

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DA GEOMETRIA URBANA NOS RUÍDOS DE TRÁFEGO VIÁRIO: aplicabilidade dos três métodos de monitoramento sonoro

RESUMO: A consideração do controle de ruídos no planejamento e gestão urbanos é de extrema relevância para proporcionar maiores níveis de conforto nas cidades. O monitoramento acústico assume papel primordial, pois permite o controle da paisagem sonora e a identificação de regiões da urbe que estejam em desacordo com os padrões de conforto estabelecidos pela literatura e normatizações. O método mais difundido no Brasil de monitoramento acústico se dá por meio de sonômetros fixos, que implica no uso de equipamentos caros e na necessidade de mobilização de equipes para o controle das medições contínuas, tornando este processo bastante oneroso e pouco implementado em nosso país. Técnicas de medições móveis podem simplificar e reduzir os custos deste monitoramento e vêm sendo testadas no contexto brasileiro. A presente pesquisa analisa a influência de parâmetros da geometria urbana – tais como altura das edificações, largura das vias, ocorrência de espaços livres, relação entre altura e largura da calha das vias, taxa de ocupação e volumetria das quadras – na dissipação do ruído de tráfego medido por meio de três métodos de monitoramento sonoro: (a) sonômetro fixo; (b) sonômetro de coleta contínua por modo à Pé; (c) sonômetro de coleta contínua por modo Cicloviário. Os resultados revelam que cada método possui seu potencial próprio de aplicabilidade, conforme o parâmetro urbano analisado.

Palavras-chave: Ruído Urbano, Conforto Ambiental Acústico, Métodos Móveis de Medição Acústica

ABSTRACT: The use of noise control strategies during urban planning have a major part on achieving high comfort levels in urban environments. The acoustic monitoring plays an important role on that, as it allows the planning agents to have greater control over the soundscape by identifying urban spots that are in disagreement with noise comfort limits established on scientific literature or standards. Regarding Brazilian urban scenario, the use of sound level meters at fixed positions is the most widespread acoustic monitoring method. However, the implementation of this technique is underwhelming due to the high equipment costs and the demand of technical teams. Therefore, the use of mobile sound level meters has been tested in Brazil to simplify and reduce the cost associated to the acoustic monitoring process. This article analyze the influence of urban geometry parameters - as the building high, the streets width, the occurrence of open spaces, the H/W factor, and the building occupancy rate – on the noise dissipation measured by three acoustic monitoring methods: (a) with fixed sound level meter, (b) with a continuous collection sound level meter by walking mode, and (c) with a continuous collection sound level meter by cycling mode. The result shows that each measure method has its own aplicability potential according to the analyzed urban parameter.

Keywords: Urban Noise, Acoustic Environmental Comfort, Mobile Acoustic Measurements Methods

INTRODUÇÃO

Os efeitos adversos da poluição sonora sobre a qualidade de vida da população é uma temática de extrema importância no cenário atual, marcado por intenso processo de urbanização. A ocorrência de ruídos afeta o bem estar e a saúde dos usuários do espaço urbano, ocasionando – de acordo com sua intensidade e tempo de exposição - uma série de danos como perda auditiva, estresse, danos à saúde mental, redução do desempenho, distúrbios do sono, doenças cardiovasculares, entre outros (BERGLUND, LINDVALL, SCHWELA, 1999; WILLICH et. Al., 2006; KIM et. Al., 2012). O monitoramento dos níveis de pressão sonora e a elaboração de mapas acústicos podem contribuir significativamente para o controle e redução dos níveis de poluição sonora, principalmente se usados para guiar as tomadas de decisão inerentes aos processos de planejamento e reestruturação urbana. Aspectos da geometria urbana, como o desenho dos cânions urbanos, são fatores de grande influência sobre a propagação dos ruídos nas cidades (SANCHEZ et. Al., 2016; GUEDES; BERTOLI; ZANNIN, 2011), o que ressalta a importância de se considerar questões acústicas no processo de planejamento urbano.

Embora apresente grande impacto sobre a saúde e bem estar do ser humano, o controle dos ruídos é comumente desconsiderado no processo de planejamento e gestão das cidades brasileiras (SOUZA; GIUNTA, 2011). Dentre as principais barreiras para ampla geração e utilização de mapas de ruído no urbanismo, está a dificuldade para coleta de dados, devido aos altos custos para aquisição e manutenção dos sonômetros de medição fixa, tradicionalmente utilizados no monitoramento acústico (PENTEADO et. Al., 2016). Como alternativa a este método tradicional de medições, que envolvem a disposição de sonômetros em pontos fixos, Botteldooren et. Al., (2011) propõem o uso de equipamentos portáteis, com custo reduzido, e que se configuram como nós de uma rede de monitoramento, destinados à captura de dados e conectados a receptores de GPS. Estudos têm sido conduzidos a fim de verificar a potencialidade da aplicação deste método de medições móveis no cenário brasileiro (PENTEADO et. Al., 2016; RAMOS, 2017). Por se tratar de uma metodologia relativamente nova no Brasil, mais estudos de validação de sua aplicação ainda se fazem necessários.

O presente estudo analisa e compara os dados coletados em campanhas sonoras utilizando o Método Fixo, ou seja, colocação de um sonômetro em pontos específicos do espaço urbano (PENTEADO et. Al., 2016), método por modo à Pé - em que um sonômetro

móvel foi transportado por modo à Pé durante um trajeto de caminhada, e método por modo Cicloviário (dados coletados por RAMOS, 2017) em que um sonômetro móvel foi transportado durante um trajeto por modo Cicloviário. Os dados de Penteado et. Al. (2016) e Ramos (2017) são aqui comparados e cruzados, com informações de caracterização do entorno dos pontos de medição: coeficiente de ocupação do solo e relação H/W. O coeficiente de ocupação do solo é um fator amplamente utilizado em estudos urbanos e relaciona a área total do terreno à área de terreno ocupada por edificações. A relação H/W consiste na razão entre a altura das edificações (H, ou height no idioma inglês) e a largura das vias (W, ou width no idioma inglês).

OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é analisar a influência dos aspectos da geometria urbana na dissipação do ruído de tráfego em uma fração urbana, através da utilização de três métodos de medição: Método Fixo, Método por modo à Pé e o Método por modo Cicloviário (bicicleta).

MATERIAIS E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Para a pesquisa foi selecionada a Avenida Doutor Carlos Botelho, localizada no município de São Carlos. Trata-se de uma das principais vias da cidade, e em sua extensão apresenta áreas com diversos perfis de uso, como: (a) mista com predominância residencial, e (b) mista com vocação comercial e administrativa. Foram selecionados quatro pontos amostrais para a medição através do Método Fixo, para os quais foram determinadas suas coordenadas. Essas coordenadas permitiram a comparação dos valores fixos com os níveis sonoros obtidos pelos Métodos por modo à Pé e o por modo Cicloviário. A Figura 1 apresenta os quatro pontos distribuídos ao longo da via.



Fig. 1 - Pontos amostrais localizados na extensão da Av. Dr. Carlos Botelho
Fonte: adaptado sobre imagem do Google Earth, 2016.

Além dos pontos de medição do nível sonoro pelo Método Fixo, os mesmos serviram para delimitar a área de influência do entorno do ponto a ser analisada. A Figura 2 apresenta as regiões no entorno do ponto onde foram verificados aspectos relacionados à geometria urbana. Os levantamentos das características geométricas foram realizados através de visitas *in-loco* e complementadas com imagens de satélite disponíveis no software Google Earth.

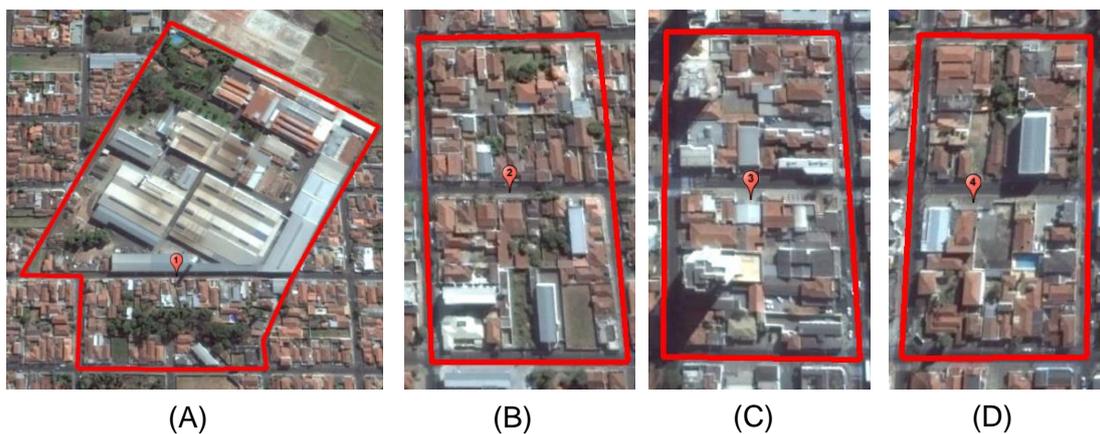


Fig. 2 - Área de Influência: (A) Ponto 1; (B) Ponto 2; (C) Ponto 3; (D) Ponto 4.
Fonte: adaptado sobre imagem do Google Earth, 2016.

BANCOS DE DADOS UTILIZADOS

A partir do banco de dados disponibilizados em Penteadó et. Al. (2016) e Ramos (2017), foram obtidos os dados de níveis de pressão sonora. Para o Método Fixo e o Método a Pé, os dados correspondem a campanhas realizadas em Junho de 2015 (PENTEADO et. Al., 2016). Para o método Ciclovitário, os dados correspondem a três campanhas realizadas entre os meses de Setembro e Outubro de 2014 (RAMOS, 2017). Em todos os casos, as medições de níveis sonoros foram realizadas em dias úteis (terças, quartas e quintas-feiras), evitando assim situações atípicas geradas no fim e no início da

semana. Utilizaram-se dados referentes aos ruídos de tráfego no horário de pico vespertino (entre as 17h30min e 18h30min). Para todos os métodos, o parâmetro acústico considerado para as comparações da presente pesquisa foi o nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A” (L_{Aeq}) disponíveis nos respectivos bancos de dados. Na pesquisa de Penteadó et. Al. (2016), os equipamentos utilizados para a medição do Método Fixo foram um tripé e o sonômetro Analyser 2270-L da Bruel & Kjaer, tipo Hand-Held, classificado como tipo 1 de precisão. Foi utilizado um protetor de vento no microfone para minimizar interferências provocadas pelo vento. O aparelho foi configurado para a realização de medições em ambiente externo conforme procedimentos da NBR 10.151 (ABNT, 2000) e ISO 1996. O tempo de medição foi de cinco minutos, conforme sugerido por Mendonça et. Al., (2012). O sonômetro foi posicionado a 2 metros de superfícies refletoras e a 1,5 metros do nível do solo. Para os dados do Método à Pé e do Método Ciclovitário os seus respectivos autores utilizaram equipamentos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa INTEC-Acoustics da Universidade de Gent, Bélgica. Internamente calibrados conforme o modo de deslocamento à Pé ou ciclovitário, ambos os equipamentos utilizados naquelas pesquisas apresentam os mesmos componentes: um microfone para captar o nível de pressão sonora, associado a um GPS que registram as coordenadas dos níveis sonoros medidos e uma bateria que alimenta o equipamento. Os equipamentos são representados na Figura 3. A cada segundo os equipamentos captam os níveis de pressão sonora e associam à medição com as coordenadas geográficas. Os dados são enviados em tempo real à Universidade de Gante (Bélgica), que através de um protocolo desenvolvido em uma plataforma SIG (Quantum GIS), possibilita a sua visualização espacial. Os valores obtidos pelo Método a Pé e pelo método Ciclovitário foram comparados com os valores obtidos pelo Método Fixo, considerando um raio de abrangência do ponto fixo de 40m. Dentro deste raio foram calculadas as médias logarítmicas e assim atribuídas aos pontos.



(A)



(B)



(C)

Fig. 3 - Equipamentos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa INTEC – Acoustics (Universidade de Gante-Bélgica): (A) Equipamento de coleta de dados contínuos; (B) Equipamento posicionado para coleta de dados por modo à Pé; (C) Equipamento posicionado para coleta de dados por modo ciclovário.

ANÁLISE DOS PARÂMETROS DO ENTORNO

Para cada ponto de medição do Método Fixo foram estipuladas áreas de abrangência da propagação sonora. Como as medições de ruído de tráfego foram realizadas em períodos distintos foram analisadas imagens do Google Earth e Google Street View com a finalidade de verificar a existência de alterações da geometria urbana. Foi constatada uma alteração de proporções não significativas no ponto 3. A região de abrangência deste ponto e sua alteração construtiva são apresentadas na Figura 4.



(A)



(B)

Fig. 4 - Alteração da geometria: (A) Espaço vazio da área de influência do ponto 3 em Setembro de 2014. (B) Mesma área de influência em junho de 2015. Fonte: Adaptado sobre imagem do Google Earth, 2016.

Durante a verificação das imagens foram calculados: (i) área total da região de influência, (ii) área ocupada pelas edificações, (iii) áreas não edificadas, (iv) largura da via próxima ao ponto analisado, (v) a altura média dos edifícios que margeiam a Avenida Doutor Carlos Botelho em todos os quarteirões que possuíam pontos de medições acústica do Método Fixo; (vi) a relação H/W destes mesmos trechos de via. Quanto à medida da altura das edificações lindeiras, foi estipulada: de 3,5 metros para edifícios térreos e com vocação residencial; 4 metros para edifícios térreos com uso comercial; e 3 metros adicionais para cada andar contabilizado nos edifícios de múltiplos pavimentos.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os valores obtidos pelos métodos Fixo, à Pé e Cicloviário, assim como os níveis de ruído estipulado pela NBR 10.151, são apresentados na Figura 05.

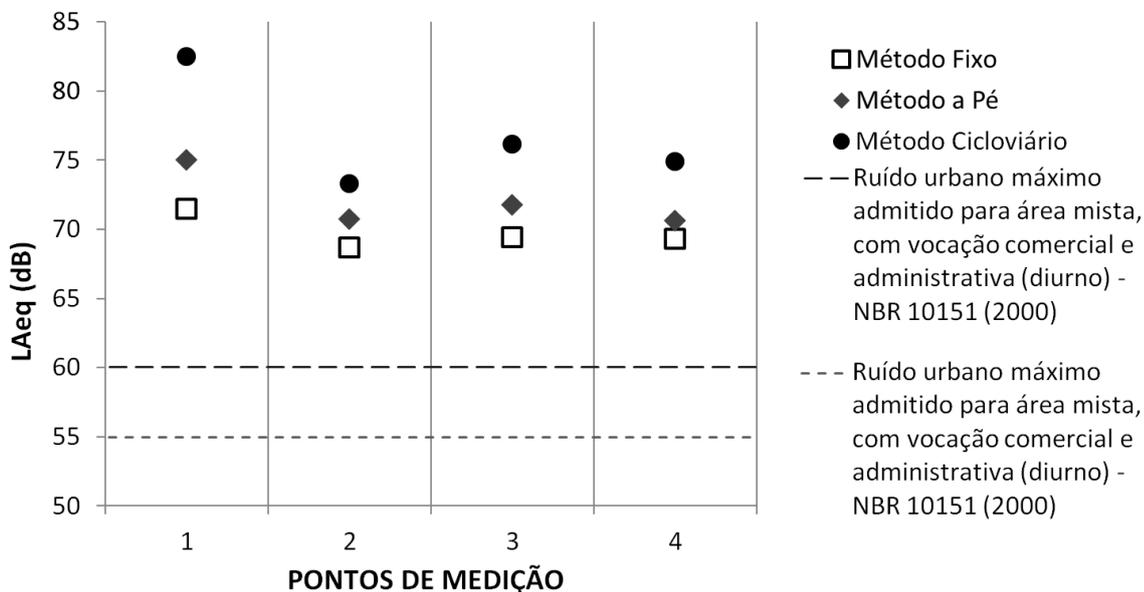


Fig. 5 - Comparação entre os dados medidos pelo Método Fixo, método do pedestre, método ciclístico, e determinações da NBR 10151.

Observa-se que o Método à Pé apresenta valores mais semelhantes ao Método Fixo do que os valores obtidos com o método cicloviário. Foi verificado que a diferença máxima

entre o Método Fixo e o modo a Pé foi de 3,5 dB. Ao comparar os valores obtidos pelo método ciclovário com os outros dois métodos, observam-se valores com diferença máxima de 11 dB para o Método Fixo e 9 dB para o Método a Pé. Essas diferenças podem indicar que o método ciclovário apresenta certa fragilidade, possivelmente decorrente do próprio movimento da bicicleta. Como a bicicleta gera vibrações e ruídos no seu deslocamento, os níveis registrados acabam não se limitando ao ruído de tráfego. Nesse caso, acredita-se que esse é um aspecto futuro a ser analisado para se verificar se existe necessidade de serem desenvolvidas equações de correção dos dados, a partir de uma amostragem maior de pontos de análise. Esse, porém, não é o objetivo direto desta pesquisa. No entanto, independente do método, ainda é possível identificar as diferenças acústicas entre os pontos de análise. O ponto mais ruidoso é o ponto 1. Observa-se também que os valores medidos em todos os pontos são superiores aos indicados na NBR 10.151. Para os pontos 1 e 2 seria recomendado o limite de 55 dB, por se tratar de região mista com ocupação predominantemente residencial. No ponto 3 e 4 o máximo recomendado seria de 60 dB no período diurno. Quanto aos parâmetros geométricos urbanos de taxa de ocupação e a relação H/W, apesar dos poucos pontos de medição considerados, possíveis tendências podem ser observadas. A tabela 1 apresenta os valores estimados para esses parâmetros em cada um dos pontos, enquanto a figura 6 apresenta as relações entre alguns desses parâmetros e os níveis sonoros registrados por cada método.

Tabela 1 – Parâmetros geométricos das áreas de influência

Ponto de medição	Quadra de influência	Cânion		
	Coefficiente de ocupação	Altura média (m)	Largura média (m)	H/W
1	0,64	4,85	12	0,40
2	0,85	3,65	12	0,30
3	0,79*	4,20	18,7	0,22
4	0,71	3,70	19,5	0,19

* Este coeficiente de ocupação considera o cenário urbano de 2015, conforme apresentado na Figura 3.

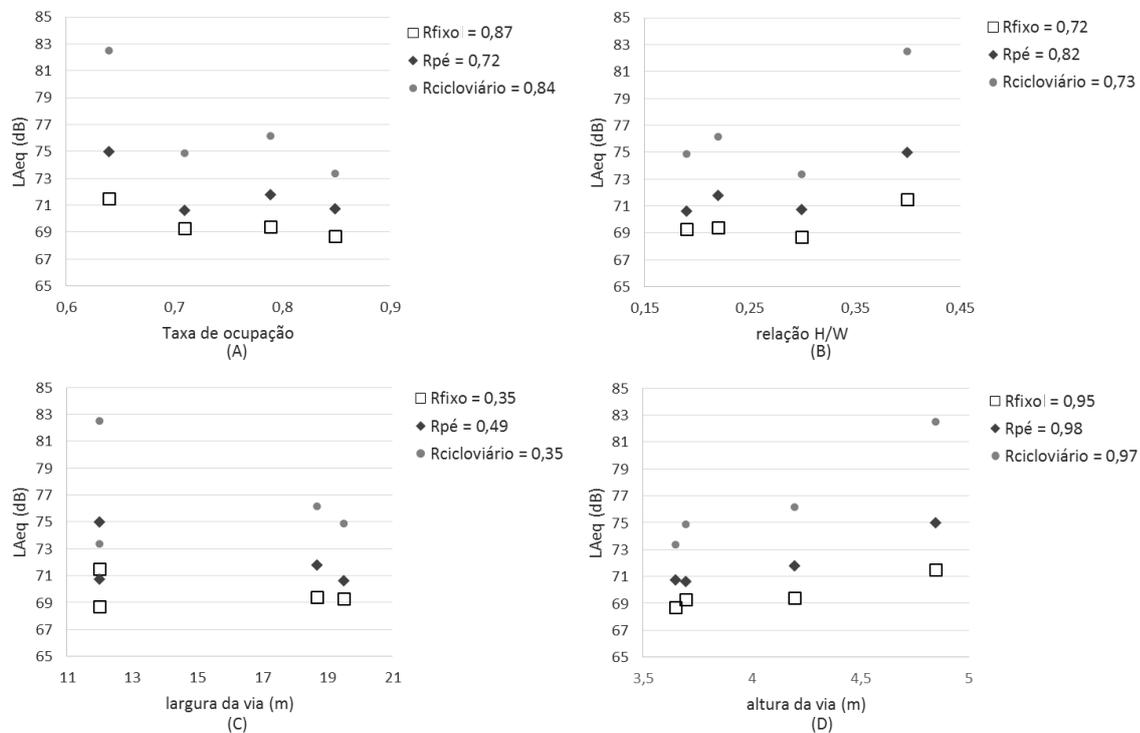


Fig. 6 – Relações entre parâmetros geométricos urbanos e os níveis de pressão sonora considerando: (A) Taxa de Ocupação; (B) Relação H/W; (C) Largura da via; (D) Altura da via

Na Figura 6(A), para todos os métodos, considerando os limites amostrais estudados entre 0,64 e 0,85, existe uma tendência de menores valores de nível de pressão sonora a medida que a taxa de ocupação aumenta. Essa pode ser uma resposta relacionada aos vazios existentes entre as edificações, que podem causar maior dispersão sonora e com isso ocorrer menor concentração de raios sonoros entre os edifícios urbanos. A confirmação dessa tendência, no entanto, requereria uma amostragem mais abrangente, não só no número de pontos, mas também na faixa de taxa de ocupação estudada. Outra observação resultante da Figura 6-A é a de que o Método Fixo permite a extração de informações mais relacionadas à taxa de ocupação do que os demais, pois o seu coeficiente de correlação assume o valor mais alto, alcançando $R = 0,87$. Quanto à relação H/W na Figura 6 (B), parece existir uma tendência de aumento nos níveis de pressão sonora registrados à medida que o valor desse parâmetro geométrico aumenta. No entanto, nesse caso, é o método por modo a Pé que contém informações mais relacionadas à H/W. Ressalta-se que, com a utilização, tanto do Método a Pé como por bicicleta, para a realização do percurso e coleta dos dados, os dados que são agregados a uma coordenada representam H/W mais diversificados, pois há deslocamento, atingindo maior abrangência espacial. Por isso, esse tipo de informação se extrai melhor com os métodos móveis.

A largura da via em si, ao contrário do que se podia esperar em literatura, não revelou influência muito significativa nos níveis de pressão sonora, como pode ser visto na Figura 6 (C). Ainda assim, verifica-se pequena redução nos níveis registrados, principalmente nos resultados apresentados pelo método a Pé ($R = 0,49$). Para a altura das edificações lindeiras à via, no entanto, obteve-se a melhor correlação entre geometria urbana e níveis de pressão sonora. Todos os métodos apresentaram coeficiente de correlação significativo, sendo que o método por modo a Pé alcançou o melhor resultado ($R = 0,98$). Os resultados indicam que o aumento da altura da via está relacionado ao aumento nos níveis de pressão sonora.

CONCLUSÕES

Podem existir diferenças significativas entre a ordem de grandeza dos níveis de pressão sonora medidos, conforme a forma de coleta e agregação dos dados em relação ao ponto de análise. O método por modo ciclovário apresentou as maiores diferenças em

relação ao Método Fixo. Porém, os três métodos estudados permitiram identificar possíveis tendências de relações entre a geometria urbana e os níveis sonoros ocorridos nas vias urbanas. Para a taxa de ocupação, o melhor método para extração de informações foi o Método Fixo. No caso da relação H/W e altura da via o Método à Pé apresentou melhor desempenho. A partir deste estudo, mostra-se interessante a realização de pesquisas que comparem os três métodos de captação de ruídos, porém considerando um número maior de pontos de medição, permitindo assim maior amostra de dados para verificação das relações entre geometria urbana e níveis de pressão sonora nas vias.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos financeiros disponibilizados para a realização da pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR10151**: Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000.

BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHWELLA, D. H. **Guidelines for community noise**. World Health Organization, 1999.

BOTTELDOOREN, D.; DE COENSEL, B.; OLDONI, D.; VAN RENTERGHEM, T.; DAUWES. Sound monitoring networks new style. In: Acoustics, Gold Coast, Austrália. **Proceedings...** Gold Coast: Acoustics,.2011.

GUEDES I. C.; 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.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996/1**: Acoustics: Description and measurements of environmental noise. Part 1: Basic quantities and procedures, 1996/1. Suíça, 1982. 5p.

KIM, M. et. Al., Road traffic noise: annoyance, sleep disturbance, and public health implications. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 4, n. 43, p. 353-360, 2012.

MENDONÇA, A. B. D.; SURIANO, M. T.; SOUZA, L. C. L.; VIVIANE, E. Medições acústicas: variação da geometria da via urbana e tempo de amostragem. In: **Simpósio de Pós Graduação em Engenharia Urbana**, Maringá Brasil, 7-8 Novembro 2012.

PENTEADO, M. T. et. Al., Identificação expedita do ambiente acústico urbano na cidade de São Carlos. In: Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, Contrastes, Contradições e Complexidades, 7., 2016, Maceió. **Anais...** 2016.

RAMOS, T. C. **Avaliação da exposição de ciclistas ao ruído em uma cidade média brasileira**. 2017. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SANCHES, G. M. E. et. Al., The effect of street canyon design on traffic noise exposure along roads. **Building and Environment**, v. 97, p. 96-110, 2016.

SOUZA, L. C. L.; GIUNTA, M. B. Urban indices as environmental noise indicators. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 35, p. 421-430, 2011.

WILLICH, S. N. Noise burden and the risk of myocardial infraction. **European Heart Journal**, v. 27, p. 276-282, 2006.