XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

PADRÕES DE TRÁFEGO VEICULAR EM SÃO PAULO-SP: EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL (2008-2015)

Carolina de R. Maciel (1); Elisa M. Sales (2); Marcelo de M. Aquilino (3); Maria Akutsu (4)
(1) Doutora, Arquiteta e Urbanista, carolina.maciel@mackenzie.br , Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), Rua da Consolação 930, +55 (11) 2114-8383.
(2) Doutora, Física, elisams@ipt.br, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Centro Tecnológico do Ambiente Construído, Av. Prof. Almeida Prado 532, +55 (11) 3767-4125.
(3) Doutorando, Físico, aquilino@ipt.br, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Centro Tecnológico do Ambiente Construído, Av. Prof. Almeida Prado 532, +55 (11) 3767-4579.
(4) Doutora, Física, akutsuma@ipt.br, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Centro Tecnológico do Ambiente Construído, Av. Prof. Almeida Prado 532, +55 (11) 3767-4582.

RESUMO
Este trabalho teve como objetivo analisar os padrões espaço-temporais de tráfego veicular na cidade de São Paulo e relacioná-los com as possíveis consequências para o ambiente acústico. Para análise da evolução espaço-temporal dos padrões de tráfego na cidade de São Paulo foram utilizados dados compilados pela CET (Companhia de Engenharia de Tráfego) por meio da pesquisa sistemática de monitoração da fluidez, divulgados sob a forma do Relatório da Mobilidade no Sistema Viário Principal (MSVP), para o período de 2008-2015. Para inferir sobre a poluição resultante a partir das variáveis estudadas, foi realizado o cálculo do volume equivalente, considerando a ponderação pelo fator de equivalência dos veículos de acordo com sua composição; considerou-se também a soma dos fluxos dos dois sentidos (centro e bairro). Os resultados deste estudo indicam uma redução no volume de automotores nas vias monitoradas pela CET para o período considerado. Esta redução, no entanto, não é observada nos valores de frota veicular para o mesmo período (DENATRAN), levando a crer que pode haver uma influência de aplicativos de navegação sobre a decisão de mudança de rotas por parte dos motoristas. Como consequência, existe uma diminuição nos níveis de ruído de uma mesma via, porém com o incremento de níveis de ruído em vias próximas, resulta em uma maior incomodidade sob o ponto de vista da acústica.
Palavras-chave: ruído urbano; poluição sonora; tráfego veicular.

ABSTRACT
This paper aimed to analyze the spatial-temporal patterns of vehicular traffic in the city of São Paulo and to relate them to consequences for the acoustic environment. In order to analyze the spatial-temporal evolution of traffic patterns in the city of São Paulo, data compiled by CET (Traffic Engineering Company) were used through a fluidity monitoring systematic research, published as “Relatório da Mobilidade no Sistema Viário Principal” (MSVP), for the period 2008-2015. In order to infer about the resulting pollution from the studied variables, the calculation of the equivalent volume was performed, considering the weight by the equivalence factor of each vehicle according to traffic composition; and it was considered the sum of the flows in the two ways (center and neighborhood). The results of this study indicate a reduction in the volume of vehicles in the tracks monitored by the CET for the period considered. This reduction, however, is not observed in the values of vehicle fleet for the same period (DENATRAN), leading to believe that there may be an influence of navigation mobile apps on the decision to change routes by the drivers. As a consequence, there is a decrease in the noise levels of the same route, but with the increase of noise levels in nearby streets, it results in a greater discomfort from the point of view of acoustics.
Keywords: urban noise; noise pollution; vehicular traffic.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico de nossa sociedade, caracterizado pelo avanço nos meios de transporte e de comunicação, tem proporcionado diversas melhorias nas condições de vida, resultando no aumento do bem-estar e diminuição da distância entre as pessoas e as culturas. No entanto, o uso de tais equipamentos e soluções também acarreta em uma parcela que pode trazer prejuízos à qualidade de vida, conforto e saúde dos habitantes de determinado local, denominada poluição (ANSAY, 2014).

As fontes de ruído são as mais distintas e constituem causa de poluição sonora dependendo da sua localização, da intensidade e periodicidade do ruído produzido. O ruído urbano é considerado um ruído complexo, pois é composto de várias parcelas de ruídos secundários, provenientes de fontes e atividades diversas, dentre as quais se pode citar: ruído de tráfego (rodoviário, ferroviário, aeronáutico), ruído proveniente de instalações (industriais e comerciais), ruído proveniente de atividades (construção civil, entretenimento, propaganda), entre outras. (MURGEL, 2007; PAZ *et al*., 2005; ANSAY, 2014).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde - OMS, a poluição sonora é considerada uma questão de saúde pública, ocupando o segundo lugar entre os fatores que provocam o estresse ambiental, juntamente com a poluição da água e do ar (GIUNTA, 2013; CALIXTO, 2002; WHO, 1999).O ruído pode causar efeitos nocivos fisiologicamente aos humanos, como distúrbio no sono, distúrbio gástrico, fadiga, alteração da capacidade auditiva, dor de cabeça, hipertensão, tonturas e distúrbios hormonais (PINTO *et al*., 2013; WHO, 1999; CHEPESIUK, 2005). Dentre os problemas psicológicos, destaca-se perda de concentração, perda de reflexos, irritabilidade, perturbação do sono, sensação de insegurança, nervosismo e interferência na capacidade de aprendizagem das crianças (BISTAFA, 2011; LACERDA *et al*., 2005). Além de impactos de ordem socioeconômica, tais como: perda auditiva, prejuízo das atividades produtivas motivadas por licenças-saúde, redução da capacidade de trabalho e de aprendizado, além da desvalorização imobiliária (BLUHM *et al*., 2007; ZANNIN et al. 2013).

No meio urbano, o ruído de tráfego veicular é apontado como principal causa de poluição sonora por diversos autores (GUEDES & BERTOLI, 2014; ZANNIN & BUNN, 2014; BISTAFA, 2011). Neste ambiente, o ruído do trânsito sofre influência das características de fluxo (composição e velocidade dos veículos, acelerações e desacelerações), forma urbana, distância em relação à fonte de ruído, topografia, condições meteorológicas, além da postura individual de cada motorista (GUEDES, 2005; WANG & KANG, 2011). Em resposta a esta problemática, diversas iniciativas são observadas em diferentes localidades do globo, sendo mais expressivo o caso da União Europeia (EU). Desde 2002, a EU instituiu a Directiva EU END 2002/49/EC, tornando obrigatória a apresentação de mapas estratégicos de ruído para aglomerações urbanas com população superior a 250.000 habitantes até 30/06/2007, e, até 30/06/2012, para aglomerações com mais de 100.000 habitantes, reforçando a importância do mapeamento do ruído como ferramenta no planejamento e gestão de centros urbanos (SOUZA FILHO, 2012).

Em âmbito nacional, até o presente momento, não existe a obrigatoriedade da realização destes mapeamentos pelas cidades. Questões relativas ao ruído ambiental são abordadas pelo CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, por meio da Resolução N.º 1, de 8 de março de 1990, e pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da NBR 10.151 - Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas , visando o conforto da comunidade - Procedimentos, do ano de 1987, atualizada em 2000 e, atualmente em revisão. Porém, somente tratam acerca dos níveis recomendados e dos procedimentos de aferição do ruído, não contemplando este tema na forma de mapeamentos sistemáticos, (SOUZA & GIUNTA, 2011; MURGEL, 2007).

Desta forma, dentro do contexto brasileiro, fica a cargo das prefeituras o papel de definir e implementar medidas de monitoramento e controle do ruído urbano. Na cidade de São Paulo, área de estudo desta pesquisa, foi sancionada a Lei Nº 16.499 em julho de 2016, que dispõe sobre a elaboração do Mapa do Ruído Urbano da Cidade de São Paulo, estabelecendo o prazo de até 4 (quatro) anos para elaboração do mapa para Macroárea de Urbanização Consolidada e 7 (sete) anos para as demais áreas da cidade.

Outros exemplos a serem citados são a carta acústica de Fortaleza (CE), de iniciativa da Secretaria do Meio Ambiente e Controle Urbano, o mapeamento de Belém (PA) por MORAES et al. (2003), de Curitiba (PR), por ZANNIN *et al.* (2002), de Campo Grande (MS), por SOUZA FILHO (2012), de Sorocaba (SP), por COSTA & LOURENÇO (2011), da cidade do Rio de Janeiro (RJ), por PINTO & MARDONES (2009), entre outros. No entanto, devido à complexidade e escassez de dados e informações cartográficas em países em desenvolvimento, estas iniciativas são pontuais, muitas vezes limitando-se a uma área restrita dentro da cidade (DACOL, 2013; HOLTZ, 2012; SOUZA & GIUNTA, 2011).

Tais mapeamentos são realizados por meio de programas computacionais que simulam a propagação sonora ao ar livre fazendo uso de algoritmos que estimam a variável dependente Nível de Pressão Sonora (NPS) para um grande número de pontos de uma determinada área. Para isso, são consideradas as influências

sofridas em função das variáveis independentes, utilizadas como dados de entrada: padrões de tráfego e características acústicas das fontes (nível de potência sonora), juntamente com as características físicas do local em estudo (geometria urbana, topografia) e condições meteorológicas (vento, temperatura, umidade relativa), (GERGES, 2000; BRÜEL & KJÆR, 2000; PINTO, 2013). Como resultado da interação destas variáveis é obtido o mapeamento do ruído de determinada região, que representa uma fotografia dos níveis de pressão sonora em determinado período de tempo. Como consequência do fato de ser um instrumento datado, é recomendado que este seja revisto e atualizado regularmente, de modo a acompanhar mudanças e representar novas configurações e dinâmicas do espaço urbano.

Neste contexto, informações a respeito dos padrões de tráfego veicular são fundamentais no auxílio ao entendimento da dinâmica espaço-temporal do ruído urbano. Destaca-se então o serviço prestado pela CET – Companhia de Engenharia de Tráfego que desde 1977 publica regularmente relatórios a respeito do desempenho do sistema viário (volume e composição do fluxo, velocidade média, proporção de atrasos, entre outros) da cidade de São Paulo.

2. OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo analisar os padrões espaço-temporais de tráfego veicular na cidade de São Paulo e relacioná-los com as possíveis consequências para o ambiente acústico.

3. MÉTODO

3.1. Materiais

O estudo foi realizado utilizando os dados disponíveis para a cidade de São Paulo, capital do estado de São Paulo, localizado na região sudeste do Brasil. De acordo com o último Censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2010, a população acumulava 11.253.503 habitantes, sendo 99% residentes em zona urbana e 1% residentes em zona rural, distribuídos em uma área territorial de 1.521,110 km2 (IBGE, 2010). A projeção para 2016 foi de 12.106.920 habitantes, de acordo com IBGE (2017).

Segundo informações do Detran-SP (Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo), os carros correspondem ao tipo de veículo mais utilizado na capital paulista, constituindo cerca de 70% da frota de 8,3 milhões de automotores (valores referentes a 2017), que inclui motos (13%), caminhões (1,9%) e ônibus (apenas 0,5% do total), (VALLE, 2017).

Analisando-se os dados referentes ao período selecionado para o presente trabalho (2008-2015), observa-se que a frota de São Paulo acompanhou a tendência nacional (figura 1), apresentando aumento anual no número de veículos em circulação. Enquanto a frota nacional aumentou cerca de 7,5% ao ano, a frota da cidade de São Paulo apresentou crescimento médio de 4% ao ano.

A infraestrutura viária (ruas, avenidas, viadutos, pontes), no entanto, não acompanhou o crescimento no número de veículos da cidade. De acordo com dados divulgados pela CET registram um aumento de 21% na infraestrutura, frente a um crescimento de 400% no número de veículos para o período compreendido entre a década de 1970 e meados da década de 2000, (CET, 2007).

Para análise da evolução espaço-temporal dos padrões de tráfego na cidade de São Paulo foram utilizados dados compilados pela CET por meio da pesquisa sistemática de monitoração da fluidez, divulgados sob a forma do Relatório da Mobilidade no Sistema Viário Principal (MSVP), (CET, 2017).

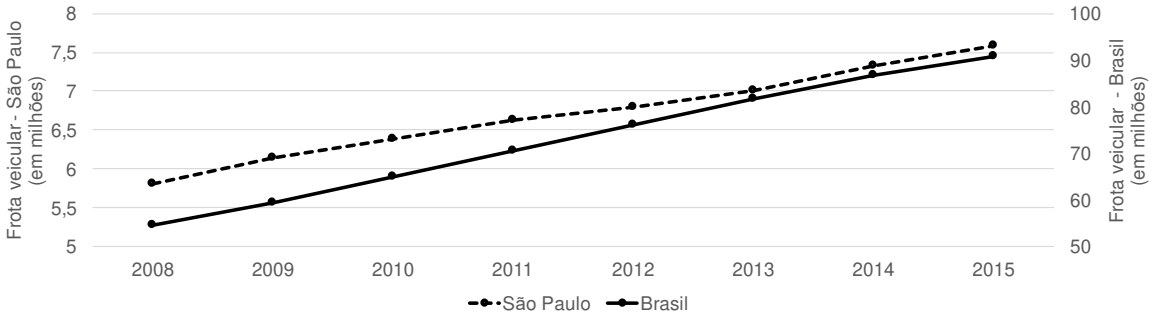


Figura 1 – Frota veicular* municipal (São Paulo) e nacional, para o período 2008-2015;
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de DENATRAN, (2017).

O monitoramento é realizado desde o ano de 1977, por meio da coleta de dados de contagem volumétrica classificada de veículos, velocidade e tempo de percurso com retardamento nas principais vias

da cidade de São Paulo, distribuídas em 47 rotas. A frequência de monitoramento de cada rota é variável, algumas sendo acompanhadas anualmente e outras à uma menor frequência. Desta forma, para o presente estudo foi selecionada a amostra das 10 rotas que foram monitoradas anualmente para o período compreendido entre 2008-2015, a saber:

As 10 rotas selecionadas abrangem as seguintes vias:

- Rota 01G: Av. Eusébio Matoso, Av. Rebouças, R. da Consolação;
- Rota 02G: R. Clélia, R. Guaicurus, Av. Francisco Matarazzo, Av. São João;
- Rota 04G: Av. Zaki Narchi, Av. Santos Dumont, Av. Prestes Maia;
- Rota 07G: Av. Radial Leste (R. Melo Freire, Av. Alcântara Machado);
- Rota 10G: Av. Washington Luís, Av. Rubem Berta, Av. Vinte e Três de Maio;
- Rota 13G: v. Heitor Penteado, Av. Dr. Arnaldo, Av. Paulista;
- Rota 14G: Elevado Costa e Silva, Ligação Leste-Oeste;
- Rota 15G: Rótula Central (R. Maria Paula, Av. Senador Queiroz, Av. Ipiranga);
- Rota 19G: Av. dos Bandeirantes, Av. Pres. Tancredo Neves;
- Rota 32G: R. Vergueiro, Av. Liberdade.

3.2. Métodos

Os relatórios de MSVP apresentam os dados em formato de tabela, dividindo cada rota monitorada em pontos e trechos de coleta. Para análise dos padrões de tráfego foram consideradas as variáveis de volume equivalente e velocidade de trajeto. A contagem volumétrica classificada de veículos tem como objetivo determinar a quantidade, composição e o sentido do fluxo em uma seção do sistema viário por unidade de tempo. A rota é dividida em pontos de medição, os veículos são classificados em automóveis, motocicletas, ônibus urbanos, ônibus fretados, caminhões e bicicletas (CET, 2017). A contagem é feita considerando os dois sentidos do fluxo (centro e bairro) e dois períodos: manhã (7h-10h) e tarde (17h-20h), apresentando o valor horário acumulado. Para a elaboração dos mapas, os valores de volume por vias foram agrupados em categorias conforme Mehdi *et al.*, (2011).

Tabela 1 – Categorias de volume de tráfego veicular horário (Adaptado de Mehdi et al., 2011)

Categoria	**Número de veículos por hora**
Muito baixo	Menos de 2.500
Baixo	2.500-5.000
Moderado	5.000-10.000
Alto	10.000-15.000
Muito alto	Acima de 15.000

A pesquisa de velocidade mede uma corrente de tráfego ao longo de uma via ou rota, com o objetivo de aferir a facilidade ou dificuldade em percorrê-la. Cada rota é dividida em trechos e a velocidade é medida pelo método de veículo-teste com cronômetro, que consiste em percorrer a rota analisada com dois pesquisadores munidos de um cronômetro cada e mapa da rota com os pontos de controle assinalados. A contagem é feita considerando os dois sentidos do fluxo (centro e bairro) e dois períodos: manhã (7h-10h) e tarde (17h-20h), apresentando o valor horário acumulado.

3.2.1. Padrões de tráfego x ruído urbano

De acordo com Cyril & Koshi (2013), o ruído urbano pode ser correlacionado principalmente ao volume, à velocidade e à composição do tráfego veicular. Desta forma, para inferir sobre a poluição resultante a partir das variáveis estudadas, foram admitidas algumas considerações: (1) Para incorporar a composição de tráfego à variável volume foi considerado o volume equivalente de veículos, cujo cálculo é ponderado pelo fator de equivalência dos veículos, conforme Equação 1 (CET, 2007); (2) Ainda para a variável volume, considerando que o ruído resultante de uma via é proveniente do total de veículos que a percorre, para cada rota analisada foram somados os fluxos dos dois sentidos (centro e bairro), resultando em um único valor de volume por via; (3) Para as duas variáveis (volume e velocidade), foi considerado o valor médio horário para cada período (manhã e tarde), sendo para velocidade a média dos três trechos que compõe cada rota, e para o volume a média dos três pontos de coleta.

$$\text{Volume Equivalente} = A + M + (0{,}33 \times B) + 2\,(Ou + Of + C) \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:

A = quantidade de automóveis;
M = quantidade de motos;
B = quantidade de bicicletas;
Ou = quantidade de ônibus urbano;
Of = quantidade de ônibus fretado;
C = quantidade de caminhões.

4. RESULTADOS

Nas figuras 2 e 3 são apresentados os mapas de volume equivalente de tráfego para cada período (manhã e tarde), para o período em estudo – 2008 a 2015.

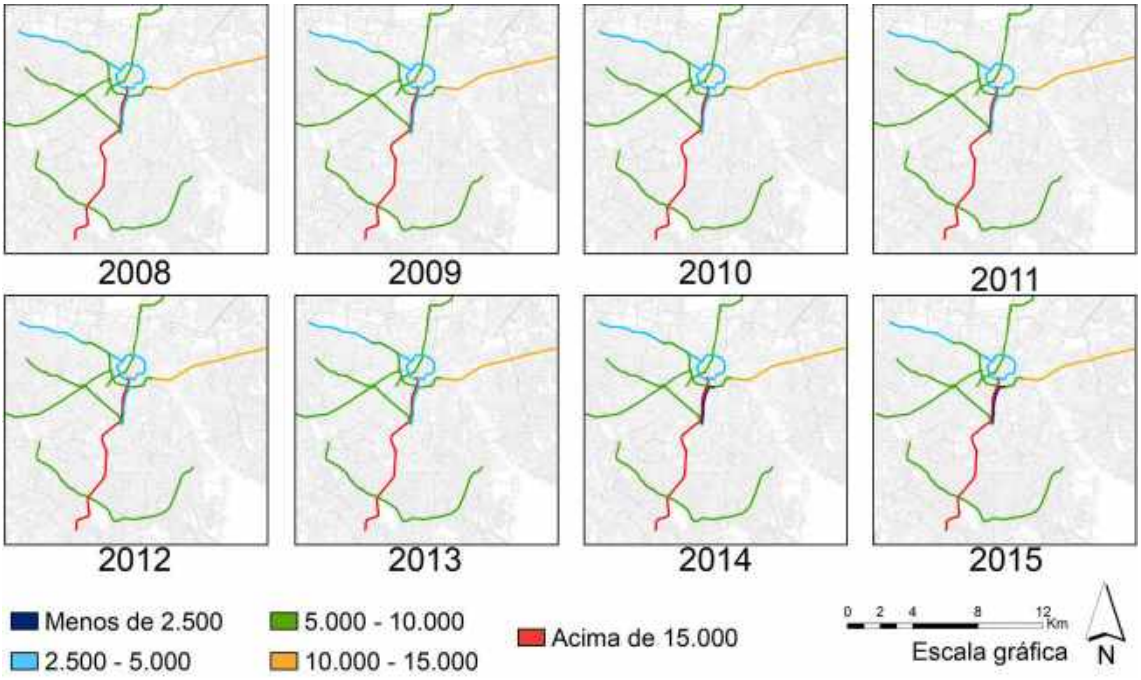


Figura 2 – Evolução do volume equivalente de tráfego veicular horário – período matutino (7h-10h).
Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de CET (2017)

Pode-se observar que, das rotas avaliadas neste trabalho, para o período matutino (7h-10h) três rotas apresentam valores de volume equivalente de até 5.000 veículos por hora – categoria "Baixo" (rotas 02G, 15G e 32G) e cinco rotas apresentam valor "Moderado" de 5.000 a 10.000 veículos por hora (01G, 04G, 13G, 14G e 19G). As rotas que apresentaram maior volume equivalente de tráfego foram as rotas 07G – categoria "Alto", de 10.000 a 15.000 veículos e rota 10G – categoria "Muito alto", com mais de 15.000 veículos. Ao longo do período estudado, observou-se que as rotas mantiveram um valor relativamente constante de fluxo de veículos, havendo uma mudança de categoria de "Baixo" (até 2013) para "Muito baixo" (2014 e 2015) somente para rota 32G (Rua Vergueiro, Av. Liberdade).

Para o período vespertino (17h-20h) apresentado na figura 3, observa-se o mesmo padrão que o período matutino, porém com valores menores de volume equivalente. As mesmas três rotas (02G, 15G e 32G) apresentam valores de volume equivalente de até 5.000 veículos por hora – categoria "Baixo", enquanto as mesmas cinco rotas (01G, 04G, 13G, 14G e 19G) apresentam valor "Moderado" de 5.000 a 10.000 veículos por hora. Neste período as rotas que apresentaram maior volume equivalente de tráfego continuam sendo as rotas 07G e 10G – no entanto ambas na categoria "Alto", de 10.000 a 15.000 veículos. Em nenhuma rota foi registrado valor "Muito alto", ou seja, mais de 15.000 veículos.

Ao longo do período abrangido (2008-2015), observou-se também para o horário vespertino que as rotas mantiveram um valor relativamente constante de fluxo de veículos, havendo uma mudança de categoria na rota 15G de "Baixo" (até 2012) para "Muito baixo" (2013 a 2015) e na rota 32G "Baixo" (até 2013) para "Muito baixo" (2014 e 2015).

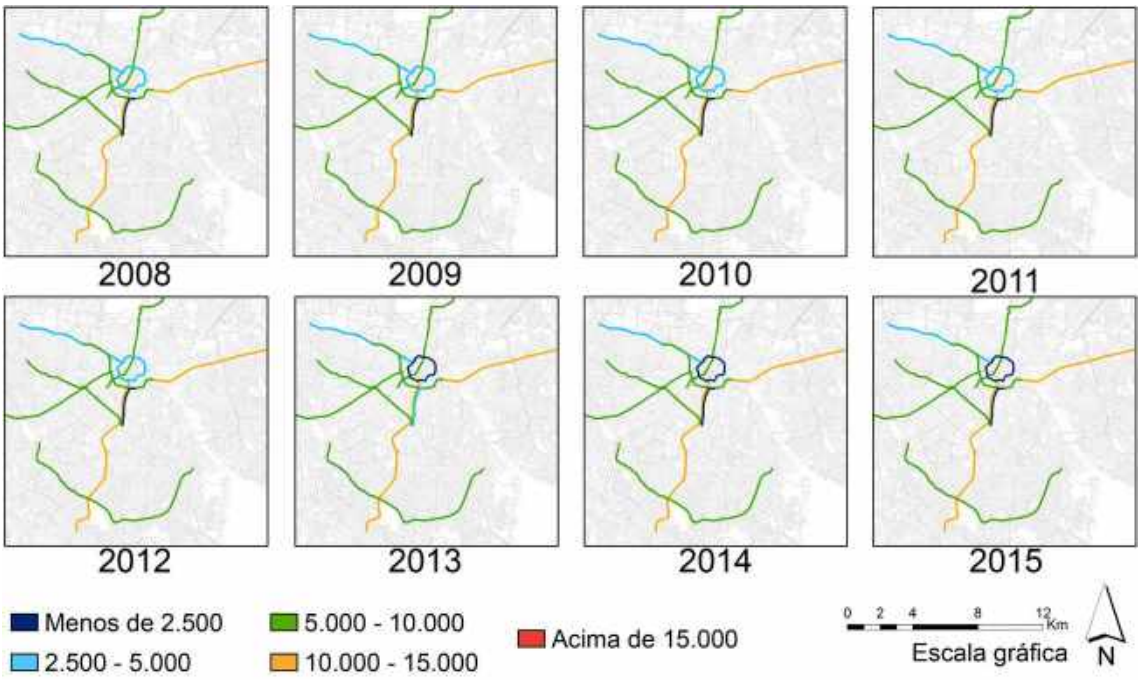


Figura 3 – Evolução do volume equivalente de tráfego veicular horário – período vespertino (17h-20h).
Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de CET (2017)

Nos dois horários (matutino e vespertino), destaca-se que as duas rotas que apresentaram maior volume durante o período caracterizam-se como importantes ligações entre diferentes regiões da cidade – 07G sendo Av. Radial Leste (acesso à zona Leste da cidade) e 10G Av. Washington Luís, Av. Rubem Berta, Av. Vinte e Três de Maio (Corredor Norte-Sul).

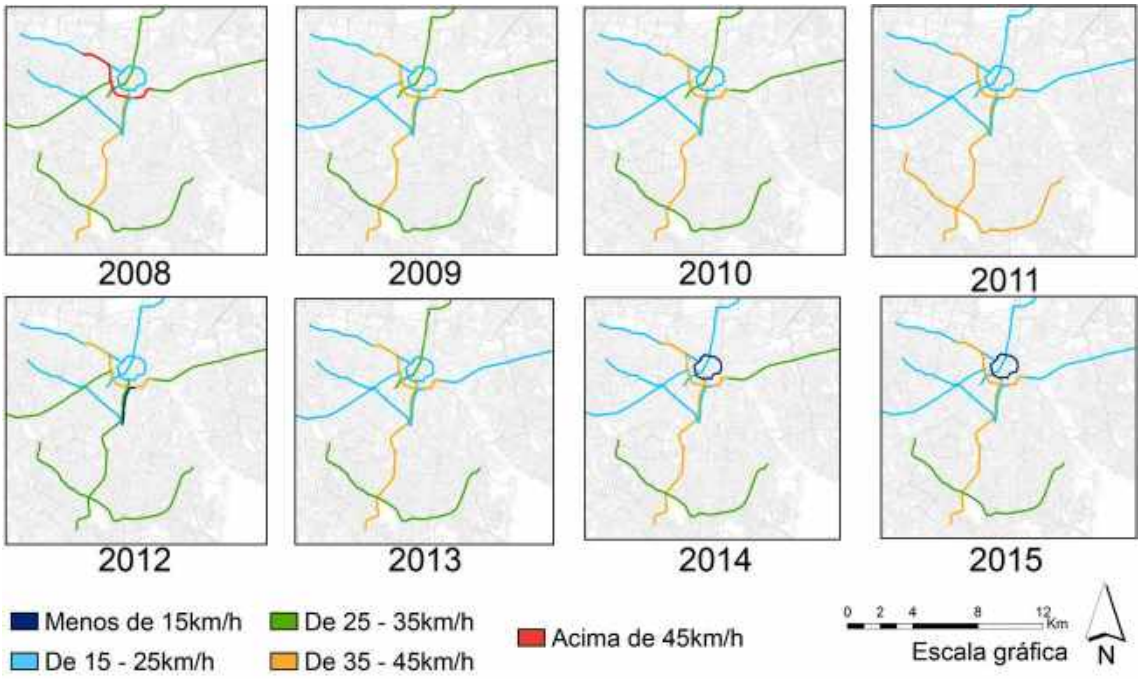


Figura 4 – Evolução da velocidade média (km/h) para as rotas selecionadas – período matutino (7h-10h).
Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de CET (2017)

Em relação à velocidade média das rotas monitoradas, observa-se que os valores de velocidade para o período matutino (figura 4) são mais elevados do que os do período vespertino (figura 5), porém sem apresentar uma tendência clara ao longo do período estudado. Para o período matutino, as rotas 10G e 14G são as que apresentaram valores mais elevados, variando de 30,6km/h (em 2012) a 42,2km/h (em 2009), e 36,2km/h (em 2013) a 47,7km/h (em 2008), respectivamente. As rotas que apresentaram os menores valores foram 15G e 32G, com 14,2km/h (em 2014) e 13,3km/h (em 2012), respectivamente.

No período vespertino, as rotas que apresentaram as maiores velocidades médias também foram 10G e 14G, com máximas de 34,3km/h (em 2014) e 32,9km/h (em 2010). Os menores valores foram registrados nas rotas 15G e 32G, com 12,4km/h (em 2009) e 13,3km/h (em 2010), respectivamente.

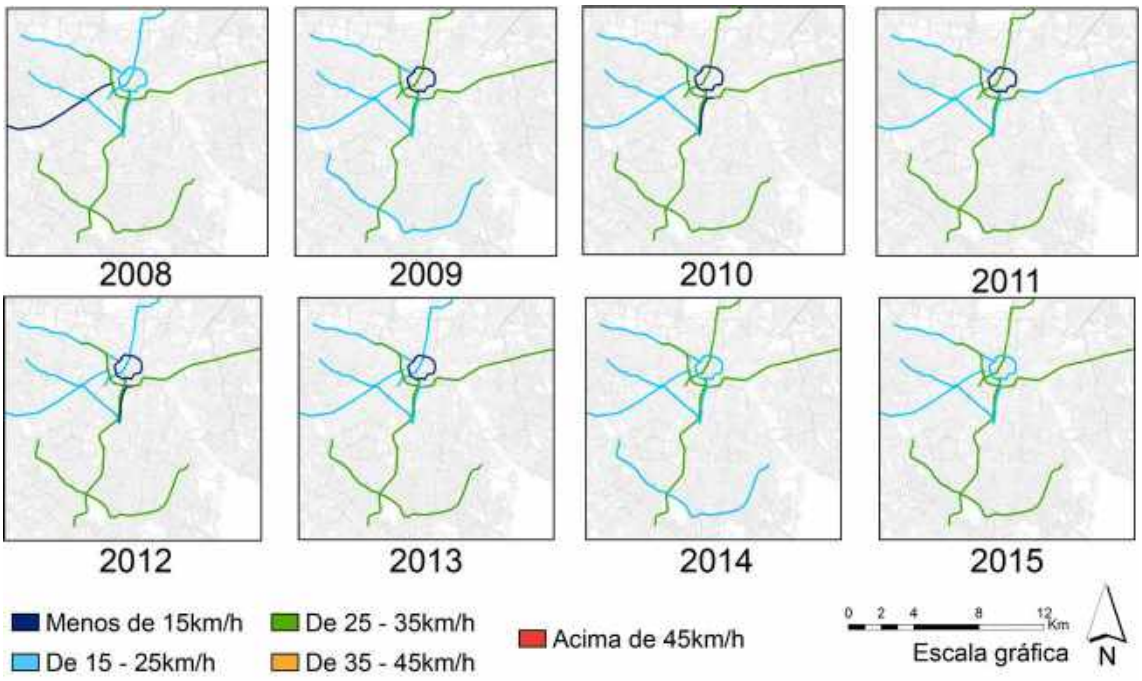


Figura 5 – Evolução da velocidade média (km/h) para as rotas selecionadas – período vespertino (17h-20h).
Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de CET (2017)

Na figura 6 são apresentados os valores referentes às das 10 rotas em estudo, somados para o tráfego acumulado por ano (leitura dos valores no eixo esquerdo) e valor médio para a velocidade. Analisando-se os valores totais acumulados, nota-se uma tendência à redução do volume total equivalente durante a amostra de tempo avaliada, variando de 156.087 em 2008 para 153.423 veículos em 2009, 152.650 veículos em 2010, com um pequeno aumento para 152.722 veículos em 2011, reduzindo novamente para 147.429 veículos em 2012, depois para 144.279 veículos em 2013, 139.824 veículos em 2014 e seu menor valor em 2015, com 139.764 veículos. Em relação à velocidade média anual, não se observou uma tendência clara, variando de um valor mínimo de 23,44km/h, em 2013, até o valor máximo de 25,59km/h, em 2010.

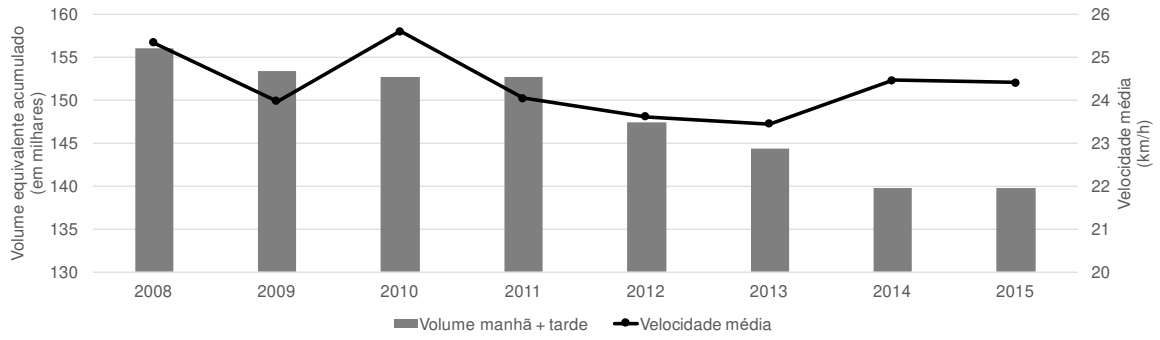


Figura 6 – Volume equivalente acumulado e velocidade média – período 2008-2015
Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de CET (2017)

Na figura 7 são apresentados os valores de volume de tráfego simplificado e da frota veicular da cidade de São Paulo. Apesar de se verificar o aumento anual na frota veicular para o período analisado, quando observamos o volume de tráfego acumulado nas rotas selecionadas para este estudo, constata-se a redução no número de veículos circulando nestas vias. Esta redução se apresenta de forma mais acentuada a partir do ano de 2011, enquanto os números referentes à frota veicular mantêm o crescimento desde 2008 até 2015, período analisado neste trabalho.

Uma hipótese para esta divergência observada na figura 7 é a de que poderia haver um aumento no retardamento das rotas monitoradas pela CET, resultando, consequentemente, em um menor número possível de veículos circulando nestas vias no período amostrado.

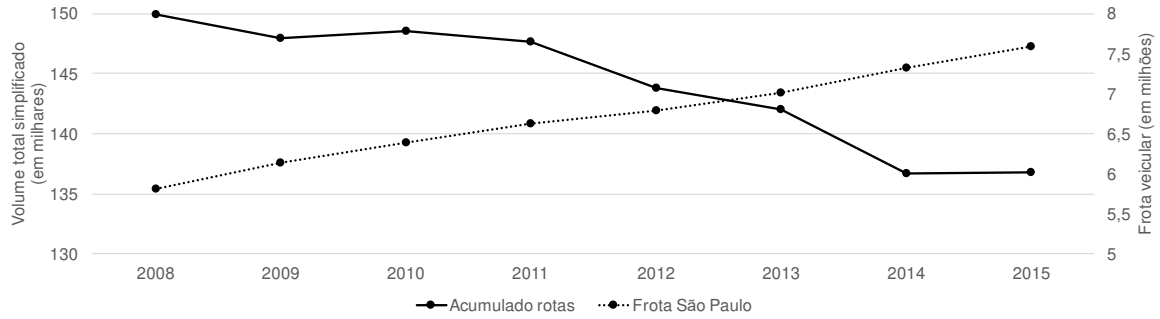


Figura 7 – Comparativo entre volume de tráfego e frota veicular para São Paulo – período 2008-2015
Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de CET (2017) e DENATRAN (2017).

A CET também fornece dados de retardamentos no sistema viário, categorizando-a em atrasos devido a congestionamento, semáforo, ponto de parada de ônibus, e outros. Na figura 8 encontram-se os dados referentes às dez rotas selecionadas para esta pesquisa, apresentados em termos de tempo absoluto de retardamento e percentual de tempo total gasto em retardamento.

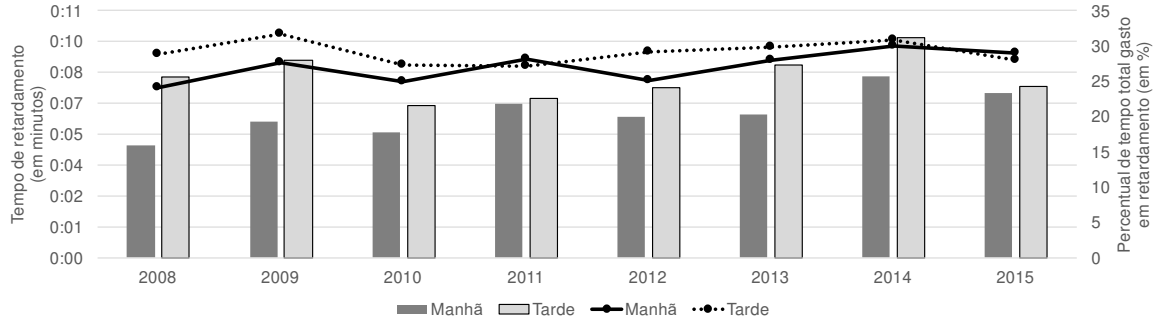


Figura 8 – Tempo de retardamento e Percentual de tempo total gasto em retardamento – período 2008-2015
Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de CET (2017).

Em relação ao tempo gasto em retardamento, observa-se que os valores do período vespertino são mais elevados que o do matutino em todo o período analisado, de 2008 a 2015. O tempo de retardamento para o período matutino teve seu menor valor, 5 minutos de atraso, registrado em 2008 e 2010, enquanto o maior valor, de 8 minutos, em 2014. No período vespertino, o limite inferior foi registrado em 2010, 2011 e 2012, de 7 minutos de atraso, enquanto o maior valor, 10 minutos, foi encontrado também em 2014.

O dado de "Percentual de tempo total gasto em retardamento" para o período matutino variou de um mínimo em 2008, de 24%, até cerca de 30% em 2014. Para o período vespertino, este dado apresentou seu menor valor em 2011, de 27% até um valor máximo de 32% observado em 2009. Constata-se, portanto, que os dados referentes ao retardamento do sistema, nas vias selecionadas para este estudo, permaneceram relativamente estáveis e sem uma tendência clara ao longo do período analisado.

Desta forma, acredita-se que a divergência observada nas tendências dos números referentes à frota e ao volume acumulado nas rotas pode ocorrer em função do uso de aplicativos de navegação e monitoramento de trânsito, tais como Waze e GoogleMaps. Estes aplicativos utilizam a localização do usuário, compartilhada por meio do GPS (Global Positioning System) para estimar o tráfego de veículos de uma determinada via, sugerindo trajetos alternativos quando identificada uma situação de tráfego intenso e congestionamento, resultando no chamado "Efeito Waze", (RIBEIRO, 2016).

De acordo com dados da empresa, somente o aplicativo Waze conta com 3 milhões de usuários ativos na Grande São Paulo, o que corresponde à mais de um terço da frota veicular para o mesmo período, (MANS, 2016).

4.1 Consequências para poluição sonora

O ruído proveniente do tráfego veicular é a principal causa de poluição sonora (MCALEXANDER *et al.*, 2015; CYRIL & KOSHY, 2013; GUEDES & BERTOLI, 2014; ZANNIN & BUNN, 2014; BISTAFA, 2011). Com base nos resultados apresentados, observa-se que, para o período considerado neste estudo, o volume de tráfego apresentou redução nas rotas monitoradas pela CET, resultando, consequentemente em uma redução no nível de ruído oriundo de suas vias. Porém, quando observados os números referentes à frota veicular para o período, esta redução não é constatada. Uma das possibilidades apontadas para estes

resultados pode se dever ao fato de motoristas fazerem uso de aplicativos de navegação, desviando o tráfego para vias até então com menor intensidade de tráfego.

Neste sentido, a redução verificada no nível de ruído proveniente das vias estruturais da cidade seria convertida em uma maior abrangência nas áreas afetadas por níveis de ruído considerados desconfortáveis conforme normas aplicáveis, como a NBR 10.151 (2000).

Embora estes níveis de ruído sejam atenuados por barreiras físicas quando alcançam o interior das edificações, o mesmo não ocorre em relação aos ambientes externos, aos quais pedestres, ciclistas, usuários de transporte público ou mesmo os próprios motoristas estão expostos. Ademais, as condições de conforto acústico dos ambientes internos também podem ser comprometidas, havendo necessidade de serem utilizadas soluções construtivas e/ou componentes mais robustos, que confiram melhor desempenho ao sistema.

Ressalta-se que estas conjecturas e os resultados apresentados nesta pesquisa abrangem o período de 2008-2015. Em estudos relacionados ao ruído urbano, quando considerado o horizonte de projeção de curto prazo (5-10 anos), o número de veículos automotores é diretamente proporcional ao nível de ruído resultante. Quando considerado um horizonte de projeção mais longo (>10 anos), outros fatores devem ser levados em conta, como por exemplo, a tecnologia disponível. Atualmente, a frota brasileira é composta majoritariamente de veículos que fazem uso de motores à combustão, mas outros países já possuem alternativas menos poluentes, tanto do ponto de vista da poluição do ar quanto da poluição sonora.

Os veículos movidos à eletricidade têm se tornado uma opção plausível nos últimos anos e o impacto da adoção destes sistemas sobre os níveis de ruído já está sendo investigado. VERHEIJEN & JABBEN (2010) afirmam que os veículos elétricos podem contribuir significativamente para a redução dos níveis de ruído urbano para tráfegos com velocidades até 50km/h. CAMPELLO-VICENTE *et al.* (2017) estimaram reduções da ordem de 9dB(A), para velocidade de tráfego de 10km/h, seguido de 4dB(A) para velocidades de 20km/h, 2dB(A) para 30km/h e cerca de 1dB(A) para 40km/h. A partir de 50km/h, a principal fonte de ruído passa a ser o atrito entre pneu e pavimento, extrapolando os níveis de ruído dos motores.

Conforme observado nas figuras 4 e 5, as velocidades aferidas nas rotas selecionadas para o presente estudo apresentaram valores inferiores a 50km/h. Para a cidade de São Paulo, portanto, a adoção de veículos elétricos poderia contribuir para a diminuição da incomodidade acústica dos ambientes urbanos.

5. CONCLUSÕES

O mapeamento sonoro é uma ferramenta fundamental para o diagnóstico do ruído em ambientes urbanos, possibilitando o embasamento e subsídio às ações de planejamento e de gestão territorial futuras, buscando a melhoria da qualidade acústica destes ambientes.

Neste sentido, os resultados deste estudo indicam uma redução no volume de automotores nas vias monitoradas pela CET para o período considerado. Esta redução, no entanto, não é observada nos valores de frota veicular para o mesmo período, levando a crer que pode haver uma influência de aplicativos de navegação sobre a decisão de mudança de rotas por parte dos motoristas. Como consequência, existe uma diminuição nos níveis de ruído de uma mesma via, porém com o incremento de níveis de ruído em vias próximas, resulta em uma maior incomodidade sob o ponto de vista da acústica.

Este estudo mostrou que os dados disponibilizados pelas companhias de tráfego podem ser utilizados como fonte de entrada de programas de simulação de propagação sonora, levando-se em consideração que apenas algumas vias são descritas nos estudos disponibilizados à sociedade. Desta forma, mesmo se tratando de dados oficiais de um órgão público, dependendo da região analisada ainda são necessários fatores de correção para uma avaliação mais precisa dos níveis de ruído.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSAY, S. S. *Estudo da poluição sonora através do mapa de ruído na implantação do novo Campus Universitário na Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR* (Dissertação de mestrado), UFPR, Curitiba, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, N. 10151 - *Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade* – Procedimento, 2000.

BISTAFA, S. R. *Acústica aplicada ao controle do ruído*. Edgard Blücher, 2011.

BLUHM, G. L., BERGLIND, N., NORDLING, E., & ROSENLUND, M. (2007). Road traffic noise and hypertension. *Occupational and environmental medicine,* 64(2), 122-126.

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

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.* (Dissertação de mestrado), UFPR, Curitiba, 2002.

CAMPELLO-VICENTE, H., PERAL-ORTS, R., CAMPILLO-DAVO, N., & VELASCO-SANCHEZ, E. The effect of electric vehicles on urban noise maps. *Applied Acoustics,* 116, 59-64, 2017.

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO – CET. *Relatório de Gestão 2005-2007*. São Paulo, p. 2, 2007. Capturado em 07 de setembro de 2017, de: http://cetsp1.cetsp.com.br/pdfs/balanco/2007/RelatorioCET0507web.pdf.

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO – CET. *Mobilidade no Sistema Viário Principal – MSVP 2016.* Volume e Velocidade – 2016, 2017. Capturado em 07 de setembro de 2017, de: http://www.cetsp.com.br/
COSTA, S. B., & LOURENÇO, R. W. Geoprocessing applied to the assessment of environmental noise: a case study in the city of Sorocaba, São Paulo, Brazil. E*nvironmental monitoring and assessment,* 172(1), 329-337, 2011.
CHEPESIUK, R. Decibel hell: the effects of living in a noisy. *Environmental health perspectives*, 113(1), A34, 2005.
CYRIL, A., & KOSHY, B. I. Modelling of road traffic noise. *International Journal of Innovative Research in Sciences*, Engineering and Technology, 2(1), 125-130, 2013.
DACOL, K. Ruídos mapeados. Construtoras apostam na cartografia sonora e em simulações de computador para garantir desempenho acústico de seus projetos. *Revista Téchne*, 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 2008 a 2015*. Recuperado em 07 de setembro de 2017, de: http://www.denatran.gov.br/, 2017.
DIRECTIVE, E. U. Directive 2002/49/EC of the European parliament and the Council of 25 June 2002 relating to the assessment of environmental noise. *Official Journal of the European Communities*, 189(12), 0012-0026, 2002.
GERGES, S. N. *Ruído: fundamentos e controle*. In Ruído: fundamentos e controle. UFSC, 2000.
GIUNTA, M. B. *Análise de modelagem de previsão acústica e mapeamento sonoro para a cidade de São Carlos-SP.* (Dissertação de mestrado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.
GUEDES, I. C. M., & BERTOLI, S. R. Mapa acústico como ferramenta de avaliação de ruído de tráfego veicular em Aracaju–Brasil. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, 2014.
INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Censo Demográfico 2010,* 2010. Recuperado em 07 de setembro de 2017, de: http://www.censo2010.ibge.gov.br.
INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data referência em 1º de julho de 2017.* Recuperado em 10 de setembro de 2017, de https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100923.pdf, 2017.
HOLTZ, M. *Avaliação qualitativa da Paisagem Sonora de parques urbanos. Estudo de caso: Parque Villa Lobos. São Paulo.* (Dissertação de Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
LACERDA, A. B. M., MAGNI, C., MORATA, T. C., MARQUES, J. M., & ZANNIN, P. H. T. Ambiente urbano e percepção da poluição sonora*. Ambient Soc*, 8(2), 2005.
MCALEXANDER, T. P., GERSHON, R. R., & NEITZEL, R. L. Street-level noise in an urban setting: assessment and contribution to personal exposure. *Environmental Health*, 14(1), 18, 2015.
MANS, M. Waze chega a 3 milhões de usuários em São Paulo. *Jornal Estadão*, 2016. Recuperado em 09 de setembro de 2017, de: < http://link.estadao.com.br/noticias/cultura-digital,waze-chega-a-3-milhoes-de-usuarios-em-sao-paulo>
MARTINS, A. L., ALVARENGA, K. F., BEVILACQUA, M. C., & COSTA FILHO, O. A. Perda auditiva em motoristas e cobradores de ônibus. *Rev. bras. otorrinolaringol*, 67(4, pt. 1), 467-473, 2001.
MEHDI, M. R., KIM, M., SEONG, J. C., & ARSALAN, M. H. Spatio-temporal patterns of road traffic noise pollution in Karachi, Pakistan. *Environment international,* 37(1), 97-104, 2011.
MORAES, E., LARA, L., TOGUCHI, L., PINTO, A., & CACELA, A. A. Mapa de ruídos da zona comercial de Belém, uma parcela do mapa de ruídos da cidade de Belém–Brasil. Bilbao: *Tecni Acustica,* 2003.
MURGEL, E. *Fundamentos de acústica ambiental*. Senac. São Paulo, 2007.
PAZ, E. C. ; COELHO FERREIRA, A.; TROMBETTA ZANNIN, P. Estudo comparativo da percepção do ruído urbano. Revista de Saúde Pública, Junio-Sin mes, 467-472, 2005.
PINTO, D. N., ARAÚJO, V. M. D., ARAÚJO, B. C. D., & GOMES, R. N. Impacto do ruído de tráfego: estudo de caso no bairro de lagoa nova, Natal-RN. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil.* Rio Grande do Norte: UFRN, (2), 28-37, 2013.
PINTO, F. A. D. N. C., & MARDONES, M. D. M. Noise mapping of densely populated neighborhoods—example of Copacabana, Rio de Janeiro—Brazil. *Environmental monitoring and assessment*, 155(1-4), 309-318, 2009.
RIBEIRO, B. 'Efeito Waze' e crise fazem trânsito diminuir e velocidade aumentar em SP. *Jornal Estadão*, 2016. Recuperado em 09 de setembro de 2017, de: <http://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,efeito-waze-e-crise-fazem-transito-diminuir-e-velocidade-aumentar-em-sp,10000092751>.
SOUZA, L. C. L., & GIUNTA, M. B. Urban indices as environmental noise indicators. *Computers, Environment and Urban Systems,* 35(5), 421-430, 2011.
SOUZA FILHO, J. J. D. *Avaliação do ruído urbano na cidade de Campo Grande/MS* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
VALLE, C.. São Paulo está perto de ter 6 milhões de carros. Por que isso é um problema. *Nexo Jornal*, 23 fev 2017, 2017. Recuperado em 07 de setembro de 2017, de <https://www.nexojornal.com.br/expresso/2017/02/23/S%C3%A3o-Paulo-est%C3%A1-perto-de-ter-6-milh%C3%B5es-de-carros.-Por-que-isso-%C3%A9-um-problema>.
VERHEIJEN, E., & JABBEN, J. Effect of electric cars on traffic noise and safety. *RIVM letter report*, 2010.
WORLD HEALTH ORGANISATION – WHO. Berglund, B., Lindvall, T., & Schwela, D. H. *Guidelines for community noise. In Guidelines for community noise*, 1999.
ZANNIN, P. H. T., & BUNN, F. Noise annoyance through railway traffic-a case study. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), 14, 2014.
ZANNIN, P. H. T., DINIZ, F. B., & BARBOSA, W. A. Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. *Applied Acoustics*, 63(4), 351-358, 2002.
ZANNIN, P. H. T., ENGEL, M. S., FIEDLER, P. E. K., & BUNN, F. Characterization of environmental noise based on measurements, mapping and interviews: A case study at a university campus in Brazil. *Cities*, 31, 317-327, 2013.