

## **AVALIAÇÃO DA DISPERSÃO DA ENERGIA SONORA GERADA PELO TRÁFEGO DE VEÍCULOS POR MEIO DE MAPAS ACÚSTICOS**

**Luiz Antonio P. F. de Brito<sup>(1)</sup>**

(1) Doutor, Professor do Programa de Pós Graduação em Planejamento Urbano e Desenvolvimento Regional e do Departamento de Arquitetura da UNITAU, [labrito@bighost.com.br](mailto:labrito@bighost.com.br), Rua Visconde do Rio Branco, 210, Centro, Taubaté-SP – Brasil, CEP: 12020-040, Tel.: (12) 3625-4151

### **RESUMO**

A poluição sonora no meio urbano é presente em cidades de vários portes. Uma das principais fontes urbanas de ruído é o tráfego de veículos. A melhor forma de mitigação da propagação da energia sonora no meio urbano é a redução da geração de ruído diretamente na fonte. O motor e os pneus são as principais fontes de ruído dos veículos. O tipo de pavimento é parte importante no processo de geração de energia sonora. A morfologia urbana também influencia no modo de propagação da energia sonora podendo contribuir ou não para a poluição sonora. Os mapas acústicos são uma ferramenta poderosa para identificação de áreas de concentração de excesso de ruído, principalmente em áreas internas das quadras e edificações. O objetivo deste trabalho é avaliar a influência do ruído gerado pelo tráfego de veículos no meio urbano, considerando a melhoria do pavimento de rolamento e a morfologia e distribuição das edificações. Foi possível observar que o tipo de pavimento altera de maneira significativa a distribuição da energia sonora sendo que esta pode ser uma técnica eficiente para melhoria da qualidade de vida da população em geral.

Palavras-chave: ruído, pavimento, planejamento urbano, poluição sonora

### **ABSTRACT**

Noise pollution in the urban area is a source of nuisance to the general population. Road traffic is one of the major source of noise pollution in urban areas. The best way to mitigate the sound propagation in urban areas, mainly in the consolidated occupations, is to reduce noise generation directly at the source. The main noise source of a vehicle is the engine and tires. The pavement texture influences the sound generation process. The urban morphology also influences the way of propagation of the sound energy, being able to contribute or not to the noise pollution. Acoustic maps are a powerful tool for identifying areas of concentration of noise pollution, especially in indoor areas of the urban blocks and buildings. The objective of this work is to evaluate the influence of noise generated by road traffic in the urban environment, considering the improvement of the pavement texture and the morphology and distribution of the buildings. It was possible to observe that the type of pavement changes significantly the distribution of sound energy and that this can be an efficient technique to improve the quality of life of the population in general.

Keywords: noise, road surface, urban planning, noise pollution

### **1. INTRODUÇÃO**

Organização Mundial da Saúde (WHO, 2009) considera que a poluição sonora pode causar problemas na saúde e bem estar da população, sendo fonte de doenças como o stress, distúrbio no sono, irritabilidade e dificuldade na comunicação. Segundo Ivamovicet al. (2014), cerca de 50 milhões de pessoas na União Europeia estão expostas a níveis de ruído acima do indicado pela Organização Mundial da Saúde. Weber, Haas e Franck (2014) relataram diversos males ligados a exposição continuada de ruídos acima do critério estabelecido nos períodos de descanso da população de Leipzig localizada na região central da Alemanha. Cidades como Taiwan chegam a ter 70% da população expostas a níveis de ruído acima do normalizado

(TSAI-A, LIN, CHEN, 2009). Orban et al. (2015) obtiveram, como resultado de seus estudos referentes à exposição da população a ruídos de longa duração (cinco anos), que a probabilidade de depressão é 30% maior quando o nível de pressão sonora supera os 55 dB(A). Halonen et al. (2015) relataram a associação de doenças cardiovasculares quando da exposição continuada a níveis de ruído, principalmente para as pessoas com mais de 75 anos.

A poluição sonora nas cidades brasileiras seja de médio, pequeno ou grande porte já é estudada por diversos autores. Brito (2009) apresentou uma relação de estudos realizados no Brasil onde o tráfego de veículos era a principal fonte de ruído no meio urbano levando ao desconforto à população, problemas de saúde e desvalorização imobiliária. Schimitt (2014) concluiu que os níveis de ruído normalizados na cidade de Porto Alegre não são atendidos, assim como Aleixo, Constantino e Carvalho (2014) em Goiânia e Guedes, Kohler e Carvalho (2014) na cidade de Aracaju. Szeremeta (2015) avaliou a poluição sonora em alguns parques de Curitiba (PR) e concluiu que as vias de tráfego lindeiras aos mesmos geram níveis de ruído acima do normalizado. Em entrevistas com os usuários dos parques o ruído gerado pelo tráfego de veículos foi a segunda causa de reclamação. Belojevic et al. (2008) e Brandt e Maennig (2011) relataram casos onde parte da população está exposta a níveis inadequados de ruído devido ao tráfego de veículos, pois o planejamento urbano não considerou as distâncias adequadas entre as vias e os conjuntos residenciais para a dissipação da energia sonora. Outro efeito pernicioso da degradação ambiental devido ao excesso de ruído é a desvalorização imobiliária. Em média o custo de uma edificação decresce cerca de 2,9% por dB(A) de acréscimo no nível de pressão sonora normalizado na Polônia, 3,0% na Suécia e 1,3% na Coreia do Sul (ŁOWICKI e PIOTROWSKA, 2005).

Segundo Zhao et al. (2015) o tráfego de veículos no meio urbano é a principal fonte de ruído principalmente nas zonas lindeiras às grandes artérias de circulação, em rodovias que se aproximam das cidades ou ainda em rodovias que se tornam avenidas. Esta situação pode ser encontrada em capitais e cidades de grande porte como demonstra os estudos de Niemayer e Cortês (2012) na cidade do Rio de Janeiro. Segundo os autores o tráfego de veículos leves e pesados na Linha Vermelha, que liga a zona oeste ao centro da cidade, impacta o nível de pressão sonora do Bairro de São Cristóvão. Em cidades de médio porte como São Carlos e Bauru (SP), Giunta, Souza e Viviane (2012) realizaram medições de nível de pressão sonora e mapas acústicos que possibilitou a identificação de várias localidades com padrão sonoro acima do normalizado. Scherer, Piagetti e Vani (2008) chegaram a resultados semelhantes na cidade de Santa Maria (RS). Griefahn, Marks e Robens (2006) avaliaram o ruído gerado por vários modais de transporte, rodoviário, ferroviário e aéreo, nas principais cidades europeias, e concluíram que o primeiro é o mais influente na perturbação do sono da população. Neste estudo a conclusão geral é que a distância entre a fonte e o receptor é a forma mais eficaz e econômica de atenuar a propagação do ruído no meio urbano. Belojevic et al. (2008) relataram o excesso de ruído gerado pelo tráfego de veículos que supera entre 11 a 16 dB(A) o limite normalizado no período diurno e de 10 a 14 dB(A) no período noturno. Os autores também concluíram que a população masculina submetida a níveis de ruído acima do normalizado, neste caso 45 dB(A), apresenta 6% mais casos de hipertensão arterial que a população submetida a níveis de ruído inferiores a 45 dB(A).

A norma brasileira que aborda os níveis adequados ao conforto da população, independentemente do tipo de fonte de ruído, é a NBR 10151 (2000), Avaliação de ruído sem áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Não existe uma normalização específica no Brasil para a avaliação do ruído gerado pelo tráfego de veículos, sendo a única que se dedica especialmente a este caso é a CETESB DD 389 (2010), válida apenas para o Estado de São Paulo. Como parâmetro de análise, a NBR 10151 (2000), que está em fase de revisão, determina como nível crítico de avaliação (NCA) em áreas estritamente residenciais, valores de 50 e 45 dB(A), para o período diurno e noturno respectivamente. Considerando que neste tipo de ocupação não há vias de grande volume de tráfego, apenas ruas com tráfego local, torna-se mais importante no escopo deste estudo as áreas mistas com predomínio residencial, com NCA de 55 e 50 dB(A). Internacionalmente a métrica aceita para este tipo de análise é o Nível Dia e Noite,  $L_{dn}$ , (BISTAFA, 2006) que pode ser dividido em  $L_d$  que considera o ruído gerado no período de 15 horas (das 7 as 22hs), e  $L_n$ , que considera o ruído gerado no período de 9 horas (das 22 as 7hs), neste caso com um acréscimo de 10 dB(A) no valor obtido.

Segundo Bistafa (2006) o valor de  $L_{dn}$  aceito internacionalmente para áreas habitadas é de 55 dB(A). No caso de se adotar o NCA de 55 dB(A) (NBR 10151, 2000) como  $L_d$ , o  $L_n$  deveria ter um valor máximo de 45 dB(A) para que o  $L_{dn}$  de 55 dB(A) seja obtido. Ou seja, o limite noturno adotado pela Comunidade Europeia é 45 dB(A) enquanto no Brasil é 50 dB(A). De acordo com Freitas e Freitas (2008) e Musafir (2008) o NCA da NBR 10151 (2000) não é cumprido, sendo em grande parte devido ao ruído de tráfego, fato agravado pelo NCA noturno ser pelo menos 5 dB(A) superior as recomendações internacionais. Klæboe et al. (2004) entrevistaram na Noruega cerca de 4000 pessoas inquirindo sobre o incômodo gerado pelo ruído de tráfego. Para o  $L_{dn}$  externo de 55 dB(A), cerca de 12 % dos entrevistados são altamente incomodados, 28%

são incomodados, 35% escutam mas não se incomodam e 25% não escutam o ruído gerado pelo tráfego de veículos. Ou seja, mesmo com um  $L_{dn}$  de 55 dB(A) há um potencial de incômodo em cerca de 40% da população pesquisada, e considere-se ainda o fato das edificações no norte da Europa possuírem elevado isolamento acústico, devido a necessidade de isolamento térmico, muito diferente do padrão das edificações brasileiras que permanecem a maior parte do dia e ano com as janelas abertas devido a necessidade de ventilação.

O planejamento urbano é uma das principais ferramentas para o controle da dispersão do ruído pelas cidades e envolve variáveis complexas como o tráfego de veículos leves e pesados, relacionado com a poluição sonora e do ar, mas necessário para mobilidade urbana (IVANOVIC et al., 2014). O planejamento urbano pode impor regras por meio de normas e leis para o controle da poluição sonora influenciando decisivamente na qualidade ambiental das cidades, por meio de intervenções no receptor, no meio de propagação ou diretamente na fonte de ruído. No caso da intervenção no receptor a ação projetual visa o aumento do isolamento acústico das fachadas, paredes e janelas como o determinado na pela NBR 15575 (2013). Este tipo de ação pode ser limitada e prejudicada pela tipologia climática predominante em praticamente todo o território nacional, onde a ventilação é primordial para o conforto térmico, principalmente em áreas mais úmidas. No caso das janelas permanecerem fechadas há necessidade de refrigeração, que utilizada indiscriminadamente gera um problema energético, não sendo ambientalmente viável. Importante também ser considerado que ao se proteger o receptor o meio urbano é relegado à deterioração.

O planejamento urbano também pode interferir no meio de propagação da energia sonora. A morfologia das cidades, como por exemplo, posicionamento de edifícios nas quadras, sua altura, recuos frontais e laterais além da taxa de ocupação de lotes, podem reduzir em até 6 dB(A) no nível de pressão sonora em uma região (SILVA, OLIVEIRA E SILVA, 2014), influenciando na qualidade ambiental urbana. Outros autores como Weber, Haas e Franck (2014) e Ariza-Villaverde, Jimenez-Horner e Rave. (2014) chegaram a conclusões semelhantes em seus estudos. A densidade populacional e de veículos são fatores que também influenciam a paisagem sonora de uma cidade, segundo estudos de Salomons e Pont (2012) nas cidades de Rotterdan e Amsterdan. Segundo os autores, há uma ligação direta entre esses dois fatores e a quantidade de reclamações devido ao excesso de ruído nos órgãos municipais. Concluíram também que a alta densidade populacional influi na forma do posicionamento dos edifícios nas quadras, alinhados, alternados ou aleatórios, de forma que podem propiciar ou não a dispersão da energia sonora. Por exemplo, no caso do posicionamento dos edifícios alinhados nas quadras são criados “corredores acústicos” onde há uma forte tendência de concentração da energia sonora, sendo formadas assim, regiões de maior ou menor nível de pressão sonora. Essa tipologia de ocupação pode ser utilizada como parâmetro de projeto urbano, onde áreas comerciais podem ocupar tais “corredores” e as residências ficarem afastadas. Já a tipologia alternada ou aleatória facilita a dispersão da energia sonora, mas ao mesmo tempo, não a concentra em certos pontos, tornando a paisagem sonora semelhante em toda uma região, sendo indicada para áreas apenas de ocupação residencial. Uma das técnicas que podem ser utilizadas nesse sentido é dificultar a propagação do ruído no meio urbano e/ou afastar as fontes de ruído dos receptores. A redução dos recuos das edificações em relação às vias de tráfego, geradas especialmente pela especulação imobiliária, dificulta e dispersão da energia sonora além de aproximar a fonte de ruído do receptor. Outros efeitos ambientais também podem ser observados devido à proximidade das edificações, como a formação das ilhas de calor, resultante do acúmulo da radiação solar nos corpos sólidos durante o dia, que não é emitida ao céu durante a noite, a redução da ventilação e a exposição da população a vibração gerada pelo tráfego de veículos (BRITO, 2014). O adensamento urbano também favorece as reflexões sonoras, ou seja, ao invés de dispersar as ondas sonoras as fachadas dos edifícios as refletem de volta, concentrando a energia sonora e elevando o nível de pressão sonora no local.

A vegetação rasteira, de médio e de grande porte, e as barreiras acústicas naturais, geradas pelas diferenças topográficas e taludes também são uma forma de reduzir e/ou dificultar a dispersão sonora no ambiente urbano. A implantação de praças, jardins e taludes vegetados precisam fazer parte do projeto urbano não podendo ser utilizadas de maneira corretiva, apenas preventiva. As barreiras artificiais, como muros de concreto ou alvenaria, podem também ser utilizadas como ferramentas de projeto urbano para controle da poluição sonora, mas possuem limitações como a redução da mobilidade de pedestres, redução da ventilação, em alguns casos o sombreamento das edificações além da possibilidade de acidentes. Desta forma, essas intervenções são recomendadas somente em casos específicos como em rodovias onde há espaço para sua construção. Ou seja, as intervenções no meio de propagação não são possíveis, ou são raras de se conseguir, se não fizerem parte do planejamento urbano e forem implantadas antes da consolidação da ocupação.

A intervenção na fonte de ruído, esta a mais desejada, melhora a qualidade ambiental do espaço urbano como um todo, pode ser feita diretamente nos veículos, na forma que o tráfego é organizado e no pavimento

de rodagem. Segundo Eisenblatter, Walsh e Krylov (2010) a indústria automobilística já reduziu ao máximo o ruído gerado pela suspensão e sistema motor e transmissão dos veículos movidos por motores a combustão, restando apenas a necessidade de fiscalização pública para que as condições originais destes sejam mantidas. A organização do tráfego de veículos no meio urbano também contribui para a redução na poluição sonora. Uma das formas desse controle é a velocidade dos veículos, já que a partir de 50 km/h o ruído gerado pelos pneus dos veículos leves predomina sobre o ruído gerado pelo conjunto motor/transmissão (HECKL, 1985), ou seja, a redução da velocidade pode também reduzir a emissão de energia sonora, em que pese seus efeitos na mobilidade urbana. Segundo os estudos apresentados pelo Fórum Europeu de Estudo de Rodovias (FEHRL, 2006) a redução da velocidade de 50km/h para 30 km/h diminui o nível de pressão sonora em média de 2 dB(A). O fluxo de tráfego constante, sem paradas em semáforos e cruzamentos, reduz a frenagem e aceleração dos veículos podendo resultar em uma redução de até 4 dB(A), principalmente em locais onde o tráfego de veículos pesados predomina.

Segundo Heckl (1985) a partir da velocidade de aproximadamente 50 km/h o ruído gerado pelos pneus dos veículos leves predomina sobre o ruído gerado pelo conjunto motor/transmissão. O movimento circular dos pneus é a principal causa de geração de ruído, devido aos efeitos aerodinâmicos e vibratórios (EISENBLAETTER, WALSH, KRYLOV, 2010). A vibração, induzida pelo movimento circular do sistema pneu, roda e rolamentos, nas velocidades acima de 50 km/h, causa deformação na banda de rodagem que implica em um contato desuniforme desta com o pavimento, causando a vibração de todo o sistema, e desta forma, gerando energia sonora. Como consequência deste efeito também pode ocorrer a ressonância do volume interno de ar dentro do pneu, também gerando energia sonora. Já o ruído aerodinâmico, conhecido como feito corneta, é gerado pela passagem forçada de ar pelas cavidades de escoamento de água do pneu. A geração de ruído se dá na expulsão deste volume de ar em alta velocidade (CESBRON et al., 2009). Uma das principais características do pavimento que pode alterar o padrão de emissão sonora é sua porosidade. Pavimentos mais porosos tendem a absorver a energia sonora e reduzir sua propagação, além de facilitar a passagem do ar pelas cavidades do pneu reduzindo o efeito corneta (GOLEBIEWSKI et al., 2003). Brito (2015) realizou medidas de nível de pressão sonora em pavimentos rugosos e porosos e obteve como resultado a redução da emissão de ruído no segundo caso.

O mapa acústico é uma ferramenta que pode auxiliar no planejamento urbano já que pode identificar as principais fontes de ruído e demonstrar a sua forma de propagação no meio ambiente (SUÁREZ e BARROS, 2014). Outras finalidades dos mapas acústicos são identificar as principais fontes de ruído urbano, demonstrar a propagação de ruído no meio ambiente, servir de base para uma política pública de controle de ruído considerando o custo benefício das ações, ajudar a desenvolver ações de punição a nível regional e nacional para reduzir a emissão de energia sonora além de garantir a existência de áreas tranquilas próximas aos centros urbanos, monitorar o processo de redução de ruído durante a implantação de políticas públicas, monitorar as alterações no padrão acústico das cidades e servir de base para estudos do efeito do ruído na população em geral (TSAI-A, LIN, CHEN, 2009). A Diretiva 49/EC (Parlamento Europeu, 2002) obriga as cidades da Comunidade Europeia com mais de 250.000 habitantes a desenvolverem mapas acústicos para controle da propagação da energia sonora. Na cidade de São Paulo, por exemplo, a lei 075/2013 (São Paulo, 2016) fixa a necessidade do poder municipal em fazer o mapa de ruído urbano a cada ano com o intuito de orientar a adoção de ações e políticas públicas para a melhora da qualidade ambiental e urbanística da cidade, entre outros. Um mapa acústico também pode fornecer informações detalhadas sobre o impacto do ruído na população sendo uma ferramenta científica para compreender o fenômeno de propagação de ruído no meio ambiente, além de poder simular condições futuras antes de sua implantação (LEE, CHANG e PARK, 2008). Para que haja redução na emissão da energia sonora nas cidades de grande e médio porte, preservando assim sua qualidade ambiental, são necessárias medidas de planejamento urbano. Em situações de ocupação urbana consolidada o poder público dispõe de poucas ferramentas para controlar a poluição sonora, principalmente a gerada pelo tráfego de veículos. A forma mais eficiente de controle neste caso é a redução da emissão sonora na fonte de ruído, sendo que o pavimento asfáltico é parte importante no processo.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência do ruído gerado pelo tráfego de veículos, considerando duas tipologias de pavimento, no meio urbano.

## **3. MÉTODO**

Para avaliação da influência da qualidade do pavimento no meio urbano foi montado um modelo matemático no software SoundPlan 7.3, que utiliza as normas ISO 9613-2 (1996) e RLS 90 (1990) como parâmetro de análise. O modelo inicial, com o pavimento de concreto asfáltico (CA) desgastado simulou a distribuição da



energia sonora na região central das cidades de Taubaté e Campos do Jordão com base em medições de nível de pressão sonora realizadas previamente por Brito e Sinder (2009) e Brito e Barbosa (2014), para cada cidade respectivamente, conforme procedimentos da NBR 10151 (2000). Os detalhes da localização dos pontos de medição e demais procedimentos podem ser obtidos nos respectivos trabalhos.

Brito (2015) realizou medições do nível de pressão sonora gerado pelo tráfego de veículos em três condições de pavimento, considerando o campo aberto, ou seja, sem a influência das reflexões sonoras das fachadas das edificações. Neste trabalho foi obtida uma redução de cerca de 4 dB(A) quando o pavimento de concreto asfáltico desgastado foi substituído pelo SMA poroso 15% 0/11 em vias de velocidade de 50 e 60 km/h, pois em velocidades reduzidas, inferiores a estas, o ruído gerado pela interação pneu/pavimento é mínimo, sendo o motor do veículo o grande gerador do ruído (ROMAGNOLLI, 2012). Desta forma, foi aplicado no modelo inicial a redução de 4 dB(A), que simula a substituição do pavimento de concreto asfáltico desgastado pelo SMA poroso 15% 0/11, nas vias de velocidade regulamentadas de 50 km/h, conforme indicado na Figura 1 para a cidade de Taubaté e Figura 2 para a cidade de Campos do Jordão.



Figura 1 Vista de região central da cidade de Taubaté (SP) com as vias onde foi considerada a substituição do pavimento asfáltico (vermelho)



Figura 2 Vista de região central da cidade de Campos do Jordão (SP) com as vias onde foi considerada a substituição do pavimento asfáltico (vermelho)

A redução de 4 dB(A) no nível de pressão sonora gerado quando da substituição do pavimento de concreto asfáltico desgastado pelo SMA poroso 15% 0/11 é compatível com o encontrado na literatura. Gail, Bartolomaeus e Zöllner (2014) pesquisaram o ruído emitido por vários tipos de pavimentos na Alemanha e concluíram que o pavimento SMA 15% 0/8 reduz o nível de pressão sonora em 5 dB(A) para velocidade de 60 km/h e 6 dB(A) para a velocidade de 80 km/h em relação ao tipo de pavimento CA. Pajeet al. (2010) e Losa, Leandri e Cerchiai (2012) e Paje et al. (2013) pesquisaram o efeito da redução da energia sonora gerada com a mistura de granulado de borracha ao pavimento tipo CA e obtiveram em média uma redução entre 2,5 e 4 dB(A). O pavimento de concreto asfáltico na condição nova não foi considerado, pois a expectativa de redução é de aproximadamente 1 dB(A), não sendo significativa na poluição sonora ambiental.

No modelo foram consideradas as reflexões das fachadas das edificações até a terceira ordem para tornar mais realista a influência da morfologia na dispersão do ruído pelo ambiente urbano (BRAUNSRTEIN e BERDNT, 2012). A altura média das edificações considerada foi de 3,5 metros, o grid de cálculo foi de 1 m e a altura do plano do nível de pressão sonora 1,5 m.

#### 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A Figura 3 apresenta o resultado da simulação da distribuição da energia sonora na cidade de Taubaté (SP) conforme medições realizadas com o pavimento de concreto asfáltico desgastado (BRITO e SINDER, 2009). Nesta região há uma conurbação de ocupações com residências, escolas infantis e secundárias, prédios universitários, clínicas e hospitais e vários tipos de pontos comerciais. As principais vias da cidade cortam essa região de maneira que os receptores sempre estão próximos da fonte de ruído.

As cores em tom amarelo representam níveis de ruído até 50dB(A), recomendado pela NBR 10151 (2000) para áreas residenciais no período diurno, as cores em tom de verde representam níveis de ruído entre 50 e 55 dB(A) recomendado para áreas de ocupação mista e as cores em tom de vermelho representam valores acima de 55 dB(A). Observa-se que as principais vias de tráfego geram níveis de ruído acima dos 60 dB(A) (cores avermelhadas). Nas partes internas das quadras predominam as cores verdes e praticamente não há regiões com cores amarelas que representam níveis de ruído inferiores a 50 dB(A), o que seria desejado, pois são utilizadas como área de lazer das residências e escolas e descanso dos funcionários nos pontos comerciais. Pode-se observar também que a grande praça (na parte de baixo da figura) apresenta níveis elevados de ruído e somente no seu interior há o decaimento para níveis próximos a 50 dB(A). A Figura 4 apresenta a simulação da distribuição da energia sonora da cidade de Taubaté considerando a substituição do pavimento desgastado pelo SMA 15% 0/11, conforme resultados obtidos por Brito (2015), somente nas vias com velocidade permitida superior a 50 km/h. Na zona lindeira as principais vias (passeio público) o nível de pressão sonora permaneceu elevado principalmente devido às reflexões sonoras das fachadas das edificações. Nas partes internas das quadras observa-se que as cores amareladas (inferiores a 50 dB(A)) se tornaram mais comuns assim como a cor verde claro (até 51 dB(A)) o que representa uma melhoria razoável na poluição sonora do ambiente urbano. Na referida praça também pode se observar que as cores verdes aumentaram de dimensão o que indica uma redução no nível de pressão sonora tornando-a mais confortável para o lazer.

A Figura 5 apresenta a simulação da distribuição da energia sonora na cidade de Campos do Jordão (SP) considerando o pavimento de concreto asfáltico desgastado (BRITO e BARBOSA, 2014). Esta região é ocupada por residências, pousadas, hotéis e restaurantes, na maioria ligados a principal atividade comercial da cidade que é o turismo. As vias de acesso não passam pela parte central da região analisada, como no modelo anterior, mas sim formam um binário de tráfego que fica na parte superior da figura. Por ser uma região de residências, descanso e lazer o nível de pressão sonora inferior a 50 dB(A), representados pelas cores amareladas, seria o desejado, mas observa-se grande parte do interior das quadras as cores verdes.

A Figura 6 apresenta a simulação da distribuição da energia sonora da cidade de Campos do Jordão (SP) considerando a substituição do pavimento desgastado pelo SMA 15% 0/11, conforme resultados obtidos por Brito (2015), somente nas vias com velocidade permitida superior a 50 km/h. Novamente é possível observar a redução do nível de pressão sonora (predominância das cores amarelas), principalmente no meio das quadras reduzindo novamente a poluição sonora no ambiente urbano.





Figura 3 Simulação da distribuição da energia sonora na região central da cidade de Taubaté (SP) com a condição do pavimento desgastado.

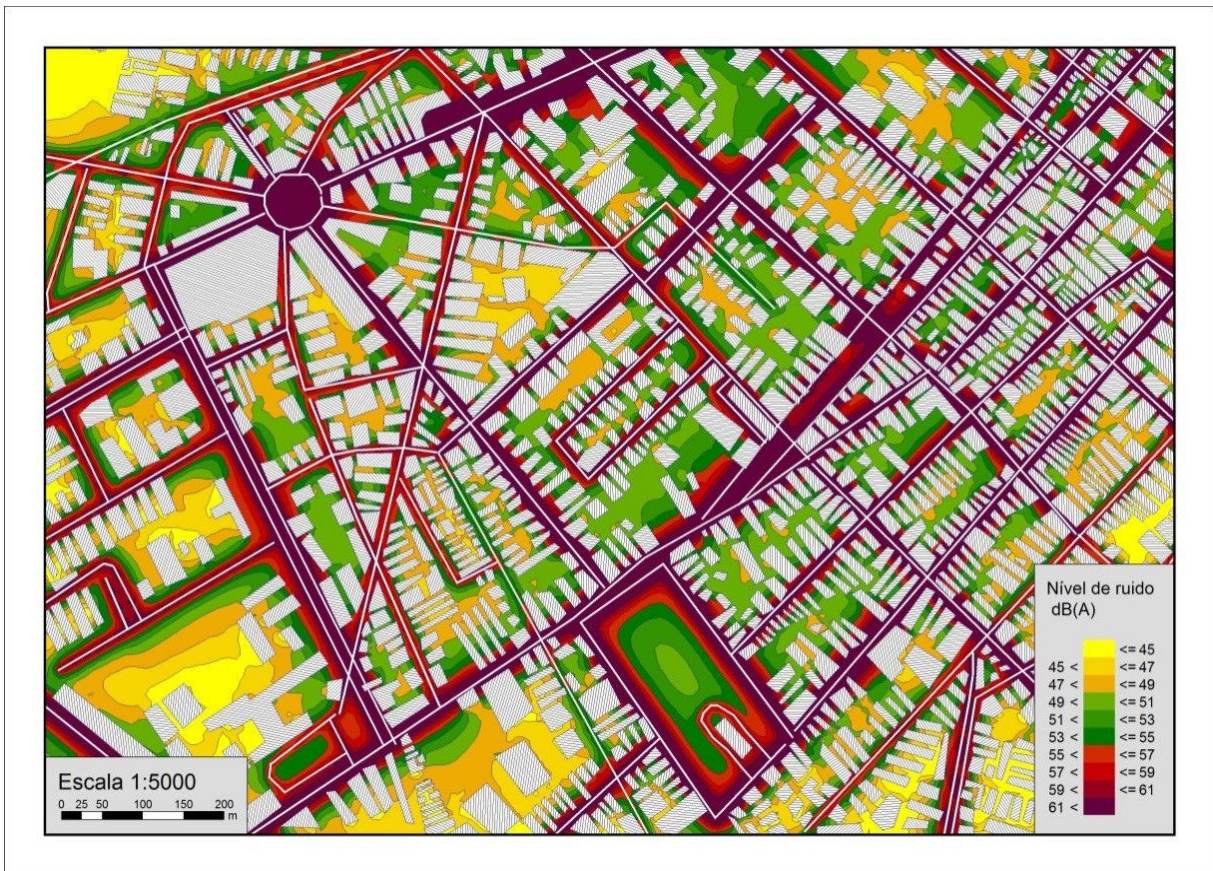


Figura 4 Simulação da distribuição da energia sonora na região central da cidade de Taubaté (SP) com o pavimento novo tipo SMA 15% 0/11.





Figura 5 Simulação da distribuição da energia sonora na região central da cidade de Campos do Jordão (SP) com a condição do pavimento desgastado



Figura 6 Simulação da distribuição da energia sonora na região central da cidade de Campos do Jordão (SP) com o pavimento novo tipo SMA 15% 0/11.



## CONCLUSÕES

Os modelos apresentados comprovam o efeito da melhoria da poluição sonora no ambiente urbano quando da utilização dos pavimentos tipo SMA em detrimento ao tipo CA normalmente utilizado no Brasil, em vias com velocidade superiores a 50 km/h. Essa melhoria pode ser percebida mesmo no meio das quadras e a distâncias superiores a um quarteirão de maneira que o resultado é positivo inclusive quando a via não está próxima ao receptor. Nas regiões lindeiras a essas vias o nível e ruído permanece elevado devido à reflexão sonora das fachadas.

O mapa acústico possibilitou a avaliação da poluição sonora, não somente diretamente nas vias, mas também nas partes internas dos quarteirões onde ficam as áreas de lazer e descanso dos usuários demonstrando ser uma ferramenta adequada para avaliar tal parâmetro no meio urbano.

Assim, é possível concluir que a qualidade e conservação do pavimento de vias com velocidade superior a 50 km/h influem de maneira significativa no ruído urbano e na qualidade de vida da população. Esta se mostra uma forma eficiente de mitigação da poluição sonora, principalmente em situações de ocupação consolidada, onde não é possível medidas corretivas no meio urbano.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 10151- Acústica, Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade**, Rio de Janeiro, 2000.
- \_\_\_\_\_, **NBR 15575 - Desempenho de edificações habitacionais**, Rio de Janeiro, 2013.
- ALEIXO, P., CONSTANTINO, M.; CARVALHO, M. L. de U. Análise da Paisagem Sonora das Praças: Cívica e Tamandaré em Goiânia-GO. Brasil. In: XXV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Campinas, pp. 238 – 245, 2014
- ARIZA-VILLAVERDE, A., JIMENEZ-HORNER, F. J., DE RAVE, E. G.. Influence of urban morphology on total noise pollution: Multifractal description. **Science of the Total Environment**, v. 472, pp. 1 – 8, 2014.
- BELOJEVIC, G. A., JAKOVLJEVIC, B. D., STOJANOV, V. J., SLEPCEVIC, V. Z., PAUNOVIC, K. Z., Nighttime Road-Traffic Noise and Arterial Hypertension in an Urban Population, 2008, **Hypertension Research**, v. 31, n. 4, pp. 775 – 781, 2008
- BISTAFA, S., **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído**. Primeira Edição. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 2006.
- BRANDT, S., MAENNIG, W. Road noise exposure and residential property prices: Evidence from Hamburg. **Transportation Research Part D**, v.16, Pp. 23–30, 2011
- BRITO, L. A. P. F. de, Metodologia para Estimativa do Ruído de Tráfego: Aspectos Práticos e de Precisão. In X ENCONTRO NACIONAL SOBRE O CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Natal, [s. n.] 2009.
- BRITO, L. A. P. F., SINDER, V.. Determinação do Nível De Pressão Sonora das Principais Vias Públicas da Região Central de Taubaté. In X ENCONTRO NACIONAL SOBRE O CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Natal, [s. n.] 2009.
- BRITO, L. A. P. F. Avaliação do Tráfego Rodoviário como Fonte de Vibração e Incômodo no Meio Urbano. In XXV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Campinas, [s. n.], 2014.
- BRITO, L. A. P. F. DE, BARBOSA, A. S.. Incremento do Nível de Ruído no Meio Urbano Devido às Atividades Turísticas: Estudo de Caso na Cidade de Campos do Jordão. **Revista Tecno-Lógica**, v.18(2), pp. 84 – 89, 2014.
- BRITO, L. A. P. F., Influência na Qualidade E Tipo de Pavimento na Geração de Ruído pelo Tráfego de Veículos. In X ENCONTRO NACIONAL SOBRE O CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Campinas, [s. n.], 2015.
- CESBRON, J., ANFOSSO-LE, F., DUHAMEL, D., YIN, H. P. LE. HOUÉDEC, D.. Experimental study of tyre/road contact forces in rolling conditions for noise prediction. **Journal of Sound and Vibration**, v. 320, pp.125–144, 2009.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, **Decisão de Diretoria nº 389 Regulamentação dos Níveis de Ruído nos Sistemas Lineares de Transporte no Estado de São Paulo**, São Paulo, 2010.
- EISENBLAETTER, J., WALSH S. J., KRYLOV, V.V.. Air-related mechanisms of noise generation by solid rubber tyres with cavities. **Applied Acoustics**, v. 71, pp. 854 – 860, 2010
- FEHRL - FORUM OF EUROPEAN NATIONAL HIGHWAY RESEARCH LABORATORIES, **Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces**, v.2, 2006.
- FREITAS, A. P. M. e FREITAS, S. M. Aspectos legais referentes ao conforto acústico nas edificações urbanas. 2006. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, v. 1, n.3, pp. 3-16, 2006.
- GAIL, A., BARTOLOMAEUS, W.; ZÖLLER, M. Influence of surface textures of road markings on tyre/road marking noise. In INTERNOISE, Melbourne, [s. n.], 2014.
- GIUNTA, M. B., SOUZA, L. C. L.; VIVIANI, E... Ruído Ambiental em Cidades de Médio Porte: Estudo dos Casos das Cidades de São Carlos e Bauru – SP. In: XXIV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Belém, [s. n.], 2012
- GOLEBIEWSKI, R., MAKAREWICZ, R., NOWAK, M., PREIS, A.. Traffic noise reduction due to the porous road surface. **Applied Acoustics**, v. 64, pp. 481–494, 2003.
- GRIEFAHN, B., MARKS, A., ROBENS, S., Noise emitted from road, rail and air traffic and their effects on sleep, 2006, **Journal of Sound and Vibration**. v. 295, pp. 129 - 140, 2006.
- GUEDES, I. C. M., KOHLER, R., CARVALHO, R. M.. Estudo de Impacto do Ruído de Tráfego Veicular Aracaju (SE) – BRASIL. In: XXV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Campinas, pp. 26 – 33, 2014
- HALONEN, J. L., HANSELL, A. L., GULLIVER, J., MORLEY, D., BLANGIARDO, M., FECHT, D., TOLEDANO, M. B., BEEVERS, S. D., ANDERSON, H. R., KELLY, F. J., TONNE, C., JAANA I. Road traffic noise is associated with increased cardiovascular morbidity and mortality and all-cause mortality in London. **European Heart Journal** v. 36, pp 2653–2661, 2015
- HECKL, M. Tyre Noise Generation. In: SEMINAR OF FRICTION AND CONTACT NOISE, Delft, Netherlands, Delft, Netherlands. Delft University of Technology, [s. n.] 1985.

- ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 9613-2 Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation**, Geneve, 1996.
- IVANOVIC, L., JOSIFOVIC D., ILI, A., STOJANOVIC, B., RAKIC, B. Noise as aspect of life quality at urban areas. In 8<sup>th</sup> INTERNATIONAL QUALITY CONFERENCE, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, [s. n.], 2014.
- KLÆBOE, R., AMUNDSEN, A. H., FYHRI A., SOLBERG S.. Road traffic noise – the relationship between noise exposure and noise annoyance in Norway. **Applied Acoustics**, v. 65, pp. 893–912, 2004.
- LEE, K. S., CHANG, S. I., PARK, Y. M. Utilizing noise mapping for environmental impact assessment in a downtown redevelopment area of Seoul. **Applied Acoustics**, v. 69, pp. 704 - 714, 2008.
- LOWICKI, D., PIOTROWSKA, S.. Monetary valuation of road noise. Residential property prices as an indicator of the acoustic climate quality. **Ecological Indicators**, v. 52, pp. 472 – 479, 2005.
- LOSA, M., LEANDRI, P., CERCHIAI, M.. Improvement of Pavement Sustainability by the Use of Crumb Rubber Modified Asphalt Concrete for Wearing Courses. **Journal of Pavement Research Technology**, v. 5(6), pp. 395-404, 2012
- MUSAFIR, R. E. Uma Discussão sobre a NBR 10.151 - Avaliação de Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade, In XXII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Belo Horizonte, [s. n.], 2008.
- Niemeyer, M. L., Cortês, M.. Avaliação do Incômodo Sonoro da Linha Vermelha no Bairro de São Cristóvão, Rio de Janeiro. In: XXIV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Belém, [s. n.], 2012
- ORBAN, E., MCDONALD, K., SUTCLIFFE R., HOFFMANN, B., FUKS, K. B., DRAGANO, N., VIEHMANN, A., ERBEL, R., JÖCKEL, K., PUNDT, N., MOEBUS, S.. Residential Road Traffic Noise and High Depressive Symptoms after Five Years of Follow-up: Results from the Heinz Nixdorf Recall Study. **Environmental Health Perspectives**, 2015 DOI:10.1289/ehp.1409400
- PAJE, S.E., BUENO M., TERÁN, F., MIRÓ, R., PÉREZ-JIMÉNEZ, F., MARTÍNEZ, A.H. Acoustic field evaluation of asphalt mixtures with crumb rubber. **Applied Acoustics**, v. 71, pp. 578 – 582, 2010.
- PAJE, S.E., LUONG, J., VÁZQUEZ, V.F., BUENO, M., MIRÓ, R.. Road pavement rehabilitation using a binder with a high content of crumb rubber: Influence on noise reduction. **Journal of Construction and Building Materials**, v. 47, pp. 789–798, 2013
- PARLAMENTO EUROPEU, **Diretiva 2002/49/EC, Assessment and Management of Environmental Noise**, 2002 RLS, **1990. Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen. BM für Verkehr**, Bonn, 1990.
- ROMAGNOLLI L. J. **Análise Comparativa do Ruído Produzido pelo Tráfego de Veículos Leves em Diferentes Superfícies de Rolamento, nas Condições Motor Ligado e Desligado**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Maringá, 2012
- SÃO PAULO, **PL 075/2013, Mapa do Ruído Urbano da Cidade de São Paulo**, Câmara Municipal SP, 2016.
- SALOMONS, E. M., PONT, M., B.. Urban traffic noise and the relation to urban density, form, and traffic elasticity. **Landscape and Urban Planning**, v. 108, pp. 2 – 16, 2012
- SCHERER, M.J.; PIAGETI, G.; VANI, L. O Ruído Urbano e a Desvalorização Imobiliária, In: XXII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Belo Horizonte, [s. n.], 2008.
- SCHIMITT, N. I. M.. Avaliação do Ruído Ambiental em Porto Alegre-RS, In: XXV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Campinas, [s. n.], 2014.
- BRAUNSRTEIN, BERDNT. **Manual do Usuário**. SoundPLAN International LLC. (2012)
- SILVA, L. T., OLIVEIRA, M., SILVA, J.F.. Urban form indicators as proxy on the noise exposure of buildings. **Applied Acoustics**, v. 76, pp. 366–376, 2014.
- SUÁREZ, E., BARROS J. L.. Traffic noise mapping of the city of Santiago de Chile, **Science of the Total Environment**, pp. 539 - 546, 2014.
- SZEREMETA, B., **Percepção dos Praticantes de Atividade Física Sobre a Qualidade Ambiental Sonora dos Parques Públicos de Curitiba - PR**, Tese (Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- WEBER, N., HAAS, D., FRANCK, U.. Assessing modeled outdoor traffic-induced noise and air pollution around urban structures using the concept of landscape metrics **Landscape and Urban Planning**, v. 125, pp. 105 - 116, 2014
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Night Noise Guidelines for Europe**. Copenhagen, WHO Regional Office. (2009)
- TSAI-A, K. T., LIN, B. M. D., CHEN, Y. H.. Noise mapping in urban environments: A Taiwan study. **Applied Acoustics**, v. 70, pp. 964 - 972, 2009
- ZHAO, J., DING, Z., HU, B., CHEN, Y., YANG, W. Assessment and improvement of a highway traffic noise prediction model with  $L_{eq}$  (20 s) as the basic vehicular noise. **Applied Acoustics**, v. 97, pp. 78 – 83, 2015.