



## DESAFIOS DE FAZER MAPAS DE RUÍDO DE GRANDES CIDADES BRASILEIRAS - ESTUDOS REALIZADOS PARA ELABORAÇÃO DO MAPA PILOTO DE SÃO PAULO

Pozzer, Talita<sup>1</sup>; Pierrard, Juan Frías<sup>2</sup>; Holtz, Marcos<sup>3</sup>;

(1) ProAcústica, Av. Ibirapuera, 3458, talita.pozzer@proacustica.org.br.

(2) ProAcústica, Av. Ibirapuera, 3458, ambiental@proacustica.org.br.

(3) ProAcústica, Av. Ibirapuera, 3458, tecnico@proacustica.org.br.

### RESUMO

A elaboração de mapas de ruído para as cidades é de grande relevância para a gestão de ruído e uso dos espaços, principalmente em grandes centros. Em diversos países, o mapeamento sonoro de cidades é um tema desenvolvido, entretanto no Brasil, embora existam alguns exemplos, ainda há resistência devido às dificuldades de elaboração do mapa. A principal dificuldade está relacionada ao fato de que as normas existentes para simulação de propagação de ruídos ambientais são baseadas na realidade de outros países, com relação a tipos de veículos e pavimentos utilizados, por exemplo. Os mapas podem ser feitos por meio de medições e monitoramento de ruídos ao longo do dia, entretanto essa é uma prática pouco eficiente e inviável para mapeamento de grandes centros como a cidade de São Paulo. O desafio desse trabalho é buscar qual a metodologia que melhor se encaixa às características brasileiras em relação ao ruído de tráfego, contemplando aspectos como o modelo de propagação, velocidade, fluxo de veículos e tipo de pavimentos e além disso, entender qual o impacto de se fazer algumas simplificações. Para realizar este estudo, adotou-se por base o guia de boas práticas da União Europeia avaliando cada item de recomendação por meio de estudos. Para verificar qual norma e ajuste de parâmetros melhor representa a realidade brasileira, foram realizadas medições em alguns pontos e esses níveis de pressão sonora medidos foram, posteriormente, comparados aos níveis de pressão sonora simulados em cada situação. Ao final do estudo, foi possível determinar quais parâmetros devem ser considerados na elaboração de mapas de ruído em grandes cidades brasileiras tendo por base a cidade de São Paulo.

**Palavras-chave:** mapa de ruído, modelagem, cidades brasileiras

### ABSTRACT

The elaboration of noise maps for the cities is very important tool for the noise management and use of spaces, mainly in large centers. In several countries, the sound mapping of cities is a developed theme. In Brazil there is a resistance due to the difficulties of drawing up the map. The main difficulty is related to the fact that the standards using for noise environmental propagation calcs are based on the reality of other countries, in relation to types of vehicles and pavements used, for example. The maps can be made through measurements and monitoring of noise throughout the day, however this is an impractical and inefficient practice for mapping large centers such as the city of São Paulo. The challenge of this work is to find out which methodology best fits the Brazilian characteristics in relation to traffic noise, contemplating aspects such as propagation model, speed, vehicle flow and type of pavements and also to understand the impact of make some simplifications. In order to carry out this study were based on the European Union Good Practices Guide. In order to verify which standard and parameter setting has the best representation the Brazilian reality, measurements were taken at some points and these measured sound pressure levels were later compared to simulated sound pressure levels in each situation. At the end of the study, it was possible to determine which parameters should be considered in the elaboration of noise maps in large Brazilian cities based on the city of São Paulo.

**Keywords:** noise map, modeling, Brazilian cities

## 1. INTRODUÇÃO

A elaboração de mapas de ruído para as cidades é de grande relevância para a gestão de ruído e uso dos espaços, principalmente em grandes centros. Em diversos países, o mapeamento sonoro de cidades é um tema bastante desenvolvido como Chile [1], França [2], Espanha [3] e Portugal [4]. No Brasil, existem apenas dois casos, o de Belém [5] e Fortaleza [6]. Ainda existe muita resistência devido às dificuldades de elaboração do mapa, que serão discutidas a seguir.

A principal dificuldade está relacionada ao fato de que as normas existentes para simulação de propagação de ruídos ambientais são baseadas na realidade de outros países. Em outras palavras, os dados de entrada nos programas consideram a tipologia de veículos e pavimentos de outros países. Atualmente as normas mais conhecidas são a CNOSSOS, NMPB 96, NMPB 08 e RLS 90, sendo esta última muito utilizada no Brasil. A seguir, cada metodologia será detalhada para o ruído rodoviário, foco deste trabalho.

O *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)* [7] é uma metodologia criada em 2012, para elaboração de mapas de ruído na Europa. Neste método, os veículos são divididos em 4 categorias, sendo elas veículos leves, veículos médios, veículos pesados e veículos de duas rodas. A velocidade considerada no cálculo de emissão de ruído da via é a velocidade média. Considera os efeitos de aceleração e desaceleração quando há semáforos, por exemplo e possui uma biblioteca com 15 tipos de pavimentos diferentes.

A RLS 90, por sua vez, é uma metodologia de cálculo alemã que data de 1990. Foi criada para elaboração de mapas de ruído considerando a realidade de fluxo de veículos específica para o país. Nesta metodologia os veículos são divididos em 2 classes, sendo uma delas de veículos leves e a outra de veículos pesados. A velocidade considerada no cálculo é máxima permitida pela via e não considera as alterações na aceleração. Os pavimentos são diferenciados em 8 tipologias.

Assim como na RLS 90, as normas NMPB dividem os veículos em duas categorias apenas, leves e pesados. A velocidade utilizada também é máxima, mas neste caso, as acelerações e desacelerações devido à presença de cruzamentos são consideradas. Existem duas NMPBs, sendo uma delas de 1996 e a outra de 2008. A primeira buscava abranger a realidade Europeia, e a última fixou seus dados de entrada a realidade francesa. Mesmo com enfoques diferentes, a diferença ocorreu apenas na tipologia de pavimentos, sendo reduzido de 5 para 3 tipos diferentes.

A Tabela 1, apresenta um breve comparativo das metodologias descritas com o objetivo de visualizar as diferenças entre elas.

**Tabela 1:** Comparativo dos requisitos para cada metodologia

<b>Método</b>	<b>Tipos de pavimentos</b>	<b>Velocidade</b>	<b>Considera aceleração e desaceleração</b>	<b>Categorias de veículos</b>
CNOSSOS	15	média	sim	4
RLS 90	8	máxima	não	2
NMPB 96	5	máxima	sim	2
NMPB 08	3	máxima	sim	2

Apresentadas as particularidades de cada método, destaca-se o principal desafio desse trabalho que é buscar qual dessas metodologias, melhor se encaixa às características de tráfego de veículos e pavimentos brasileiros. Além disso, tratando-se de uma cidade das dimensões de São Paulo, outras simplificações precisaram ser estudadas para verificar qual o impacto de cada uma na qualidade do mapa de ruído. Este trabalho apresenta o estudo realizado para estabelecer a metodologia de elaboração do mapa de ruído de São Paulo.

## **2. METODOLOGIA**

Para realizar este estudo, a ProAcústica estruturou o Grupo de Trabalho (GT) Mapa de Ruído, onde os associados puderam realizar estudos específicos e apresentar para discussão. Em todos os estudos utilizou-se por base o Guia de boas práticas da União Europeia [8] avaliando cada item de recomendação buscando relacioná-los à realidade Brasileira.

Como já foi abordado, a principal dificuldade está em definir qual das metodologias melhor representa as condições de veículos e pavimentos de São Paulo, podendo ser estendido para grandes cidades Brasileiras. Para tanto, foram realizadas medições à 1,5m de altura em alguns pontos e esses níveis de pressão sonora medidos foram, posteriormente, comparados aos níveis de pressão sonora simulados em cada situação. Esse estudo foi realizado por três empresas associadas, em regiões diferentes, envolvendo vias de baixo, médio e alto fluxo. Ambos estudos apontaram para o mesmo resultado, o que será discutido na próxima seção.

Inicialmente um grande problema foi a definição dos pavimentos a serem utilizados. Em São Paulo, assim como no Brasil, não existem muitas características dos pavimentos e por isso utilizou-se a técnica de inspeção visual, sugerida pelo Guia de Boas Práticas Europeu. Com isso, os pavimentos de São Paulo foram divididos em 4 categorias, sendo elas concreto, asfalto bom, asfalto ruim e pavimento muito ruim. Depois disso, essas 4 tipologias foram relacionadas com os tipos existentes na metodologia CNOSSOS e com o uso da referência [9], foi estabelecida a equivalência com os outros métodos de cálculo. A Tabela 2 apresenta essa relação.

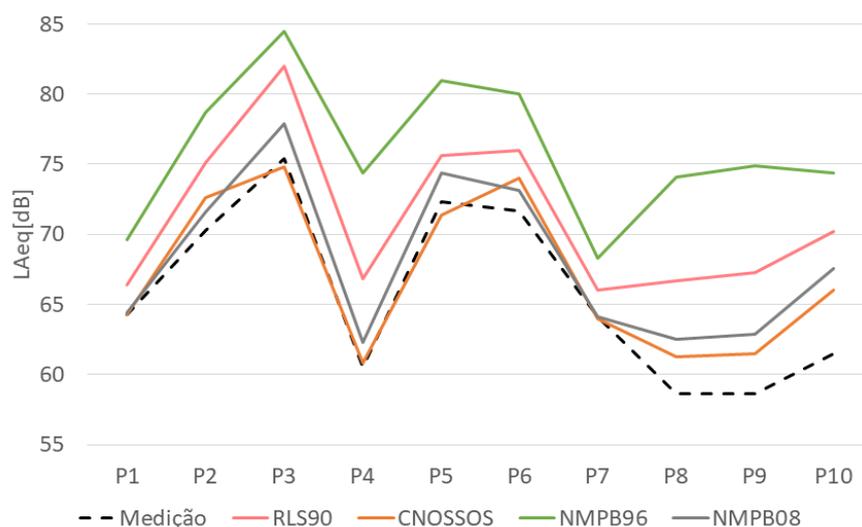
**Tabela 2:** Tipos de pavimentos para cada metodologia

<b>Tipo de Pavimento</b>	<b>CNOSSOS</b>	<b>RLS 90</b>	<b>NMPB 96</b>	<b>NMPB 08</b>
Concreto	CNS_07	Concrete or Corrugated mastic asphalt	EC: Cement concrete	R1
Asfalto Bom	CNS_01	Smooth mastic asphalt, asphalt concrete or blinded mastic asphalt	Enrobé bitumé	R2
Asfalto Ruim	CNS_12	Pavement with a smooth surface	EC: Smooth texture Paving	R2
Pavimento muito ruim	CNS_10	Other pavements	EC: Rough texture Paving	R3

Tendo em vista as dificuldades de modelagem para uma cidade do porte de São Paulo, outras questões foram verificadas tendo por base o método já escolhido. Foram realizados estudos para verificar a necessidade do uso da velocidade média ou máxima, o uso ou não de semáforos e do gradiente das vias. Para obter os dados de velocidade média, foi utilizada recomendação do Guia de Boas Práticas de andar em conjunto com o tráfego e anotar alguns pontos de coleta de velocidade para depois fazer média.

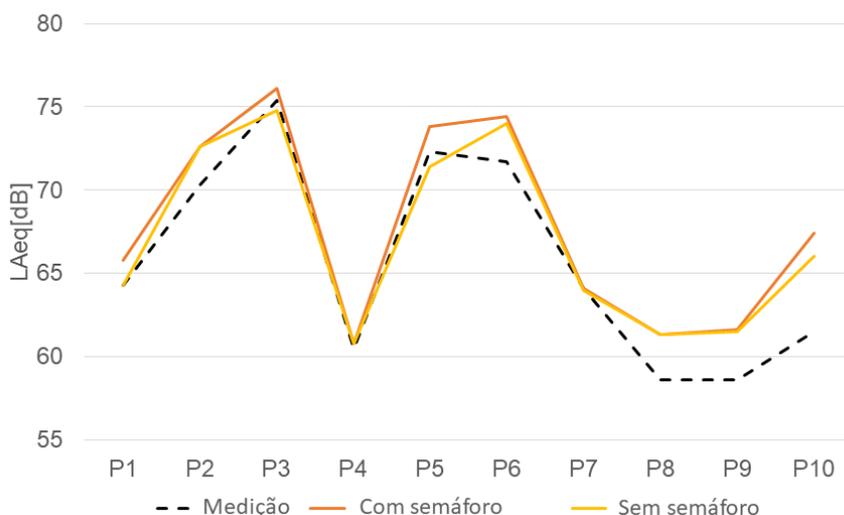
### **3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O primeiro fator a ser estudado é das metodologias para que a escolhida seja utilizada para todos os outros testes. A Figura 1 mostra a comparação dentre as metodologias para medição em 10 pontos, em termos de nível de pressão sonora. A linha pontilhada representa o que foi medido e cada uma das contínuas representa o valor simulado no mesmo ponto utilizando metodologias diferentes. É possível observar que para mais de 80% dos pontos, os níveis de pressão sonora simulados com a metodologia CNOSSOS foram mais próximos aos medidos. Em outras palavras, o CNOSSOS possui a caracterização de veículos e pavimentos mais próximas da realidade do fluxo de veículos de São Paulo. Apenas em 2 pontos a metodologia mais recente da NMPB demonstrou melhores resultados. A metodologia RLS 90 e NMPB mais antiga se distanciam muito das características da cidade em estudo. Esta figura foi utilizada para ilustrar a preponderância do CNOSSOS sobre as outras metodologias, embora os outros estudos realizados, tenham demonstrado a mesma conclusão.



**Figura 1:** Comparação dos modelos por meio da apresentação dos níveis de pressão sonora em cada ponto.

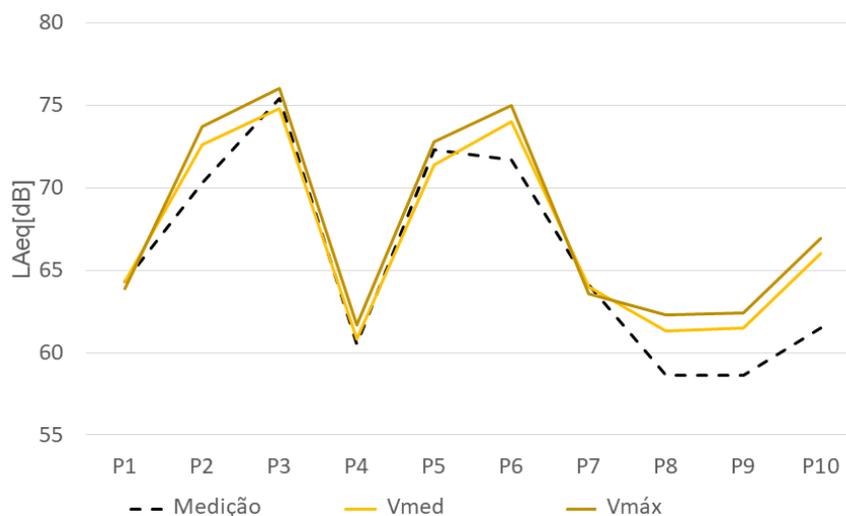
Para fins de simplificação do cálculo foram realizados testes comparativos do uso e não uso de semáforos para CNOSSOS. Os resultados são apresentados na Figura 2. Neste caso, é possível notar que o CNOSSOS considera o efeito de aceleração e desaceleração devido a presença de semáforos. Entretanto a melhor representação do modelo ocorre sem o uso de semáforos. Ou seja, utilizando CNOSSOS, a melhor modelagem ocorre sem o uso dos semáforos. Essa foi uma conclusão que favorece o tempo gasto com a modelagem, visto que é uma das informações que não são necessárias além de diminuir o custo computacional no momento de calcular os mapas.



**Figura 2:** Comparação do uso e não uso de semáforos na simulação utilizando metodologia CNOSSOS.

Como dito anteriormente, o CNOSSOS utiliza velocidade média para o cálculo, entretanto essa informação pode ser mais difícil de conseguir e por essa razão foi realizada comparação utilizando velocidade média e velocidade máxima como dados de entrada na modelagem. A Figura 3 apresenta essa comparação. Neste caso, observa-se que o uso da velocidade média, como era esperado, realmente apresenta resultados simulados mais próximos aos medidos. Por

outro lado, observa-se que essa diferença é de cerca de 1dB o que é pouco em termos de nível de pressão sonora e ainda pensando em situações de ruído ambiental. Dessa forma conclui-se que o uso da velocidade média é mais adequado, mas que o uso da velocidade máxima, caso seja necessário, não infere um problema de grande relevância.



**Figura 3:** Comparação entre o uso da velocidade máxima e média na simulação com metodologia CNOSSOS

Seguindo as recomendações do Guia de Boas Práticas, outras diretrizes foram discutidas, mas facilmente definidas. A escolha das fontes a serem caracterizadas e dos horários de operação por exemplo, foram definidas por utilizar-se inicialmente, somente ruído de tráfego urbano e rodoviário, sendo 07h às 22h o período diurno e 22h às 07h o período noturno, sendo que a distribuição do fluxo de veículos seguiu o proposto pelo Guia de Boas Práticas, onde é indicada uma porcentagem de veículos para cada período do dia.

Mesmo estando em metodologia, a categorização dos pavimentos foi um importante resultado dessa etapa visto que no Brasil não existe uma variedade de informações a respeito dos pavimentos.

A modelagem em termos geométricos é facilmente obtida por meio de plataformas digitais e por isso optou-se por não realizar simplificações nas geometrias de edificações, assim como do terreno. Para terreno utilizou-se a plataforma GeoSampa e para os edifícios e ruas utilizou-se o OpenStreetMap. A absorção do terreno foi definida como zero e seguida a recomendação do Guia de Boas Práticas para grandes áreas verdes ou parques, onde é definida uma absorção em função do uso do solo. No caso dos prédios adotou-se a absorção de 0,2, para edificações acima de 6 metros de altura e 0,4 para casas. Em regiões com aglomerado muito grande de casas, como comunidades, por exemplo, foi adotado o recurso do build up area, onde é desenhada uma região e indicada a porcentagem de solo ocupado.

A meteorologia também foi facilmente definida com a recomendação do Guia de Boas Práticas sendo de 50% favorável à propagação no período do dia e 100% favorável para os cálculos no período noturno.

O gradiente das ruas foi um ponto importante a ser estudado, relacionando-se com o efeito de inclinação e sentido das vias, na simulação. Verificou-se por meio de estudos que o gradiente da via influencia na resposta simulada, mas em contrapartida esses dados são facilmente definidos, visto que o próprio programa de cálculo, por meio do terreno, consegue determinar a inclinação e o sentido da via é uma informação que já vem com as vias coletadas no OpenStreetMap. De qualquer forma, ressalta-se que para regiões onde não há vias disponíveis em plataforma online, é necessário estipular o sentido de cada via cujo gradiente seja superior a 5% de inclinação.

O número de reflexões foi um ponto discutido, mas não estudado para a realidade proposta. O número de reflexões a ser utilizado foi definido como 1, baseando-se em estudos anteriores, já realizados por outros países a exemplo da referência [10,11].

Outro ponto de discussão referiu-se ao software a ser utilizado para as simulações. Constatou-se que qualquer software que atenda aos critérios de qualidade da norma ISO 17534-1 [12], possa ser utilizado para realizar o trabalho.

Em síntese, o presente trabalho envolveu uma série de estudos que permitiram determinar quais as diretrizes a serem adotadas para elaboração do mapa de ruído de São Paulo. Essas diretrizes foram implementadas em um projeto piloto, cujos resultados serão apresentados no trabalho “Mapa piloto da cidade de São Paulo” a ser apresentado neste mesmo evento.

#### **4. CONCLUSÕES**

O trabalho conjunto do GT Mapa de ruído resultou nas diretrizes a serem adotadas para elaboração do mapa de ruído da cidade de São Paulo, as quais já foram implementadas em projeto piloto.

As diretrizes tratam dos dados de entrada a serem utilizados na simulação. As principais dificuldades foram de definir o modelo que melhor se encaixa às características de tráfego urbano da cidade de São Paulo visto que as normas são baseadas em características europeias. Nesse aspecto, mais de um estudo demonstrou que o CNOSSOS é a melhor metodologia a ser adotada, pois os resultados simulados com essa modelagem são os que mais se aproximam da nossa realidade.

Um ponto muito importante que possibilitou a realização deste estudo bem como a elaboração do mapa foi a definição dos tipos de pavimento. Esse resultado é útil para todo o Brasil visto a deficiência em detalhes que o país possui acerca dos tipos de pavimentos utilizados. Mesmo com os mapas de ruído já elaborados para o Brasil, não havia uma estruturação dos tipos de pavimentos Brasileiros em categorias definidas, tampouco a relação com as metodologias existentes.

As demais diretrizes para o mapa foram facilmente definidas por meio de discussões dentro do GT Mapa de Ruído sendo que a base para a definição dos parâmetros foram as recomendações do Guia de Boas Práticas Europeu.

Em síntese, com o trabalho conjunto do GT, por meio de estudos e discussões técnicas foi possível determinar todas as diretrizes para elaboração do mapa de ruído da cidade de São Paulo. Com isso, a ProAcústica pretende juntar todas essas diretrizes em um documento com o objetivo de nortear a elaboração de mapas de ruído nas cidades Brasileiras, visando que mais cidades tenham essa ferramenta para planejamento estratégico.

## 5. AGRADECIMENTOS

Como dito ao longo desse trabalho, os resultados alcançados foram possíveis graças a dedicação dos associados participantes do GT Mapa de Ruído da ProAcústica que colaboraram com a realização dos estudos e trouxeram sua experiência técnica nas discussões para definir o caminho da elaboração do mapa de ruído da cidade de São Paulo. Dessa forma o agradecimento vai a todas os associados participantes do GT Mapa de Ruído, em especial aos que disponibilizaram recursos próprios para realização de testes e estudos.

## REFERÊNCIAS

- [1] Sommerhoff, J., Recuero, M., & Suárez, E. (2004). Community noise survey of the city of Valdivia, Chile. *Applied Acoustics*, 65(7), 643-656.
- [2] Oliveira, M. I. F., & Silva, L. T. (2011). The influence of urban form on facades noise levels. *Transactions on Environment and Development*, 7(5), 125-135.
- [3] Morillas, J. B., Escobar, V. G., Sierra, J. M., Gómez, R. V., & Carmona, J. T. (2002). An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. *Applied acoustics*, 63(10), 1061-1070.
- [4] Patrício, J., & Antunes, S. (2011). A methodology for building acoustics assessment and classification, in Portugal. 2011.
- [5] Moraes, E., & Lara, N. (2004). Mapa acústico de Belém. Relatório de Pesquisa, Universidade da Amazônia.
- [6] Chavez Brito, F. A., & Coelho, J. B. (2010) The Fortaleza noise mapping project: A tool for the definition of noise action plans for the airport, the light rail system, and the Ceará musical event. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 128(4), 2450-2450.
- [7] Kephelopoulou, S., Paviotti, M., & Ledee, F. A. (2012). Common noise assessment methods in Europe (CNOSSOS-EU).
- [8] Hinton, J., & Bloomfield, A. (2004). A Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and The Production of Associated Data on Noise Exposure. *ACOUSTICS BULLETIN*, 18-21.
- [9] Appendix 10: Guide for Mapping Existing National Road Methods to the CNOSSOS-EU Road Source Method
- [10] Lam, K. C., & Ma, W. C. (2012). Road traffic noise exposure in residential complexes built at different times between 1950 and 2000 in Hong Kong. *Applied Acoustics*, 73(11), 1112-1120.
- [11] Tang, L., Chui, E., Lee, C. K., Lam, Y. K., & Lau, K. K. (2017, December). An overview of the development of noise mapping in Hong Kong. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings (Vol. 255, No. 4, pp. 3736-3742)*. Institute of Noise Control Engineering.
- [12] ISO 17534-1:2015 Acoustics – Software for the calculation of sound outdoors – Part 1: Quality requirements and quality assurance.