MAPA ACÚSTICO COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE RUÍDO DE TRÁFEGO VEICULAR EM ARACAJU – BRASIL

ACOUSTIC MAP AS TOOL FOR ASSESSMENT OF VEHICULAR TRAFFIC NOISE IN ARACAJU – BRAZIL

Italo César Montalvão Guedes ¹

Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laranjeiras, SE, Brasil,
italomontalvao@yahoo.com.br

Stelamaris Rolla Bertoli ²

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, Brasil,
rolla@fec.unicamp.br

Resumo

O ruído de tráfego é uma das principais questões que afetam o bem - estar e a saúde humana em ambientes urbanos. Este artigo mostra uma aplicação de mapa acústico como ferramenta para avaliação do ruído de tráfego veicular urbano através de simulações acústicas (*software Predictor*, versão 9.0 - *Brüel & Kjær*). O objeto de estudo foi um trecho da Av. Augusto Franco, importante avenida na zona urbana da cidade de Aracaju, Brasil. A modelagem acústica e simulações foram baseadas em medições de dados acústicos, de tráfego e geométricos coletados em novembro/dezembro de 2013 e junho de 2014. Os resultados foram discutidos com base em mapas acústicos do cenário atual, seguidos pela criação e simulação de cenários hipotéticos de composição e fluxo de veículos. Foram feitas análises comparativas entre descritores acústicos dos mapas e legislação municipal, normas - internacional e nacional, além da literatura técnica de ruído urbano. Os resultados revelam a existência do impacto do ruído de tráfego no trecho analisado, o que pode causar desconforto ou até mesmo efeitos adversos à saúde da população exposta. Este estudo aponta a importância do desenvolvimento de mapas acústicos para análise do ruído ambiental por meio de diversos cenários com alteração de características de tráfego de uma dada região, visando melhores condições de conforto acústico nas cidades e podendo subsidiar a tomada de decisão de políticas públicas de urbanização.

Palavras-chave: Ruído ambiental. Ruído de tráfego. Mapas acústicos. Simulação acústica.

Abstract

The traffic noise is one of the major issues affecting human health and well being in urban environments. This paper shows an application of acoustical map as tool for evaluating noise of urban vehicular traffic with acoustic simulations (Predictor software, version 9.0 - Brüel & Kjær). The study object was a stretch of Av. Augusto Franco, important avenue in the urban area of the city of Aracaju, Brazil. The acoustic modeling and simulations were based on acoustics measurements, and traffic and geometric data collected in November/December, 2013 and June, 2014. The results were discussed on the basis of acoustic maps of the current scenario, followed by the creation and simulation of hypothetical scenarios of vehicle flow and composition. There have been done comparative analyses between acoustic descriptors from the maps with Municipal Legislation, International and National Standards, besides the technical literature of urban noise. The results reveal the existence of traffic noise impact in the analyzed area, which may cause discomfort or even adverse health effects in the exposed population. This study indicates the importance of developing acoustic maps for analysis of environmental noise through various scenarios with changing traffic characteristics of a given region to obtain better conditions of acoustic comfort in cities and support the decision making of urban public policy.

Keywords: Environmental noise. Traffic noise. Acoustic maps. Acoustic simulation.

How to cite this article:

GUEDES, Italo César Montalvão; BERTOLI, Stelamaris Rolla. Mapa acústico como ferramenta de avaliação de ruído de tráfego veicular em Aracaju - Brasil. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v. 5, n. 2, p. 40-51, jul./dez. 2014

Introdução

O ruído ambiental é hoje uma das mais relevantes fontes de reclamação por parte da opinião pública (SEONG *et al.*, 2011), estando relacionado a vários efeitos negativos à saúde e impactos socioeconômicos (BERGLUND; LINDVALL; SCHWELA, 1999; KANG, 2007; HAMMER; SWINBURN; NEITZEL, 2014).

Diversos estudos apresentam o ruído do tráfego veicular como principal agente de poluição sonora em áreas urbanas (SINGAL, 2005; MURGEL, 2007; DINTRANS; PRÉNDEZ, 2013). Um fato que é corroborado dia a dia, devido ao contínuo aumento da população e da frota de veículos nas cidades. Nesses espaços, o ruído do trânsito é influenciado pelas acelerações e desacelerações, fluxo, composição e velocidade dos veículos, forma urbana, distância em relação à fonte de ruído, topografia, condições meteorológicas, além da própria postura do motorista (GUEDES, 2005; KANG, 2007).

Inserido nesta temática, o presente artigo tem como objetivo principal mostrar uma aplicação de mapa acústico como ferramenta de avaliação do ruído de tráfego veicular urbano, através de *software* para simulação acústica (*Predictor*, versão 9.0, *Brüel & Kjær*). Utilizou-se como objeto de estudo um trecho da Av. Augusto Franco (Av. AF), localizada na cidade de Aracaju – Sergipe – Brasil. O estudo se propôs a analisar o cenário acústico atual, bem como prever situações hipotéticas do ruído decorrente do tráfego da referida via.

Mapeamento acústico

O mapa acústico (ou mapa de ruído) tem como principal objetivo a criação de representações visuais do ruído ambiental de uma dada área geográfica, sendo os níveis de ruído representados de maneira semelhante às curvas topográficas de mapas convencionais. A norma ISO 1996 -2 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007) recomenda identificar nesses mapas os limites de cada curva por meio de cores padronizadas em intervalos de 5 dB.

Santos e Valado (2004) comentam que uma das principais finalidades dos mapas de ruído é a sua aplicação como ferramenta para o planejamento territorial de um determinado município em articulação com os responsáveis pela gestão ambiental.

Segundo os mesmos autores, o uso desses mapas possibilita: (i) quantificar e avaliar a exposição da população ao ruído em uma dada região; (ii) formar banco de dados para o planejamento urbano, apontando principais atividades ruidosas, e oferecendo subsídios para um zoneamento acústico municipal; (iii) identificar zonas de conflito entre níveis de ruído medidos ou simulados com níveis estabelecidos por normas (internacionais e/ou nacionais) e legislações municipais; (iv) fornecer informações para planos de controle da poluição sonora; (v) prever cenários futuros, avaliando-se o impacto sonoro de infraestruturas e medidas mitigadoras do ruído.

A partir da Diretiva 2002/49/CE a elaboração de mapas estratégicos de ruído tornou-se obrigatória na Europa para as aglomerações urbanas com mais de 250 mil habitantes. Tal Diretiva tem como proposta central definir uma abordagem comum para evitar, prevenir ou reduzir os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído ambiental nos Estados - Membros Europeus (PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, 2002).

No Brasil, os mapas acústicos não têm sido realizados de maneira sistemática no âmbito de suas cidades, existindo segundo o arquiteto Marcos Holtz alguns exemplos pontuais, como a carta acústica de Fortaleza (CE) de iniciativa da Secretaria do Meio Ambiente e Controle Urbano (DACOL, 2013).

Porém, esse tema vem ganhando notoriedade, com o desenvolvimento contínuo de trabalhos acadêmicos (CALIXTO, 2002; MAIA, 2003; NAGEM, 2004; GUEDES, 2005; NARDI, 2008; MARDONES, 2009; SOUZA, 2010; ZANNIN; SANT'ANA, 2011; SOUZA FILHO, 2012; FIEDLER, 2013) e diante do aumento da poluição sonora nas médias e grandes cidades brasileiras.

Esses mapas podem ser elaborados considerando diferentes escalas, seja de uma quadra, de um bairro ou até mesmo de uma cidade. Podem ser obtidos por meio de medições sistemáticas de níveis sonoros, segundo uma malha de pontos pré-definidos, ou a partir de *softwares* comerciais para simulação acústica.

Os mapas acústicos com base nesses *softwares* mostram-se mais vantajosos, pois, fornecem informações mais detalhadas das principais fontes de ruído, análises de maior número de pontos da área em estudo, avaliações de situações hipotéticas e rápidas atualizações. Porém, para garantir maior confiabilidade nos resultados, são necessárias coletas de dados geométricos e acústicos para calibração do modelo

proposto, além da habilidade e conhecimento técnico em modelagem acústica por parte do usuário (BRÜEL & KJÆR, 2000).

Os *softwares* para simulação acústica se utilizam de diferentes métodos de cálculo para variados tipos de fonte de ruído, através de modelos matemáticos que descrevem a propagação sonora ao ar livre, e consideram as influências das características acústicas das fontes (nível de potência sonora), geométricas da área (topografia, edifícios, muros, etc.), meteorológicas (vento, temperatura, umidade relativa), além de importantes fenômenos acústicos (reflexão e difração).

Materiais e métodos

Os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho foram: (i) definição do objeto de estudo; (ii) aquisição e tratamento dos dados relacionados às grandezas geométricas, acústicas e de tráfego; (iii) simulações acústicas (*software* comercial – *Predictor 9.0*, *Brüel & Kjær*); (iv) calibração do modelo: comparação dos resultados obtidos nas simulações acústicas com os dados das medições *in loco*; (v) análises e discussões dos mapas acústicos, com avaliação do ruído ambiental na região (cenários: atual e hipotéticos). Tais atividades serão detalhadas a seguir.

Definição do objeto de estudo

Como objeto de estudo, escolheu-se um trecho (aprox. 1000 m de extensão) da Av. AF, importante via arterial intraurbano de Aracaju (SE). Tal avenida possui uma via férrea em seu eixo central (atualmente desativada), indicando sua importância histórica e estratégica na malha urbana. Localiza-se entre a Rua Nestor Sampaio e Av. Gonçalo Rolemberg Leite (Figura 1).

O tipo de uso e ocupação do solo ao longo da avenida sofreu alterações com o passar dos anos quanto à infraestrutura e tipologia edilícia. Atualmente, caracteriza-se como área de ocupação mista (residencial e comercial), com predomínio dos estabelecimentos comerciais nas margens da via, áreas residenciais nos miolos de quadras, e presença de alguns vazios urbanos.

Coleta de dados

O ponto de partida para a elaboração dos mapas acústicos deste trabalho consistiu na obtenção de grandezas geométricas, acústicas e de tráfego.

Figura 1 - a) Mapa parcial de Aracaju, b) Ortofotocarta da Av. AF (Ano: 2004) - Destaque: trecho analisado e c) Foto ponto de medição - Destaque: Posição do medidor de nível de pressão sonora (sonômetro)

Fonte: Os autores

A coleta dos dados geométricos baseou-se em observações de mapas da região e levantamentos *in loco*, obtendo-se o número de pistas, faixas, sentidos dos fluxos de veículos; tipo de pavimento; dimensões (largura e comprimento) e gradiente da via; existência ou não de obstáculos entre a via e edificações; presença ou não de canteiro central, ciclovias e passeios; uso e ocupação do solo na circunvizinhança (Figura 2).

A coleta dos dados de tráfego (composição, fluxo e velocidade média dos veículos) ocorreu simultaneamente às medições acústicas (nível de pressão sonora - L_p), em situações de fluxo livre de veículos, com tempos variáveis para cada registro (amostra) e em dias úteis. A contagem era interrompida sempre que se observava uma acentuada redução do referido fluxo. Foi feita na parte da manhã, em 26/11/2013 (terça-feira) e 27/11/2013 (quarta-feira), entre 9h20min e 12h10min, e na parte da tarde, em 03/06/2014 (terça-feira) entre 15h10min e 16h00min, totalizando 60 amostras (20 amostras para cada turno de medição).

O ponto de coleta foi localizado, aproximadamente, na região intermediária do trecho, às margens de uma das pistas da avenida, afastando-se de cruzamentos e pontos de ônibus, de modo a evitar interferências nas medições devido às acelerações e desacelerações de veículos (Figuras 2 e 3).

Considerou-se esse ponto representativo tendo em vista que os fluxos de veículos, praticamente, se mantinham constantes ao longo do trecho, mesmo existindo vias secundárias perpendiculares. Tal medida simplificou esta etapa, com reduções de deslocamentos da equipe técnica.

O levantamento das características de tráfego se deu por meio de contagens diretas de veículos em ambas as pistas, executadas ao mesmo tempo por duas pessoas.

Figura 2 - Planta baixa esquemática – seção da Av. AF

Fonte: Adaptado de Guedes, Kohler e Carvalho (2014)

Figura 3 - Corte esquemática - seção da Av. AF (Destaque: localização do sonômetro)

Fonte: Adaptado de Guedes, Kohler e Carvalho (2014)

Os níveis de pressão sonora foram medidos, seguindo a NBR 10151 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000) e sob condições meteorológicas adequadas. Utilizou-se um sonômetro, marca *Instrutherm*, mod. DEC 5010, ponderado em frequência - curva A e no modo *fast*. Antes e depois de cada medição, o mesmo foi calibrado (calibrador acústico, marca *Instrutherm*, mod. Cal 3000). O sonômetro foi posicionado na altura de 1,20m em relação ao piso e afastado pelo menos 2,00m de superfícies refletoras, como: muros e paredes.

Os valores médios dos níveis sonoros equivalentes - contínuo (L_{Aeq}) foram usados na calibração do modelo acústico e os valores médios dos dados de tráfego de cada pista (Norte - Sul e Sul - Norte) inseridos no *Predictor 9.0* (*Brüel & Kjær*) para caracterização acústica da fonte de ruído em questão (Fonte linear).

Para a modelagem geométrica da área, utilizou-se inicialmente o *software AutoCad 2014*, para representação da planta baixa com base na ortofotocarta da região (Ano: 2004), obtida junto a Empresa Municipal de Urbanização (EMURB) da Prefeitura Municipal de Aracaju (2004).

Os principais elementos construtivos da região (edificações, muros, etc.), áreas com superfícies porosas (gramas e terrenos) e eixos das pistas da Av. AF foram representados. Houve necessidade de atualizar a base cartográfica para o ano de 2014, com alterações ou inserções de novas edificações, muros e tipos de superfícies. Por simplificação, adotou-se uma topografia plana, uma situação bem próxima da realidade do local.

Para importação do modelo geométrico no *software Predictor 9.0*, foram gerados arquivos (.dxf), convertendo todos os elementos criados no *Autocad 2014* em objetos do *software* de simulação acústica, adotando-se propriedades específicas (número de pavimentos das edificações; altura de muros; fluxo e composição de veículos, velocidade média, gradiente das pistas). As Figuras 4 e 5 mostram, respectivamente, planta baixa e 3D (vista SE) do modelo geométrico da região criado no ambiente do *Predictor 9.0*.

Sabe-se que as modelagens, os cálculos e as avaliações realizadas pelos principais *softwares* comerciais para simulação acústica são norteados por normas internacionais, que consideram diferentes tipos de fontes de ruído. Neste trabalho adotou-se como modelo de cálculo, a ISO 9613-2 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1996), utilizada em análises de ruídos de tráfego rodoviário. Desta forma, a linha de eixo de cada pista da Av. AF, ao ser convertida em objeto do tipo *Road* na interface do *Predictor 9.0*, recebeu os atributos específicos mostrados na Tabela 1.

As categorias de veículos estabelecidas pela ISO 9613-2 são: motocicletas, veículos leves, veículos pesados médios e veículos pesados. No entanto, a contagem de veículos realizada na ocasião das coletas de dados teve como referência inicial a norma alemã RLS90, que considera como veículos pesados àqueles com peso igual ou superior a 2,8 toneladas. Assim, este trabalho adotou as seguintes categorias: motos, veículos leves (automóveis, caminhonetes, utilitários e *vans*) e veículos pesados (caminhões, micro-ônibus e ônibus). Tal fato pode ser uma das limitações e simplificações do modelo acústico obtido.

Figura 4 - Planta baixa do modelo geométrico da região

Fonte: Os autores

Figura 5 - 3D do modelo geométrico da região – Vista SE

Fonte: Os autores

Tabela 1 - Atributos inseridos no objeto (Road) – Av. AF

Via/Sentido	Fluxo Q [Veic./h]	Composição de veículos (%)			Vel. média [Km/h]
		Motos	VL	VP	
Norte-Sul	1859	21	75	4	60
Sul-Norte	1133	19	76	5	

Obs.: (i) VL – Veículos leves; VP – Veículos pesados. (ii) Adotou-se como velocidade média o limite estabelecido para a via. (iii) Gradiente da via: 0% (região tipicamente plana).
 Fonte: Os autores

Finalizada a etapa de modelagem acústica, iniciaram-se os cálculos para elaboração dos mapas acústicos no plano horizontal (*Horizontal contours*) e vertical (*Cross section contours e vertical contours on the facades*). Para os cálculos dos níveis sonoros no plano horizontal, delimitou-se uma área, abrangendo, aproximadamente, quatro bairros como limites laterais ao longo do trecho analisado. Dentro dessa área de cálculo (*Grid*), o *software* gerou uma malha de pontos receptores, cujo espaçamento entre eles foi definido em função da precisão, do tempo de cálculo e dos objetivos do estudo.

Para os mapas horizontais adotou-se o espaçamento de 10,00 m, por se tratar de uma região urbana (GUEDES; BERTOLI; ZANNIN, 2011; FIEDLER, 2013). Definiu-se como altura do plano de cálculo o valor de 1,20m, correspondente à posição do sonômetro em relação ao nível do solo, para posterior comparação com os níveis sonoros medidos no ponto de coleta, e com valores-limite estabelecidos pelas normas, legislações e demais referências adotadas.

Para os mapas verticais (*Cross section contours*), definiu-se um espaçamento de 5 m e uma altura de cálculo relativa à direção vertical (*Height*) com base na maior altura das edificações seccionadas, garantindo a visualização completa das mesmas. A seguir serão apresentadas as análises e discussões dos mapas acústicos, com a visualização da distribuição dos níveis sonoros e avaliação do ruído ambiental da região estudada.

Resultados e discussões

Para validar o modelo acústico proposto, realizou-se a comparação do nível sonoro calculado pelo *software Predictor 9.0* com o valor medido no ponto de referência, (Tabela 2). Para tanto, adotou-se a média logarítmica de todos os níveis sonoros equivalentes – contínuo (*LAeq*) medidos. A Diretiva 2002/49/CE (PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, 2002) estipula este descritor como base para o indicador de nível sonoro – dia (*Lday*), que é determinado pelo *software* de simulação acústica.

Tabela 2 - Diferença entre nível sonoro simulado e medido (Períodos: Manhã; tarde e Manhã/ tarde).

Período	Nível sonoro simulado [dB(A)]	Nível sonoro medido [dB(A)]	Diferença [dB(A)]
Manhã	77,5	73,9	+3,6
Tarde	79,9	74,5	+5,4
Manhã/Tarde	78,9	74,2	+4,7

Fonte: Os autores

Embora a diferença de + 4,7 dB(A) (Período diurno: manhã e tarde) supere a incerteza de +/- 4,0 dB(A), estabelecida pela WG - AEN (2006) para mapas de ruído em zonas urbanas, adotou-se como sendo aceitável, diante das simplificações realizadas no modelo acústico e do objetivo principal deste artigo. Após esta verificação, os mapas acústicos foram gerados em relação aos planos, horizontal e vertical, para o período diurno.

A Figura 6 apresenta o mapa acústico horizontal para uma altura do plano de cálculo de 1,20m e *Grid* 10x10m. Pode-se observar nesse mapa que os níveis sonoros nas fachadas das edificações às margens da Av.

AF estão na maioria dos casos entre 70 e 80 dB(A), com existência de situações, entre 80 e 85 dB(A).

Figura 6 - Mapa acústico horizontal ao longo do trecho da Av. AF (Período: diurno)

Fonte: Os autores

Conforme já comentado, o tipo de uso e ocupação do solo da região é misto (residencial e comercial), com predomínio de estabelecimentos comerciais e de serviços às margens da avenida e áreas residenciais nos miolos de quadras. Considerando tais características, os níveis de emissão sonora observados estão bem acima dos limites aceitáveis pela NBR 10151 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000) para o período diurno.

A NBR 10151 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000) estabelece para área

mista, predominantemente residencial, o nível aceitável de 55 dB(A), para regiões com vocação comercial esse valor passa a ser de 60 dB(A) e para área estritamente urbana ou de hospitais ou de escolas, os níveis sonoros aceitáveis devem ser de 50 dB(A). Ressalta-se a existência de instituições de ensino nas proximidades do trecho analisado da avenida.

Em Aracaju, a Lei Nº 2410 (ARACAJU, 1996) e o Código de Proteção Ambiental – Lei Nº 1789 (ARACAJU, 1992) são os dispositivos legais pertinentes à poluição sonora, porém não contemplam especificamente o ruído do tráfego veicular.

A Lei Nº 2410 (ARACAJU, 1996) estabelece 55 dB(A) como nível máximo de som (ruído) permitido às máquinas, motores, compressores e geradores estacionários para o período diurno, e 50 dB(A) para o período noturno, em quaisquer pontos a partir dos limites do imóvel onde se encontre a fonte emissora ou no ponto de maior nível de intensidade no recinto receptor. Tal lei considera o período diurno das 7h às 18h e noturno, das 18h às 7h do dia seguinte. A Lei Nº 1789 (ARACAJU, 1992) aborda a poluição sonora na seção II e faz referência a Lei Nº 2410 (ARACAJU, 1996).

Os níveis sonoros observados às margens da Av. AF se tornam ainda mais preocupantes, quando se compara os mesmos com os estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde - OMS (BERGLUND; LINDVALL; SCHWELA, 1999), em que níveis de ruído a partir de 70 dB(A) podem acarretar doenças às pessoas, dependendo do tempo de exposição e da suscetibilidade de cada indivíduo.

Da Figura 6, pode-se observar ainda a atenuação da energia sonora com o aumento da distância em relação à Av. AF e devido à presença de obstáculos (muros, edificações, etc.). Nos pontos mais afastados da avenida e nos miolos de quadra, os níveis sonoros assumem valores entre 40 e 55 dB(A), indicando o menor impacto sonoro do trânsito da Av. AF nestes locais.

A Figura 7 agrupa exemplos de mapas no plano vertical (*Cross section vertical* e *vertical contours on the facades*), com a representação da distribuição dos níveis de ruído nas seções transversais indicadas e em algumas fachadas de edificações, por exemplo, nos prédios com maiores gabaritos de altura da região em estudo (Edificações multifamiliares com 15 pavimentos - 47 m de altura).

Figura 7 - Mapas nos planos verticais: *Cross sections e Vertical contours on the facades*

Fonte: Os autores

Na fachada voltada para a Av. AF do prédio em destaque (elipse vermelha), os níveis sonoros nos pavimentos inferiores até a sua altura média estão entre 40 e 60 dB(A). A partir daí os níveis sonoros assumem valores maiores, entre 60 e 65 dB(A). Essas informações demonstram o efeito barreira da edificação (PORTOBELO SHOP) localizada entre o prédio analisado e a Av. AF, criando uma zona de sombra acústica, principalmente, para o 1º (térreo) e 2º pavimentos.

O prédio vizinho, também de 15 pavimentos, apresenta uma característica semelhante na distribuição dos níveis sonoros nos diferentes pavimentos, havendo uma predominância de valores entre 65 e 70 dB(A) a partir de sua altura média, tendo em vista que o mesmo se encontra mais próximo da fonte de ruído (Av. AF).

A fim de avaliar o impacto do ruído de tráfego no entorno próximo à Av. AF, foi estabelecida uma área de abrangência ao longo do trecho analisado, correspondendo a um polígono retangular com limites laterais a 150 m do eixo central da via (Figura 6 – retângulo vermelho).

Ressalta-se que os níveis sonoros extraídos para esta análise foram calculados nas simulações, considerando o espaçamento (*Grid*) entre pontos receptores de 25 m e altura ($h=1,20m$) para o plano de cálculo.

Levando-se em conta esses valores, foram feitas análises comparativas entre os níveis sonoros simulados e os limites estabelecidos pela NBR 10151 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000), Lei N° 2410 (ARACAJU, 1996) e OMS (BERGLUND; LINDVALL; SCHWELA, 1999), além da obtenção da resposta estimada da comunidade diante do ruído com base na ISO/R 1996 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1971).

A Figura 8 apresenta as frequências relativas e frequências relativas acumuladas dos níveis sonoros obtidos pelas simulações. Do universo analisado, 42% dos valores de níveis sonoros se mostram inferiores a 55 dB(A), limite aceitável para a região em estudo segundo a NBR 10151 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000) e Lei N° 2410 (ARACAJU, 1996).

A frequência relativa acumulada para as classes 4 a 10 (55 – 90 dB(A)) foi de 58%, sendo que não houve registro de níveis sonoros iguais a 55 dB(A). Em relação aos níveis sonoros iguais ou superiores a 70 dB(A), que podem provocar doenças, a frequência relativa acumulada foi de 21% (Figura 8).

Com base na ISO/R 1996 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1971) foi realizada uma estimativa da resposta da comunidade em relação ao ruído da Av. AF, sendo adotadas as informações apresentadas na Tabela 3.

Figura 8 - Frequências relativas e relativas acumuladas. Legenda: Classe 1 [40 – 45 dB(A)]; Classe 2 [45 – 50 dB(A)]; Classe 3 [50 – 55 dB(A)]; Classe 4 [55 – 60 dB(A)]; Classe 5 [60 – 65 dB(A)]; Classe 6 [65 – 70 dB(A)]; Classe 7 [70 – 75 dB(A)]; Classe 8 [75 – 80 dB(A)]; Classe 9 [80 – 85 dB(A)] e Classe 10 [85 – 90 dB(A)]

Fonte: Os autores

Tabela 3 - Resposta estimada da comunidade

Valor que o nível sonoro corrigido ultrapassa o nível critério [dB(A)]	Resposta estimada da comunidade	
	Categoria	Descrição
0	Nenhuma	Não se observa reação
5	Pouca	Queixas esporádicas
10	Média	Queixas generalizadas
15	Enérgicas	Ação comunitária
20	Muito enérgicas	Ação comunitária vigorosa

Fonte: ISO/R 1996:1971

Considerando-se as diferenças entre os níveis sonoros (L_{day}) e o nível critério adotado ($L_c = 55$ dB(A)), calculou-se as frequências relativas das mesmas, segundo as classes apresentadas na Figura 9.

Figura 9 - Histograma de frequências relativas com base nas categorias de resposta estimada da comunidade em relação ao ruído (ISO/R 1996:1971). Legenda: Classe I [$L_{day} - L_c < 5$] = 56%; Classe II [$5 \leq L_{day} - L_c < 10$] = 15%; Classe III [$10 \leq L_{day} - L_c < 15$] = 8%; Classe IV [$15 \leq L_{day} - L_c < 20$] = 5%; Classe V [$L_{day} - L_c \geq 20$] = 16%

Fonte: Os autores

Praticamente, 44% dos níveis sonoros verificados na região podem acarretar algum tipo de reclamação da comunidade, sendo que dentro desse cenário, 21% podem-se esperar pelo menos por reações enérgicas com ações comunitárias da população afetada.

Acompanhando uma tendência nacional, a frota de veículos em Aracaju cresceu, aproximadamente, 2,15 vezes nos últimos 10 anos (Figura 10). Em agosto de 2004 a frota total de veículos era de 123.802,00, passando a ser de 265.541,00 veículos em agosto de 2014 (DENATRAN, 2014).

Figura 10 - Evolução da frota de veículos em Aracaju

Fonte: DENATRAN (2014)

Diante desse quadro, este estudo realizou simulações acústicas de três situações hipotéticas para prever o impacto sonoro da região em análise, alterando-se características de composição e fluxo de veículos.

Tais situações hipotéticas foram: (1) redução do fluxo de veículos de 50% em relação à situação atual; (2) aumento do fluxo de veículo na via, considerando a tendência de crescimento atual da frota de veículos em Aracaju para um período de 10 anos (taxa de crescimento adotada: 57%) e (3) alterações na composição de fluxo de veículos, simulando de maneira simplificada uma transferência de transporte individual para coletivo. Para tanto, adotou-se como critério um aumento de 50% do número de ônibus em relação à situação atual, e consequentemente, uma redução de veículos leves de 23% (pista: Norte – Sul) e 18% (pista: Sul – Norte). Em termos de capacidade de passageiros, estabeleceu-se uma equivalência de 01(um) ônibus para 20 (vinte) veículos leves.

As Figuras 11 e 12 mostram, respectivamente, gráfico comparativo dos valores de níveis sonoros simulados (L_{day} ; dB(A)) entre a situação atual e os cenários hipotéticos supracitados e entre as frequências relativas quanto as categorias de resposta estimada da comunidade ao ruído (INTERNATIONAL

ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1971).

A Figura 11 indica que a situação hipotética 1 apresentou menores valores de nível sonoro (L_{day}) diante da redução de 50% do fluxo de veículos em relação a situação atual. De um modo geral, esse decréscimo foi da ordem de 3 dB(A).

Figura 11 - Gráfico comparativo entre os valores de L_{day} , dB(A) para todas as situações simuladas (atual, hipotética 1, hipotética 2 e hipotética 3)

Fonte: Os autores

A situação hipotética 2, que consistiu de uma predição acústica para período de 10 anos (taxa de aumento do fluxo: 57%), obteve maiores valores de L_{day} em relação a situação atual (aprox. 2dB(A)). A situação hipotética 3 não apresentou diferenças significativas em relação a situação atual.

Figura 12 - Gráfico comparativo entre frequências relativas das situações (atual, hipotética 1, hipotética 2 e hipotética 3) quanto as categorias de resposta estimada da comunidade ao ruído (ISO/R 1996:1971). Legenda: Classe I [$L_{day} - L_c < 5$]; Classe II [$5 \leq L_{day} - L_c < 10$]; Classe III [$10 \leq L_{day} - L_c < 15$]; Classe IV [$15 \leq L_{day} - L_c < 20$]; Classe V [$L_{day} - L_c \geq 20$]

Fonte: Os autores

Quanto a análise da resposta comunitária ao ruído, a Figura 12 mostra que a situação hipotética 1 provoca aumento da frequência relativa da Classe I, em que não se esperam queixas da comunidade frente ao ruído (Tabela 3). Conforme já era esperado, a situação hipotética 2 é acompanhada pela redução da frequência relativa da Classe I e, conseqüente, aumento das outras

Classes (II, III e V), indicando uma ampliação do número de possíveis queixas comunitárias.

Conclusão

Esse artigo apresentou uma aplicação de mapas acústicos na avaliação de ruído ambiental do tráfego veicular urbano por meio de *software* para simulação acústica. Com base nos resultados deste estudo foi possível concluir que:

- (i) Os mapas acústicos, horizontal e vertical, representam importantes ferramentas de avaliação de ruído ambiental, permitindo a visualização da distribuição dos níveis sonoros através de diferentes pontos de vista e os diferentes fatores que influenciam a propagação sonora ao ar livre.
- (ii) As fachadas das edificações às margens da avenida estão expostas a níveis sonoros entre 70 e 80 dB(A), que são explicados pelo grande fluxo de veículos existente (aprox. 3.000,00 veículos/h), por se tratar de uma importante via de ligação norte (centro) – sul da cidade. Tal faixa de valores de níveis sonoros tem sido observada em outros trabalhos de mapeamento de ruído de tráfego em vias urbanas (GARAVELLI *et al.*, 2010; FIEDLER, 2013).
- (iii) Os níveis de ruído simulados na região no entorno próximo a Av. AF (Polígono retangular vermelho - Figura 6) podem acarretar desconforto nas pessoas durante a realização de suas atividades cotidianas, como também, efeitos nocivos à saúde (58% e 21% do universo analisado, respectivamente). Este resultado corrobora com os obtidos pelo estudo de Guedes, Kohler e Carvalho (2014) que concluiu a existência de poluição sonora neste trecho, baseando-se em dados de níveis sonoros medidos, NBR 10151 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000), Lei Nº 2410 (ARACAJU, 1996), OMS (BERGLUND; LINDVALL; SCHWELA, 1999) e parâmetros de avaliação de ruído de tráfego: *Noise Pollution Noise* (LNP) e *Traffic Noise Index* (TNI).
- (iv) Cerca de 44% desses níveis sonoros podem acarretar algum tipo de reclamação, desde queixas esporádicas a ações comunitárias enérgicas (21% desse universo).

- (v) A redução de 50% do fluxo de veículos foi acompanhada pela diminuição dos níveis sonoros quando comparados com a situação atual (aprox., 3dB(A)); resultado que se aproxima do obtido por Fiedler (2013), que analisou o impacto sonoro em fachadas de algumas edificações sensíveis ao ruído (hospitais, escolas, etc.), usando a mesma hipótese de simulação.
- (vi) Na análise de predição acústica para 10 anos, com crescimento de 57% do fluxo na via (situação hipotética 2), houve acréscimo em torno de 2 dB(A) nos níveis sonoros, comparados com os valores da situação atual, o que agravaria a poluição sonora existente.
- (vii) A situação hipotética 3, que simulou de maneira simplificada e pontual um cenário de transferência de transporte individual para coletivo, os níveis sonoros obtidos não apresentaram diferenças significativas em relação a situação atual. Com base neste resultado, infere-se que uma possível redução do nível sonoro em função de um menor fluxo total de veículos pode ter sido compensada pelo aumento do número de ônibus, que individualmente possui maior energia sonora que os veículos leves. Sugere-se para trabalhos futuros uma maior investigação desse tema, realizando outras combinações entre o aumento do número de ônibus e redução de veículos leves, para situações de fluxos, livre e interrompido.
- (viii) Em termos de resposta da comunidade, observou-se que a situação hipotética 1 contribuiu para a redução do número de possíveis queixas, o que pôde ser visto pelo aumento da frequência relativa da Classe I, associada a não observação de reações comunitárias (Figura 12). Esta redução foi da ordem de 11%. A situação hipotética 2 provocou o aumento de possíveis queixas (aprox. 5%), e a situação hipotética 3 não ocasionou alterações no quadro existente, como já era esperado, tendo em vista que os níveis sonoros obtidos foram semelhantes à situação atual.

Para a continuidade desta pesquisa, as simulações acústicas serão ampliadas para os demais trechos da Av. AF, fazendo um paralelo com o trabalho de Guedes, Kohler e Carvalho (2014), com inserção de análises mais detalhadas dos níveis sonoros em fachadas de edificações sensíveis existentes às margens da referida via, semelhante ao que foi realizado por Fiedler (2013) na cidade de Curitiba (PR).

Considera-se ainda importante a ideia de realizar uma estimativa do quantitativo de pessoas expostas ao ruído em questão.

Por fim, sugere-se a inclusão do período noturno na avaliação do impacto do ruído de tráfego veicular, tendo em vista que tal período é tipicamente caracterizado por menores níveis sonoros residuais, tornando a população mais sensível a esse relevante agente poluidor nas cidades.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Prof^{ta}. MSc. Raquel Kohler, aos discentes, Rodrigo Machado Carvalho e Saulo Pereira dos Santos e ao técnico de laboratório, Rodrigo Maia Gonçalves do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Sergipe – UFS pela colaboração durante a etapa de coleta de dados, bem como aos revisores pelas observações apontadas, as quais contribuíram na melhoria da apresentação e discussão dos resultados deste artigo.

Referências

ARACAJU. **Lei nº 2.410**, de 17 de junho de 1996. Dispõe sobre medidas de combate à poluição sonora entre outras providências no município de Aracaju. Disponível em: <http://www.leismunicipais.com.br>. Acesso em: 09 fev. 2015.

_____. **Lei nº 1.789**, de 17 de janeiro de 1992. Dispões sobre o Código de Proteção Ambiental do Município de Aracaju e dá providências correlatas. Disponível em: http://www.aracaju.se.gov.br/userfiles/concursos/lei_1789-1992_meio-ambiente.pdf. Acesso em: 09 fev. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica – avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

BERGLUND, B; LINDVALL, T; SCHWELA, D H. **Guidelines for community noise**. 1999. Disponível em: <http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2014.

BRÜEL & KJÆ. **Environmental noise**. Denmark: Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, 2000. 65p.

CALIXTO, A. **O Ruído gerado pelo tráfego de veículos em “Rodovias – Grandes Avenidas” situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisado sob parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental**. 2002. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

DACOL, K. Ruídos mapeados. Construtoras apostam na cartografia sonora e em simulações de computador para garantir desempenho acústico de seus projetos. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 191, p. 26 – 29, fev. 2013.

DENATRAN. **Divisão de Estatística do Departamento de Trânsito do Governo do Estado de Sergipe – Frota de Veículos 2004 a 2014**. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/>. Acesso em: 30 out. 2014.

DINTRANS, A; PRÉNDEZ, M. A method of assessing measures to reduce road traffic: a case study in Santiago, Chile. **Applied Acoustics**, v.74, n. 12, p. 1486–1491, dez. 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2013.06.012>

FIEDLER, P. E. K. **Poluição sonora nos eixos estruturais de transporte da cidade de Curitiba – PR**. 2013. 167f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

GARAVELLI, S. L; MORAES, A. C. M; NASCIMENTO, J. R. R; NASCIMENTO, P. H. D. P; MAROJA, A. M. Mapa de ruído como ferramenta de gestão da poluição sonora: estudo de caso de Águas Claras – DF. In: 4º Congresso Luso – Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado, Sustentável, Faro, 2010. **Anais...** Faro: PLURIS, 2010. Disponível em: <http://pluris2010.civil.uminho.pt/Actas/PDF/Paper377.pdf>. Acesso em: 30 out. 2014.

GUEDES, I. C. M. **Influência da forma urbana em ambiente sonoro: um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE)**. 2005. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

GUEDES, I. C. M., BERTOLI, S. R.; ZANNIN, P. H. T. Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 412–413, p. 66–76, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.10.018>

GUEDES, I. C. M; KOHLER, R.; CARVALHO, R. M. Estudo de impacto do ruído de tráfego veicular em Aracaju (SE) – Brasil. In: XXIV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Campinas, 2014. **Anais...** Campinas: SOBRAC, 2014. p. 26 – 33.

HAMMER, M. S.; SWINBURN, T. K.; NEITZEL, R.L. Environmental noise pollution in the United States: developing an effective public health response. **Environ Health Perspect**, v. 122, p. 115 – 119. 2014. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1307272>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996-2 Acoustics -- Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 2: Determination of environmental noise levels**. Geneva, 2007.

_____. **ISO 9613-2 Acoustics -- Attenuation of sound during propagation outdoors -- Part 2: General method of calculation**. Geneva, 1996.

_____. **ISO/R 1996 Acoustics -- Assessment of noise with respect to community response**. Geneva, 1971.

KANG, J. **Urban sound environment**. 1. ed. New York: Taylor and Francis, 2007, 286p.

MAIA, M. A. L. **Contribuição ao mapeamento do ruído urbano na cidade de Porto Alegre – RS**. 2003. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

MARDONES, M. D. M. **Mapeamento dos níveis de ruído em Copacabana, Rio de Janeiro, através de simulação computacional**. 2009. 59f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MURGEL, E. **Fundamentos de acústica ambiental**. 1. ed. São Paulo: Editora Senac, 2007, 131p.

NAGEM, M. P. **Mapeamento e análise do ruído ambiental**: diretrizes e metodologia. 2004. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

NARDI, A. S. L. V. **Mapeamento sonoro em ambiente urbano**. Estudo de caso: área central de Florianópolis. 2008. 162f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO. **Diretiva 2002/49/CE de 25 de junho de 2002**. Relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARACAJU. Empresa Municipal de Urbanização. EMURB. **Base Cartográfica Digital do Município de Aracaju**. 2004 (CD-ROM).

SANTOS, L. C; VALADO, F. O mapa de ruído municipal como ferramenta de planeamento. In: Acustica, Guimarães, 2004. **Anais ...** Guimarães: Universidade do Minho, 2004. p. 1-8. Disponível em: <http://www.sea-acustica.es/Guimaraes04/ID162.pdf>. Acesso em: 30 out. 2014.

SEONG, J. C.; PARK, T. H.; KO, J. H.; CHANG, S. I.; KIM, M.; HOLT, J. B.; MEHDI, M. R. Modeling of road traffic noise and estimated human exposure in Fulton County, Georgia, USA. **Environment International**, v. 37, p. 1336–1341, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2011.05.019>

SINGAL, S. P. **Noise pollution and control strategy**. Oxford: Alpha Science International, 2005. 323p.

SOUZA, R. B. E. **O som nosso de cada dia**: uma análise do comportamento da acústica urbana a partir de modificações na forma urbana. 2010. 141f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

SOUZA FILHO, J. J. **Avaliação do ruído urbano na cidade de Campo Grande/MS**. 2012. 138f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Centro de ciências exatas e tecnologias Ambientais na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2012.

WG–AEN, Working Group Assessment of Exposure to Noise. **Good practice guide for strategic noise mapping and production of associated data on noise exposure**, version 2, 2006. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/wg_aen.pdf. Acesso em: 19 jan. 2015.

ZANNIN, P.H.T.; SANT'ANA, D.Q. Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project: a case study in Brazil. **Applied Acoustics**, v. 72, p.479 – 486, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.09.014>

---

¹ **Italo César Montalvão Guedes**

Arquiteto e Urbanista (Universidade Tiradentes – UNIT/SE) e Engenheiro Civil (UFS). Mestre em Engenharia Civil (UNICAMP). Endereço postal: Praça Samuel de Oliveira, s/n, Laranjeiras, SE, Brasil, CEP 49.170-000.

² **Stelamaris Rolla Bertoli**

Física (UNICAMP). Doutor em Ciências (UNICAMP). Livre Docente em Física Aplicada (UNICAMP). Endereço postal: Av. Albert Einstein, 951, Campinas, SP, Brasil, CEP 13.083-852.