calcular a difusão sonora.

Após a validação do modelo matemático-computacional, utilizando os níveis de L_{Aeq} -dB(A) de alguns pontos de referência, realizou-se uma análise de sensibilidade para se definir a ordem de importância das fontes de ruído (alunos nas quadras e carros nas ruas) nos níveis de ruído simulado. Isso foi efetuado desligando-se computacionalmente as fontes estudadas e calculando-se o aumento percentual da área, da região estudada, com valores de L_{Aeq} abaixo de 60, 70 e 80 dB(A) quando comparadas com as áreas percentuais calculadas para as condições normais da planta.

Classificadas as fontes por ordem de importância, estudaram-se as possibilidades de tratamentos acústicos que poderiam ser aplicados (barreiras acústicas e atenuadores de ruído) em cada local para fins de controle dos níveis globais de ruído calculados nas dependências das escolas.

A seguir foram realizadas simulações dos valores de L_{Aeq} (dB(A)) das áreas estudadas para os tratamentos acústicos propostos para fins de análise.

2.1. Procedimento de Simulação

O modelo utilizado é a teoria de raios acústicos, cujos resultados são válidos a partir da frequência de Schroeder dada pela Equação 1, onde T é o tempo de reverberação em segundos e V é o volume da sala em metros cúbicos.

$$f_c = 2000\sqrt{T/V} \quad (1)$$

Exemplificando, a frequência de Schroeder para uma sala de $10 \times 5 \times 2,8 \text{ m}^3$ com um coeficiente de absorção médio de 10% é de aproximadamente 190 Hz. Isto indica que na banda de 63 a 8000 Hz não haverá problemas na utilização da teoria em grandes galpões, (como quadras poliesportivas) os quais são caracterizados por grandes dimensões, que é o enfoque deste trabalho. A limitação em aproximadamente 190 Hz para as salas de aula não representa problema, uma vez que as fontes de ruído estudadas não tinham componentes significantes (dB(A)) nas bandas centradas entre 63 a 500 Hz.

Dois problemas surgem quando da utilização da teoria de “ray-tracing” em grandes ambientes fechados, os quais são: proximidade de teto e piso e respectivos baixos coeficientes de absorção acústica e número excessivo de barreiras acústicas representadas por mobiliário, salas e regiões de estoque temporário de produtos.

O primeiro problema implica num grande número de reflexões de raios acústicos, o que penaliza sobremaneira a eficiência do procedimento computacional.

O problema das barreiras ainda é pior, visto que para cada raio acústico são necessários uma infinidade de cálculos envolvendo existência ou não de barreiras e se houver, as perdas de transmissão equivalentes das mesmas.

As hipóteses básicas assumidas neste trabalho para a propagação do som em ambientes internos são:

- As leis da acústica geométrica são válidas;
- Não são considerados os fenômenos de onda;
- As superfícies são planas e refletem um espectro de energia sonora similar a um plano infinito;
- Qualquer superfície absorve a energia sonora de acordo com seus coeficientes de absorção;
- Ruído é tratado em função da energia e não em função da pressão;
- As energias podem ser diretamente somadas e não há efeitos de fase.

2.2. Enclausuramento Parcial por Barreiras

A utilização de barreiras é uma maneira prática de proteger um observador de um campo de ruído direto por outra fonte de ruído adjacente. A presença de barreira bloqueia a linha reta de visão entre a fonte e o receptor, causando atenuação por difração. A zona de sombra acústica é maior para barreiras altas e em altas frequências.

Para a avaliação da efetividade da colocação de uma barreira neste trabalho, basta entrar com os parâmetros dimensionais e acústicos da barreira no banco de dados, uma vez que o procedimento computacional utilizado prevê a existência de barreiras.

3. MODELAGEM

Para iniciar o procedimento de simulação dos níveis de ruído nas escolas, foi necessário o desenvolvimento de modelos acústicos tridimensionais que pode ser observados nas Figs. 1a e 1b.

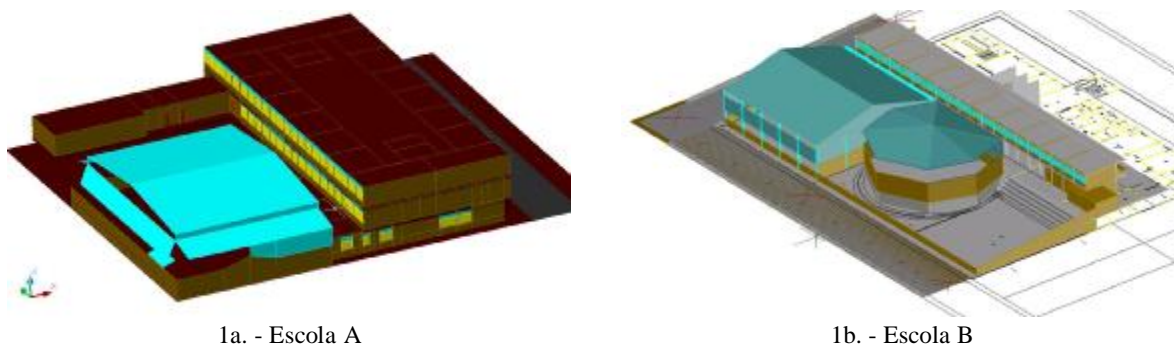


Figura 1. Modelo acústico tridimensional das escolas A e B.

3.1. Validação dos Modelos Acústicos

Para a mitigação dos níveis de ruído nas escolas, optou-se por utilizar como parâmetro de ajuste para a Escola A o turno da manhã, e na Escola B o turno da tarde, por apresentarem os maiores níveis de ruído nas quadras e na rua. Nas Figs. 2a e 2b são mostradas as curvas de isopressão sonora (L_{eq} -dB(A)) estimadas a partir das medições de L_{Aeq} (1 minuto). As áreas em cinza indicam regiões sem medições para interpolação, para as curvas geradas a partir de dados medidos.

Tomando como base os maiores níveis de pressão sonora encontrados no mapeamento das escolas, foram estimados os níveis de potência sonora para simulações das possíveis fontes de ruído nas áreas.

Como fontes de ruído, foram consideradas:

- Alunos praticando educação física nas quadras;
- Salas de aula com alunos conversando;
- Alguns veículos passando pelas ruas.

Com os valores de L_{eq} medidos, e a posição estatística das fontes de ruído, um procedimento baseado em otimização via algoritmos genéticos para a estimativa dos níveis de potência sonora das fontes pontuais (Nunes e Duarte, 2006).

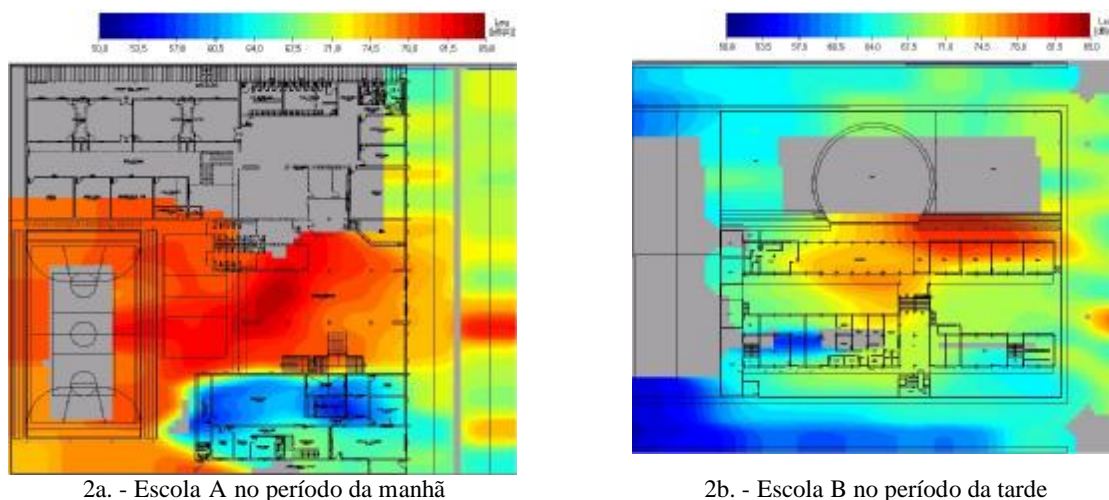


Figura 2. Curvas de isopressão sonora medidas nas escolas A e B.

Nas Figs. 3a e 3b são mostradas as curvas de isopressão sonora, $L_{aeq-dB(A)}$, geradas a partir dos níveis de potência sonora simulados para a escola A considerando o nível térreo. As regiões em preto indicam níveis de ruído superiores a 85 dB(A), sendo desconsideradas na comparação com o mapeamento e as regiões em cinza indicam níveis de ruído inferiores a 50 dB(A).

Notadamente, os mapas das Figs. 2 e 3 não são iguais. Os pontos de NPS elevados representam as fontes de ruído, sendo então necessário realizar a comparação em pontos de controle, tais como corredores, passarelas e pátios, onde não seja constatada a presença de fontes.

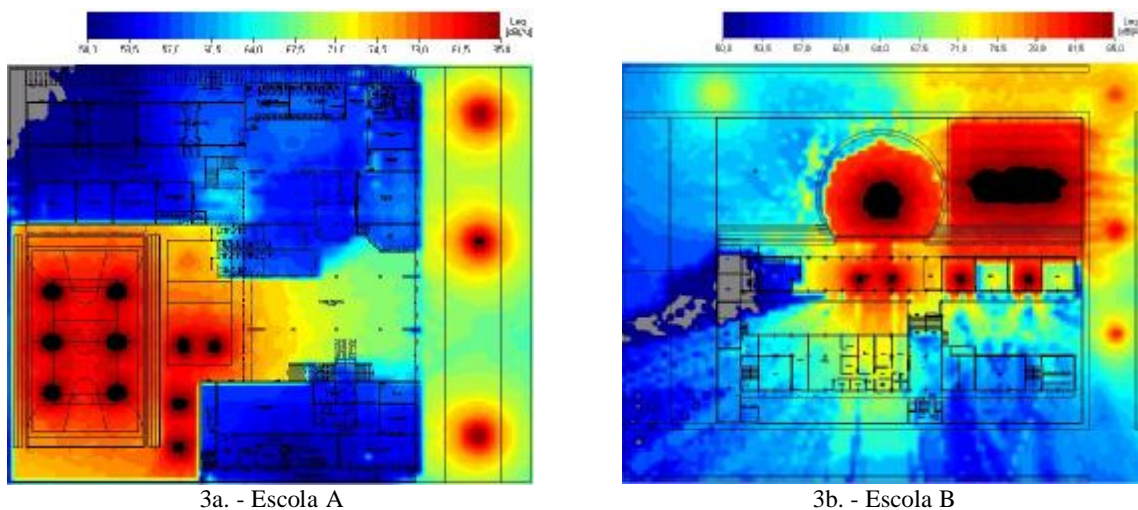


Figura 3 - Curvas de isopressão sonora simuladas nas escolas A e B, no nível térreo.

Da análise das figuras, observa-se uma boa correlação entre os valores simulados e medidos, com uma diferença máxima de 2 dB(A) para pontos de controle. Deve-se ressaltar que variações de até 3 dB(A) são aceitáveis para simulações acústicas em ambientes abertos. É esperado que os valores simulados máximos sejam superiores aos

medidos, uma vez que a malha da simulação é espaçada de 1 metro, enquanto a de medição tem um espaçamento médio de 3 metros, não sendo realizadas medições a distâncias inferiores do que 2 metros das fontes. Conseqüentemente, o efeito dos valores de níveis de pressão sonora nas proximidades das fontes de ruído não é levado em conta no procedimento de mapeamento.

3.2. Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade consiste em desligar, computacionalmente, as fontes de interesse e analisar os histogramas acumulados do ruído gerado pelas outras fontes, verificando quais resultam nos maiores aumentos da área percentual abaixo de 60, 70 e 80 dB(A). Os resultados desta análise para as Escolas A e B estão mostrados nas Tabs. 1 e 2 respectivamente.

Comparando os resultados da Tab. 1, observa-se que a principal causa dos elevados níveis de ruído na Escola A são as atividades de aulas de educação física nas quadras, seguido pelo ruído oriundo do trânsito de veículos.

Com relação ao ruído proveniente da conversa dos alunos nas salas de aula, apesar dos elevados valores de NPS encontrados (variando de 78 a 90 dB(A)), não há como simular algum tipo de tratamento acústico, sendo a solução lógica, os alunos permanecerem em silêncio durante as aulas.

Desta forma, para a Escola A, serão apresentadas soluções para sanar o problema do ruído proveniente das quadras e das ruas.

Tabela 1. Análise de sensibilidade para a escola A.

Principais Fontes	Porcentagem de Área com Níveis Abaixo de:		
	60 dB(A)	70 dB(A)	80 dB(A)
Simulação com todas as fontes ligadas	44,7%	68,0%	95,0%
Simulação sem as salas ruidosas	45,2%	68,0%	96,0%
Simulação sem educação física nas quadras	78,1%	94,0%	99,0%
Simulação sem trânsito	66,6%	73,0%	96,0%

Tabela 2. Análise de sensibilidade para a escola B.

Principais Fontes	Porcentagem de Área com Níveis Abaixo de:		
	60 dB(A)	70 dB(A)	80 dB(A)
Simulação sem as salas ruidosas	46,7%	74,0%	95,0%
Simulação sem educação física nas quadras	66,0%	94,0%	99,0%
Simulação sem alunos na cantina	50,0%	76,0%	87,0%
Simulação sem trânsito	50,0%	75,0%	93,0%

Comparando os resultados da Tab. 2, observa-se que a principal causa dos elevados níveis de ruído na Escola B são as atividades de práticas de educação física nas quadras, seguido pelo trânsito e pela concentração de estudantes na cantina.

Foi realizada uma análise da influência do ruído de trânsito de veículos no interior da Escola B. Apesar dos altos níveis encontrados nas calçadas ao redor da escola, 74 dB(A), no interior da escola tais níveis não passam de 64 dB(A) nos pátios e quadras e de 55 dB(A) no interior das salas de aula.

Na região da cantina, onde foram encontrados altos NPS (78 dB(A)) devido à presença de alunos em horários que faltam professores, não será avaliada nenhuma solução para a mitigação do ruído na área, uma vez que tal influência desaparecerá pela simples proibição da permanência de alunos fora das salas de aula quando faltarem professores.

Desta forma, para a Escola B, somente serão apresentadas soluções para sanar o problema do ruído proveniente das quadras.

4. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

4.1. Escola A

Após a validação dos modelos acústicos e análise de sensibilidade, passou-se à fase de estudos para a mitigação dos níveis de ruído na área.

Analisando o *layout* das quadras, a simples construção de paredes ao seu redor solucionaria o problema, contudo tal medida afetaria a ventilação local. Desta forma, optou-se por adotar a instalação de painéis defletores (venezianas acústicas) na seguinte configuração: Montagem horizontal, com lâminas com $b = 0,10$ m de largura e espaçadas de $h = 0,05$ m, com inclinação de 40 graus, instalados entre as quadras e as salas de aula e entre as salas de aula e a rua. Estes painéis foram escolhidos para simulação por ser de fácil localização no mercado brasileiro e também de fácil implementação. A Fig. 4 ilustra o modelo de construção de tais painéis.

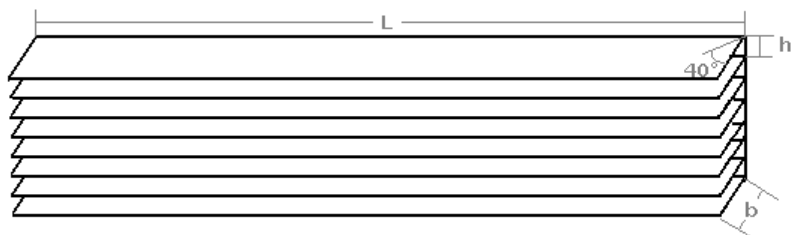


Figura 4 - Layout dos painéis defletores utilizados nas simulações.

As dimensões dos painéis utilizados nesta configuração são:

- Na fachada da escola, a 0,5 m das janelas, em uma extensão (L) de 55,4 metros foram instalados 67 lâminas no primeiro andar e mais 67 lâminas no segundo andar;
- Entre as salas de aula e as quadras poliesportivas, a 0,9 metros de distância das janelas, presos às colunas e à marquise, foram instalados 67 lâminas e uma extensão (L) de 55,4 metros no segundo andar e 60 lâminas e uma extensão (L) de 42,6 metros no primeiro andar.

A Fig. 5 ilustra o modelo tridimensional da escola com os painéis instalados (os painéis estão destacados por linhas vermelhas).

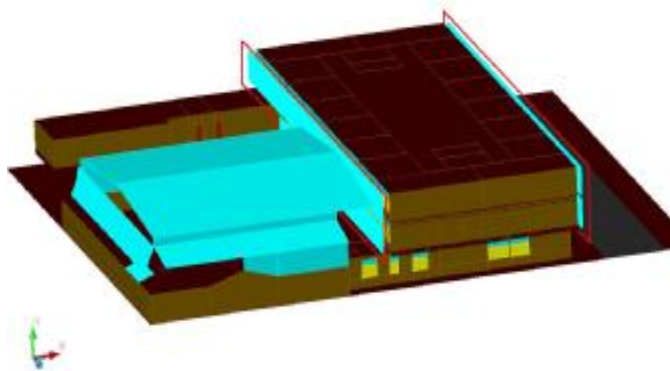
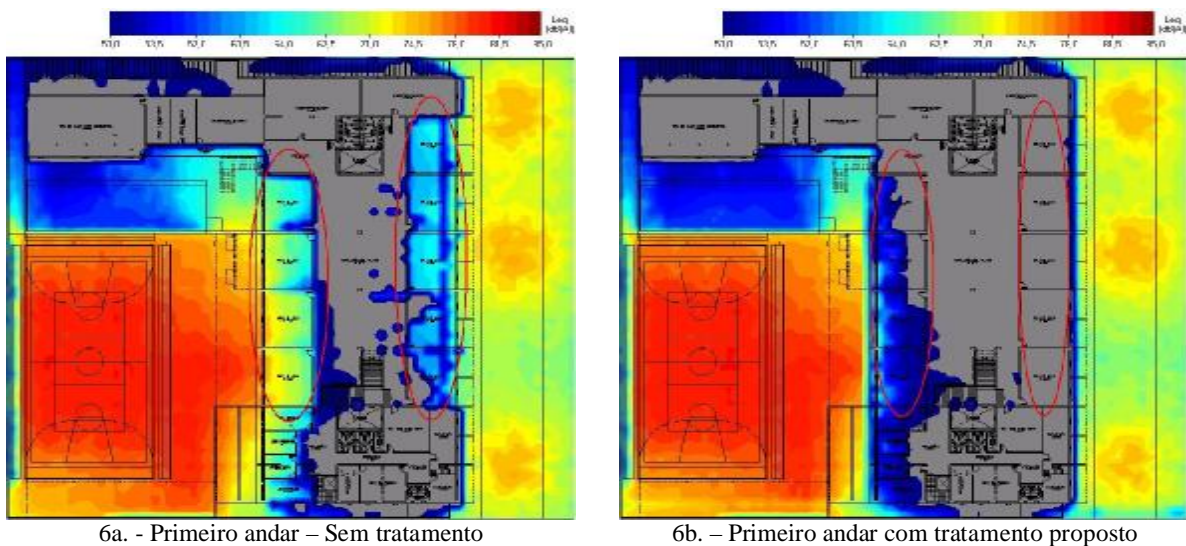


Figura 5 - Modelo tridimensional da Escola A com os painéis instalados.

Nas Figs. 6a e 6b estão mostradas as curvas de isopressão sonora simuladas, $L_{aeq-dB(A)}$, para a Escola A no primeiro andar, para a situação atual simulada e para o tratamento proposto, respectivamente.



6a. - Primeiro andar – Sem tratamento

6b. – Primeiro andar com tratamento proposto

Figura 6 - Curvas de isopressão sonora simuladas com e sem tratamento, para a Escola A no primeiro andar.

Pela análise das Figs. 6a e 6b é constatada a eficiência do tratamento sugerido pelas áreas demarcadas (salas de aula sujeitas a ruído excessivo advindo do exterior). O ruído proveniente das quadras poliesportivas e do trânsito é atenuado, não atingindo com a mesma intensidade as salas de aula, tanto no primeiro quanto no segundo andar. O ruído das quadras é atenuado em cerca de 18 dB(A) antes de atingir o interior das salas de aula, sendo o valor residual máximo, encontrado nas salas de aula para a simulação do tratamento, da ordem de 64 dB(A).

4.2. Escola B

Serão adotados aqui os mesmos painéis defletores propostos para o tratamento acústico na Escola A.

Configuração: montagem horizontal, instalados entre as quadras e salas de aula. As dimensões dos painéis utilizados para os respectivos locais de instalação, são:

- Entrada da quadra central a uma distância de 1,2 m da entrada, em uma extensão de $L = 3,9$ metros e altura de 2,75 m, onde foram instalados 46 lâminas;
- Entre as salas de aula e a quadra de *futsal* coberta: imediatamente na entrada, preso às colunas de sustentação do teto, em uma extensão de $L = 24,6$ metros, onde foram instalados 93 lâminas.

Para se ter acesso à quadra de futsal coberta, foi deixado uma abertura de 1,2 m em um dos lados da quadra. Tal abertura não atrapalhará na eficiência do tratamento, já que em frente a ela não existem salas de aula, mas sim um corredor.

A Fig. 7 ilustra o modelo tridimensional da escola com os painéis instalados.



Figura 7 - Modelo tridimensional da Escola B com os painéis instalados.

Nas Figs. 8a e 8b estão mostradas as curvas de isopressão sonora simuladas, L_{aeq} -dB(A), para a Escola B no nível térreo, para a situação atual simulada e para o tratamento proposto, respectivamente.

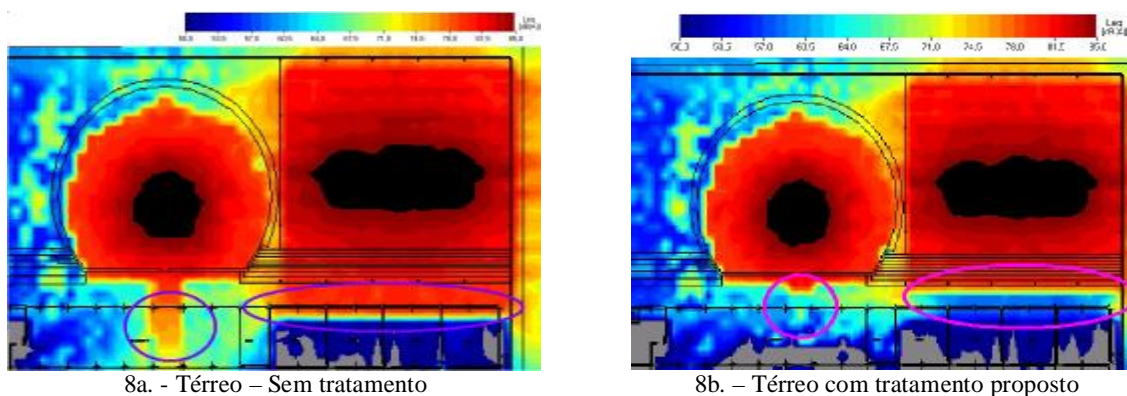


Figura 8 - Curvas de isopressão sonora simuladas com e sem tratamento, para a Escola B no nível térreo.

Pela análise das Figs. 8a e 8b é constatada a eficiência do tratamento pelas áreas demarcadas. O ruído proveniente da quadra central é atenuado, não atingindo a área da cantina. Já o ruído da quadra de futsal coberta é atenuado em

cerca de 20 dB(A) antes de atingir o prédio das salas de aula, sendo que o valor residual máximo encontrado nas salas de aula para a simulação do tratamento foi da ordem de 53 dB(A).

5. CONCLUSÕES:

Escola A:

- A1 - Dos resultados das simulações, constatou-se que a principal causa dos elevados níveis de ruído na Escola A são as atividades de aulas de educação física nas quadras, seguido pelo trânsito de veículos nas ruas do entorno e praça em frente a escola.
- A2 - Não foi avaliada nenhuma solução para a mitigação do ruído proveniente das salas de aula, uma vez que tal problema pode ser sanado pela adoção de controle comportamental dos alunos pelos professores durante o horário de aula.
- A3 - Analisando o *layout* das quadras, a simples construção de paredes ao redor do pátio onde elas se encontram solucionaria o problema do ruído gerado pelas atividades de educação física, contudo tal medida afetaria a ventilação local.
- A4 - Para a mitigação dos altos níveis de ruído provenientes das quadras poliesportivas e do trânsito de veículos na rua, optou-se por adotar a instalação de painéis defletores entre as quadras e salas de aula e entre a rua e as salas de aula.
- A5 - Com a instalação dos painéis defletores, o ruído das quadras poliesportivas foi atenuado em cerca de 18 dB(A) antes de atingir as salas de aula, sendo o valor residual máximo encontrado no interior das salas de aula para a simulação do tratamento de 64 dB(A).
- A6 - O ruído do trânsito também teve sua influência praticamente eliminada, tornando o ambiente propício às aulas (quando não levado em consideração o ruído proveniente da conversa dos alunos).
- A7 - Recomenda-se que tal solução seja aplicada em toda a extensão aberta entre as janelas das salas de aula e o ambiente externo ao prédio da escola, inclusive nas janelas da parte administrativa, adjacentes ao pátio do térreo.
- A8 - Caso seja de interesse a atenuação do ruído das quadras para a vizinhança da escola, é recomendado substituir as chapas de metal que cercam o pátio das quadras pelos painéis defletores, que se mostraram eficazes na atenuação do ruído gerado pelas atividades desportivas.

Escola B:

- B1 - Dos resultados das simulações, constatou-se que a principal causa dos elevados níveis de ruído na Escola B são as atividades de educação física nas quadras, seguido pelo trânsito e concentração de estudantes na cantina.
- B2 - Apesar dos altos níveis de ruído encontrados nas calçadas ao redor da escola, 74 dB(A), no interior da escola tais níveis não passam de 64 dB(A) nos pátios e quadras e de 55 dB(A) no interior das salas de aula.
- B3 - Não foi avaliada nenhuma solução para a mitigação do ruído na região da cantina, uma vez que tal problema pode ser sanado pela simples proibição da permanência de alunos fora das salas de aula quando faltarem professores.
- B4 - Para a mitigação dos altos níveis de ruído provenientes das quadras poliesportivas optou-se por adotar a instalação de painéis defletores (venezianas acústicas de aço) entre as quadras e salas de aula e na entrada da quadra central.
- B5 - Com a instalação dos painéis defletores, o ruído proveniente da quadra central foi atenuado, não atingindo a área da cantina.
- B6 - Com a instalação dos painéis defletores, o ruído da quadra de futsal coberta foi atenuado em cerca de 20 dB(A) antes de atingir as salas de aula, sendo o valor residual máximo encontrado no interior das salas de aula para a simulação do tratamento de 53 dB(A).
- B7 - Recomenda-se que tal solução seja aplicada em toda a extensão aberta ao redor das quadras e, se possível, substituir as chapas de metal planas pelas venezianas acústicas, visando atenuar assim a exposição da comunidade aos níveis de ruído provenientes das atividades de educação física.

6. CONCLUSÕES GERAIS

- C1 - O programa computacional conseguiu prever as características do ambiente, bem como as modificações acústicas propostas para a mitigação de ruído em salas de aulas nas escolas.
- C2 - Com a simulação se torna possível, antes da efetiva implementação da solução, a sua verificação através do programa computacional.
- C3 - Várias possíveis soluções podem ser simuladas e se escolher dentre elas a de melhor desempenho tecnicamente.
- C4 - Com a identificação da potência sonora de novas fontes é possível simular os novos campos sonoros no entorno da escola, e salas de aulas.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o suporte financeiro dado pela FAPEMIG – Processo Nro. TEC 1949/06 Ref: Projeto “A valiação das condições acústicas em sala de aula nas escolas da cidade de Uberlândia-MG”.

8. REFERÊNCIAS

- Bistafa, S. R.. Acústica Aplicada ao Controle de Ruído. 1º Ed., 368 p., 2006. Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 2006.
- Bradley, J. S., and Picard, M., Revisiting Speech Interference by Noise in Classrooms and Considering Some Possible Solutions. 133rd ASA Meeting State College, PA, 1997.
- Celani, Alessandra Caffarena, et all. Ruído em escolas. BIREME/OPAS/OMS - Biblioteca Virtual em Saúde. Id: 227952, 1994.
- Day, C. W. Sounding Off. AS&U's Tech Talk column. KBD Planning Group, Bloomington. 1996.
- Gerges, Samir Nagi Yousri. *Ruído: fundamentos e controles*. 2.ed., 2000, Florianópolis. ISBN: 0005011965.
- Machado, A. M. Ruído Industrial: Efeitos e Controle. Monografia do curso de Segurança do Trabalho, 1996, Uberlândia-MG.
- Keränen, Jukka; Hongisto and V alteri. Comparison of Simple Room Acoustic Models Used for Industrial Spaces. Acta Acustica united with Acustica, Volume 96, Number 1, January/February 2010 , pp. 179-194.
- Jiang, Tao. Noise in Gymnasium of the school. 133rd ASA/ NOISE COM-97 Meeting. State Colellege, Pennsylvania. 1997.
- Nunes, M. A. A. e Duarte, M. A. V.. Identification of Noise Sources Using Genetic Algorithm. In: Inter-noise 2005, 2005, Rio de Janeiro. The 2005 International Congress and Exposition on Noise Control Engineering.
- Nunes, M. A. A.. Uma Metodologia para Quantificação da Contribuição Sonora de Fontes de Ruído Industrial no Meio Ambiente. Dissertação de Mestrado, 153 p., 2006. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG.
- Peter Svensson, The Early History of Ray Tracing in Room Acoustics. Edited by Peter Svensson Trondheim, June 2008. ISBN 978-82-995422-3-4.
- Slama, J. G.; Kortchmar, L.. Exposição Ao Ruído Em Ambientes de Trabalho: Panorama Internacional. In: 1 Simpósio Brasileiro de Metrologia em Acústica e Vibrações, XVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, 1996. Petrópolis RJ. p. 191-194.
- Kroeff, G.; Pavanello, L.; Medeiros, E. B.. Preliminary Modeling Of Acoustic Emission In An Urban Substation. In: Congresso Ibero-Latino Americano de Métodos Computacionais para Engenharia, 1997. Anais do Congresso Ibero-Latino Americano de Métodos Computacionais para Engenharia. Brasília. v. 2. p. 915-921.

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

Modeling and study solution for the noise levels mitigation in schools of Uberlândia-MG.

Ricardo Humberto de Oliveira Filho, rholiveira@mecanica.ufu.br¹

Elias Bitencourt Teodoro, teodoro@mecanica.ufu.br¹

Marcus Antonio Viana Duarte, mvduarte@mecanica.ufu.br¹

Marcos Morais de Sousa, mmsousa@mecanica.ufu.br¹

Vera Lúcia D. S. Franco, vlfranco@ufu.br¹

¹ Federal University of Uberlândia, Faculty of Mechanical Engineering - Campus Santa Monica - CEP: 38400-089 Uberlândia-MG

Abstract: Noise pollution is one of the main factors that affect the health and human behavior. The noise can upset the man at work, in the communication, in leisure hours and rest. The Brazilian standard NBR 10.152 - 'Noise levels for comfort acoustic' fix noise limits to the environmental comfort. Technology and knowledge are necessary for monitoring, evaluation and controlling the noise. In this work is presented: the validation of acoustic models of schools buildings; the results of sensitivity analysis to classify the contribution of the main sources for the simulated noise levels at the school edification; the results of simulations with control measures for the mitigation of the noise levels of the schools studied. For the study of the noise levels generated at the schools in analysis, a procedure for simulating the acoustic field based in monopoles sources was developed for the sound power and the theory of acoustic rays to calculate the diffusion noise. After the validation of mathematical computational model, using the levels of LAeq-dB(A) of some reference points, a sensitivity analysis was carried out to establish the order of importance of the noise sources (pupils in gymnasium and cars in the streets) at the simulated noise levels. This procedure was performed computationally turning off sources and computing the percentage of increased area - the region studied - with values of LAeq below 60, 70 and 80 dB(A) when compared with the areas percentage calculated in normal conditions of the schools. With the sources classified by order of importance, the possibilities of acoustic treatments that could be applied (noise barriers and noise attenuators) for the purposes of control of the overall levels of noise calculated on the premises of the schools were studied. Afterwards computational simulations were carried out with the values of LAeq-dB(A) in the studied areas for acoustic treatments proposed for the analysis goals, with promising results.

Keywords: *room acoustics, acoustics simulations, noise mitigation.*