

INFLUÊNCIA NA QUALIDADE E TIPO DE PAVIMENTO NA GERAÇÃO DE RUÍDO PELO TRÁFEGO DE VEÍCULOS

Luiz Antonio P. F. de Brito (1);

- (1) Doutor, labrito@bighost.com.br, UNITAU, Programa de Pós-Graduação em Gestão e Desenvolvimento Regional, 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 fonte de incômodo à população em geral sendo estudada por vários pesquisadores no Brasil e no exterior. Uma das principais fontes de ruído é o tráfego de veículos. As formas de mitigação da propagação da energia sonora nas grandes cidades, como zonas vegetadas e recuos das edificações, vêm sendo reduzidas sistematicamente, senão eliminadas. Barreiras acústicas artificiais interferem de maneira decisiva na qualidade de vidas das pessoas com redução da ventilação, por exemplo, e as barreiras artificiais dependem da topografia, que nem sempre é favorável. Assim, torna-se primordial a redução da energia sonora na fonte. Em um veículo em movimento o motor e os pneus são as principais fontes de ruído, sendo que acima de 60 km/h, o ruído gerado pelo segundo torna-se preponderante sobre o primeiro, mantidas as condições originais dos veículos. O tipo de pavimento de rolamento, na interação com o pneu do veículo, é parte importante no processo de geração de energia sonora. O objetivo deste trabalho é avaliar o ruído gerado pelo tráfego de veículos em dois tipos de pavimentos e simular em ferramenta computacional a influência da velocidade e de outros tipos de revestimentos asfálticos neste processo. Foi possível observar que o tipo de pavimento altera de maneira significativa a geração de ruído pelo tráfego de veículos. A velocidade pode ou não elevar a energia sonora, sendo dependente do tipo de pavimento.

Palavras-chave: ruído, pavimento, tráfego

ABSTRACT

Noise pollution in the urban area is a source of nuisance to the general population being studied by many researchers in Brazil and abroad. The major source of noise is road traffic. The vegetated areas and setbacks of buildings are the main ways to reduce the noise level, but these are being eliminated in the urban areas. Artificial noise barriers interfere decisively in the quality of lives of people with reduced ventilation, for example, and the artificial barriers depend on the topography, which is not always favorable. Thus, reducing the generation of noise at the source is relevant. The main sources of noise of a vehicle are the engine, and above 60km / h, the tyres. The surfaces texture influences the sound generation process. The objective of this study is to evaluate the noise generated by road traffic on two types of surfaces and simulate, in computational tool, the influence of speed and other surfaces in this process. It was observed that the surfaces texture changes significantly the generation of noise by the traffic. The speed may or may not increase the noise energy being dependent on the surface texture.

Keywords: noise, road surface, traffic

1. INTRODUÇÃO

A poluição sonora no meio urbano afeta a população em geral (NIEMEYER e SANTOS, 2001) e pode ser considerado um dos principais elementos de degradação ambiental na escala urbana (PEREIRA e SLAMA, 2001).

Diversos autores realizaram estudos referentes ao ruído gerado nas cidades brasileiras de vários portes. 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 o desconforto à população, problemas de saúde e desvalorização imobiliária. Na Europa essa também é uma preocupação. Griefahn, Marks e Robens (2006) avaliaram o ruído gerado por vários modais de transporte, rodoviário, ferroviário e aéreo, e concluíram que o primeiro é o mais influente na perturbação do sono da população. Nestes estudos 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, já que a construção de barreiras gera dificuldade na mobilidade urbana além de sombrear e reduzir a ventilação nas cidades, sendo eficientes somente em grandes vias de circulação perimetral. 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 relacionaram o aumento da hipertensão arterial masculina com o elevado nível de ruído. O excesso de ruído também pode afetar o preço das edificações devido à preferência por locais mais silenciosos. Em média o custo de uma edificação decresce cerca de 2,9% por dB(A) de acréscimo no nível de ruído ambiente na Polônia, 3,0% na Suécia e 1,3% na Coreia do Sul (ŁOWICKI e PIOTROWSKA, 2005).

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 ruídos em 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 critérios de avaliação (NCA) em áreas estritamente residenciais, valores de L_{Aeq} 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 às 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 período de 15 horas (das 7 as 22hs), e L_n , que considera o período de 9 horas (das 22 as 7hs), neste caso com uma penalidade de 10 dB(A). Segundo Bistafa (2006) o valor de L_{dn} aceito internacionalmente para áreas habitadas é de 55 dB(A). Considerando o NCA de 55 dB(A) como L_d , é possível por meio da Equação 1 calcular o L_n , para que o L_{dn} de 55 dB(A) seja obtido. Neste caso o valor do L_n seria de 45 dB(A), inferior ao NCA noturno de 50 dB(A) recomendado pela NBR 10151 (2000). 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. Recentemente Schimitt (2014) concluiu que a cidade de Porto Alegre não atende os padrões da NBR 10151 (2000), assim como Guedes, Kohler e Cavalho (2014) na cidade de Aracaju, e Aleixo, Constantino, Carvalho (2014) em praças de Goiânia.

$$L_{dn} = 10 \log \left\{ \frac{1}{24} \left[\sum_{i=1}^{15} 10^{\left(\frac{L_d}{10}\right)} + \sum_{i=1}^9 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right] \right\} \quad 1$$

Klæboe, Amundsen, Fyhri e Solberg (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, 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.

Uma das maneiras de reduzir o impacto da poluição sonora na população em geral é dificultar sua propagação no meio urbano e/ou afastar as fontes de ruído dos receptores. Consegue-se isso com a absorção sonora do solo e vegetação, barreiras acústicas naturais ou artificiais e recuos adequados. A especulação imobiliária e o adensamento urbano das cidades praticamente eliminaram, ou reduziram e valores mínimos, os recuos das edificações, reduzindo assim, a distância entre a fonte e o receptor e as áreas vegetadas (BRITO, 2014). As barreiras acústicas artificiais apresentam uma série de limitações como redução da

ventilação e insolação além de prejudicarem a circulação de pedestres, já as naturais dependem da topografia local, nem sempre sendo favorável. A outra forma de mitigação do ruído urbano seria a redução na emissão de energia sonora diretamente na fonte, ou a intervenção no receptor, visando o isolamento acústico da edificação. Os receptores seriam a população em geral, de maneira, que o isolamento acústico teria uma certa eficácia apenas nos ambientes fechados, sendo que nos abertos, ainda haveria o incômodo. Mesmo nos ambientes fechados o isolamento acústico é discutível devido à necessidade de ventilação, ou seja, manter as janelas abertas inviabiliza o isolamento acústico, condição imposta pela tipologia climática na maioria do território nacional. Assim, resta como principal forma de mitigação, a redução da geração de energia sonora diretamente na fonte, o tráfego de veículos. A indústria automobilística já reduziu emissão de ruídos pelo sistema motor suspensão, desde que mantidas as condições originais do veículo, restando à emissão de energia sonora gerada pelos pneus, onde o tipo de pavimento asfáltico é parte importante neste processo (EISENBLAETTER, WALSH, KRYLOV, 2010).

A muito já é sabido que a partir da velocidade de aproximadamente 60 km/h o ruído gerado pelos pneus dos veículos leves predomina sobre o ruído gerado pelo conjunto motor/transmissão (HECKL, 1985). O movimento circular dos pneus é a principal causa de geração de ruído, devido a efeitos aerodinâmicos e vibratórios (EISENBLAETTER, WALSH, KRYLOV, 2010). A vibração, induzida pelo movimento circular do sistema pneu, roda e rolamentos, nas velocidades acima de 60 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 expansão 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). O asfalto poroso é amplamente utilizado na Comunidade Européia devido sua capacidade de reduzir a emissão de energia sonora, além de outros benefícios, como a redução do spray de água, tanto da chuva quanto da neve derretida, pois possui boa capacidade drenante, melhorando a visibilidade e reduzindo a possibilidade de aquaplanagem (FEHRL, 2006). Paje *et al* (2010) pesquisaram o efeito da adição de granulado de borracha na composição de pavimento asfáltico quanto a geração de ruído, tanto pela via úmida (quando o granulado de borracha é misturado à composição betuminosa), quanto pela via seca (quando o granulado de borracha é utilizado como agregado). Concluíram que na primeira condição não há alteração no padrão de emissão de energia sonora, mas na segunda pode haver uma redução de até 2 dB(A). Bueno *et al* (2011) também relacionaram a elevação da temperatura com o ruído gerado em pavimento asfáltico. Concluíram que há uma taxa de decaimento da ordem de $0,06 \text{ dB(A)}^{\circ\text{C}}$ devido a elevação da temperatura gerada pela menor emissão de ruído nas médias e altas frequências.

Apesar do asfalto poroso reduzir a emissão de energia sonora, a rugosidade possui efeito inverso. A diferença entre a profundidade das irregularidades, e não apenas a profundidade propriamente dita, e seu espaçamento são importantes parâmetros que regem ruído e vibração. Uma pequena diferença no desnível e altura e um pequeno espaçamento nas irregularidades contribuem para a redução do ruído de vibração dos pneus (FUGIKAWA, 2005). A rugosidade do pavimento também pode gerar energia vibratória, que em certas ocasiões, podem se acoplar a estrutura de uma ponte ou viaduto, por exemplo (AU, CHENG e CHEUNG, 2001).

Outros parâmetros também podem ser considerados na redução ao ruído gerado pelo tráfego como a redução da velocidade, por exemplo, uma via com velocidade de 30 km/h tende a gerar uma energia sonora 2 dB(A) inferior que a velocidade de 50 km/h, principalmente para veículos leves. No caso de veículos pesados esse efeito é menos perceptível devido ao processo de frenagem e aceleração que eleva o nível de ruído. O mesmo ocorre quando é possível manter um fluxo contínuo de veículos a velocidade constante, neste caso com uma previsão de redução de até 4 dB(A), lombadas por exemplo, apesar de reduzir a velocidade dos veículos, tendem a elevar a energia sonora devido a aceleração e impacto na suspensão de veículos pesados. Considere-se também o fato do impacto das caçambas que gerará vibração. O tipo de marcação de solo também pode alterar o nível de ruído como as de ângulo reto com acréscimo de até 6 dB(A) ou ângulo curvo, com acréscimo de 2 dB(A) (FEHRL, 2006).

A porosidade do pavimento deve auxiliar na frenagem, impedir a derrapagem de forma que proporcione segurança aos usuários e na geração do ruído, como já dito. No Brasil um dos pavimentos mais utilizados é o Concreto Asfáltico Denso, CA, sendo que este não possui boa capacidade drenante devido à

pequena porosidade (3 a 5%), e da mesma forma, dificulta a expulsão do fluxo do ar comprimido entre a banda de rodagem do pneu e o pavimento, gerando excesso de ruído. Outro tipo de composição é Camada Porosa de Atrito, CPA, mais poroso que o CA, entre de 18 a 25%, facilitando a drenagem da água e reduzindo a emissão de ruído. O pavimento *Stone Matrix Asphalt*, SMA, foi traduzido para português como Matriz Pétreo Asfáltica, mas a terminologia internacional, SMA, se fixou como denominação deste tipo de pavimento. Este possui porosidade entre 4 e 6%, mas o excesso de ligante asfáltico e a boa granulometria, reduzem a emissão de ruído. No Brasil este asfalto é produzindo na tipologia 0/8 e 0/11. Outra opção recentemente introduzida no Brasil é a graduação com intervalo (*gap*) descontínua densa, conhecida por *gap-graded*, que possibilita a adição de borracha na sua composição o que gera redução de ruído (BERNUCCI, MOTA, BARBOSA, CERATI, 2007).

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o ruído gerado pelo tráfego de veículos em dois tipos de pavimentos e simular em ferramenta computacional o desempenho de outras opções de revestimento asfáltico.

3. MÉTODO

A primeira parte do trabalho consistiu em realizar medidas de nível de pressão sonora em dois pontos de medição. Em ambos os locais as medições foram realizadas com o pavimento desgastado, M1 e M4, com o pavimento fresado, M2 e M5, e com um novo pavimento, M3 e M6. No ponto de medição 1 pode ser avaliado o ruído gerado pela rugosidade da pista fresada, e no ponto de medição 2 pode ser avaliado o ruído gerado pelo degrau na pista. A Tabela 1 ilustra a ordem das medições e a condição da pista durante as medições. Os resultados das medições foram analisados considerando o L_{Aeq} , L_{10} e L_{90} e a distribuição do espectro de frequência.

Tabela 1 Localização dos pontos de medição

Ponto de Medição	Tipo de Pavimento	Medição
1	Gasto pelo uso	M1
1	Fresado	M2
1	Novo	M3
2	Gasto pelo uso	M4
2	Degrau	M5
2	Novo	M6

O medidor de nível de pressão sonora utilizado foi um Larson Davis LXT Tipo I e o calibrador Larson Davis CAL 200, também Tipo I, calibrados em laboratório acreditado pelo INMETRO e pertencente à Rede Brasileira de Calibração. O software SLM G3 foi utilizado para aquisição e tratamento dos dados obtidos. O aparelho foi calibrado no início do período de aquisição dos dados, sendo que ao término das medições o calibrador foi novamente acoplado ao equipamento para verificar sua precisão conforme procedimentos da NBR 10151 (2000).

Durante as medições foi utilizado o protetor de vento, o equipamento foi posicionado a 1,20 metros do piso e 2 metros de superfícies reflexivas. O mesmo foi ajustado na escala de compensação “A” com resposta rápida. O período de integração foi de 10 minutos sendo que o equipamento registra uma medida instantânea por segundo, totalizando 600 medidas, que dão origem ao L_{Aeq} (nível de pressão sonora equivalente) e aos índices estatísticos L_{10} , e L_{90} , sendo que estes são calculados diretamente pelo equipamento de medição utilizado. As medições foram interrompidas no momento quando da incidência de outras fontes de ruído que pudessem alterar a condição analisada. As Figuras 2 a 6 ilustram as condições das medições onde é possível visualizar as características da pista.

A segunda parte do trabalho consistiu na montagem de uma modelo experimental, que simulou o local analisado, no software SoundPlan 7.3. Este utiliza as normas ISO 9613-2 (1996) e RLS 90 (1990) como parâmetro de análise. Os dados de entrada foram o fluxo de tráfego, 440 v/h leves e 80 v/h pesados, contatos no momento das medições, a velocidade de 80 Km/h, e pavimento tipo Concreto Asfáltico (CA) para as medições M3 e M6, e pavimento irregular prismático para as medições M2 e M4. Após finalização do modelo buscou-se a avaliação de dois parâmetros que influenciam no ruído gerado pelo tráfego de veículos: o tipo de pavimento e a velocidade. Foram simulados 4 tipos de pavimentos buscando simular as condições de geração de ruído do CA, pavimento irregular prismático, SMA poroso 15% 0/8 e SMA poroso 15% 0/11.



Figura 2 – Vista da pista fresada a partir do ponto de medição 1



Figura 3 – Vista da pista com degrau a partir do ponto de medição 2



Figura 5 – Vista do pavimento após o recapeamento no trecho fresado



Figura 6 – Vista do pavimento após o recapeamento no trecho de degrau

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados obtidos nas medições, L_{10} , L_{90} e L_{Aeq} , são apresentados na Tabela 2. No ponto de medição 1, M1 a M3, nota-se a elevação do nível de ruído (M2) na condição de pista fresada, cerca de 4 dB(A). Após a recomposição do pavimento de rolagem houve um pequeno acréscimo (M3) em relação ao pavimento original (M1) que pode ser creditado a outras fontes de ruído presentes no momento das medições. No ponto de medição 2, M4 a M6, houve um acréscimo similar ao ponto de medição 1 de cerca de 5 dB(A) (M5) em relação a condição de pavimento desgastado (M4). Após a recomposição do pavimento (M6) o nível de ruído não retornou ao patamar anterior devido a uma pequena imperfeição no pavimento, como é possível observar na Figura 6

Tabela 2 Resultado das medições realizadas

Medição	L_{10} dB(A)	L_{90} dB(A)	L_{Aeq} dB(A)
M1	74,9	61,7	69,6
M2	79,4	67,1	73,6
M3	75,1	62,7	70,3
M4	73,8	58,9	65,3
M5	74,2	63,2	70,6
M6	73,5	59,5	68,1

Os índices estatísticos L_{10} e L_{90} apresentaram correlação com a variação do L_{Aeq} . Nas Figuras 7 e 8 são apresentados os valores instantâneos, L_i , obtidos nos pontos de medição 1 e 2. Pode-se observar que as medidas instantâneas variam da mesma forma que o L_{Aeq} . As Figuras 9 e 10 apresentam a variação do L_{Aeq} com o tempo, pode-se observar que a partir de cerca de 4 minutos há uma estabilização dos valores de modo que o tempo de medição utilizado, 10 minutos, foi suficiente para representar a situação analisada. As Figuras 11 e 12 apresentam o espectro de frequência das medições realizadas. O espectro está em acordo com o apresentado na literatura, como Page *et al* (2010), com o pico de ruído na frequência de 1000 Hz.

O nível de ruído apresentou uma elevação no ponto de medição 1, na M2, nas frequências de 31,5 a 125 Hz, Figura 11. O nível de ruído também apresentou elevação no ponto de medição 2, na M5, nas frequências de 125 a 500 Hz, Figura 12. No ponto de medição 1 a alteração no padrão de ruído foi devido ao pavimento rugoso e no ponto de medição 2 devido ao degrau no final do trecho fresado. Na literatura, em geral, como em Golebiewski, Makarewicz, Nowak e Preis (2003), há uma redução em todas as frequências quando comparados os pavimentos densos com os porosos, mas no caso em análise, deve-se considerar que há uma comparação de pavimento denso (M1 e M3, M4 e M6) com rugoso (M2 e M5) devido a fresagem da pista.

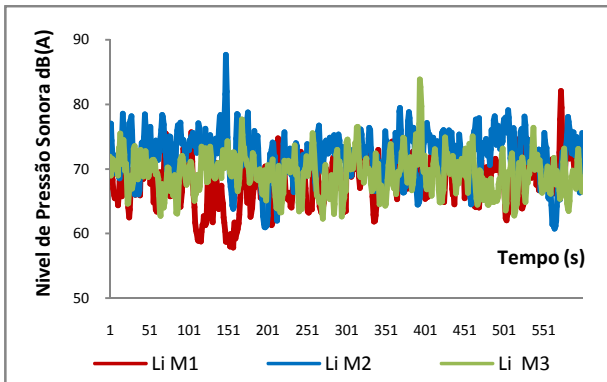


Figura 7 Gráfico do L_i para as medidas M1 a M3 no ponto de medição 1

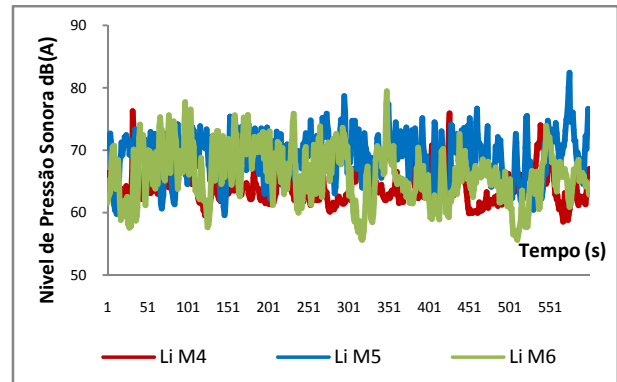


Figura 8 Gráfico do L_i para as medidas M4 a M6 no ponto de medição 2

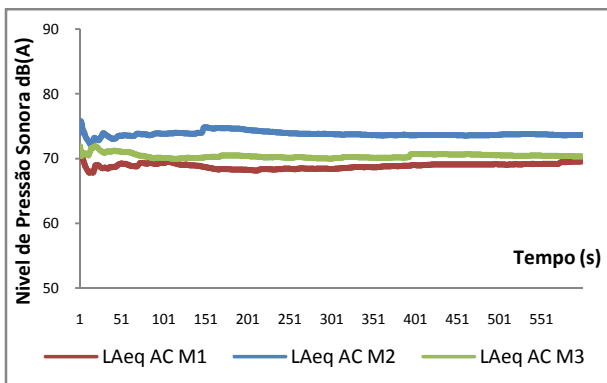


Figura 9 Gráfico do L_{Aeq} para as medidas M1 a M3 no ponto de medição 1

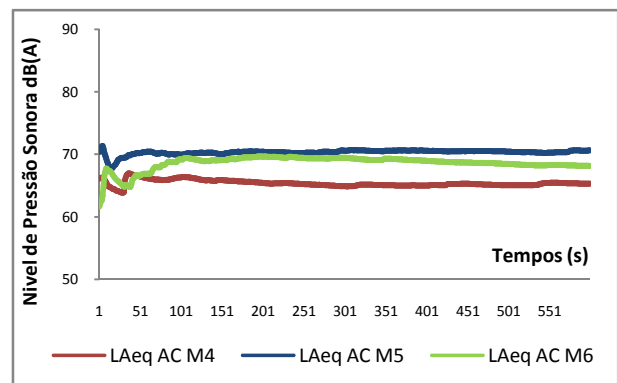


Figura 10 Gráfico do L_{Aeq} para as medidas M4 a M6 no ponto de medição 2

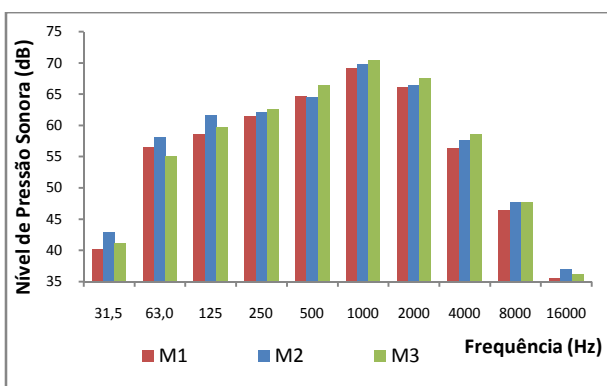


Figura 11 Gráfico do espectro de frequência nas medidas M1 a M3 no ponto de medição 1

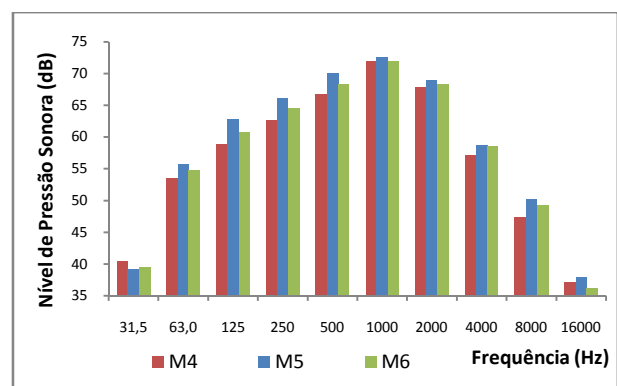


Figura 12 Gráfico do espectro de frequência nas medidas M4 a M6 no ponto de medição 2

O modelo do software SoundPlan foi calibrado com os dados de velocidade e fluxo de veículos já informados. O pavimento CA foi escolhido para simular as medições M3 e M6, o pavimento irregular prismático foi o escolhido para simular as medições M2 e M5. Os resultados são apresentados na Tabela 3. As diferenças obtidas entre os resultados simulados e os medidos podem ser atribuídas a outras fontes de

ruído ambiental que influenciam as medições, mas não podem ser simuladas no software. As Figuras 12 e 13 ilustram os resultados das simulações.

Tabela 3 Resultados obtidos no modelo matemático em comparação com as medições realizadas

Medição	Tipo de pavimento simulado	L_{Aeq} Medido dB(A)	L_{Aeq} Simulado dB(A)
M2	Irregular prismático	73,6	73,7
M3	CA	70,3	69,5
M5	Irregular prismático	70,6	72,4
M6	CA	68,1	68,5

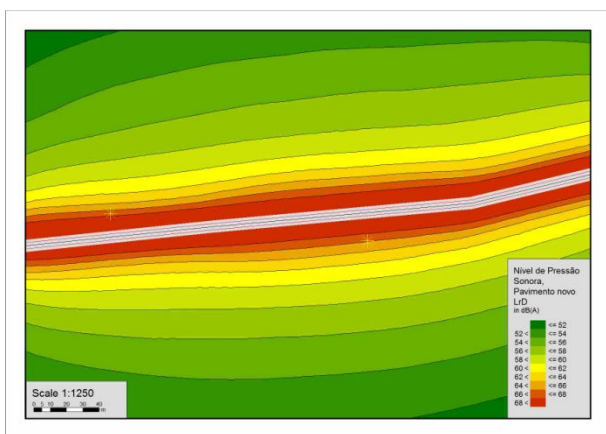


Figura 12 Modelo de propagação de ruído considerando o pavimento tipo CA

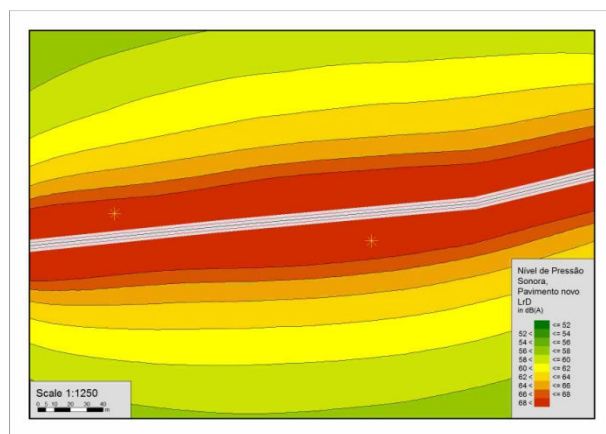


Figura 13 Modelo de propagação de ruído considerando o pavimento tipo irregular

Finalizado o modelo, foi simulado para o pavimento tipo CA, que é a tipologia de pavimento mais utilizada no Brasil, o efeito da variação da velocidade na geração de ruído. A simulação considerou as velocidades de 40, 60, 80 e 100 km/h. Os resultados são apresentados nas Figuras 14 a 17, onde é apresentado o excedente de ruído acima do critério indicado para o local, 55 dB(A), segundo a NBR 10151 (2000). Na sequência de figuras é possível observar o crescimento da área azul, que indica nível de ruído 8 dB(A) acima do critério normalizado, 55 dB(A).

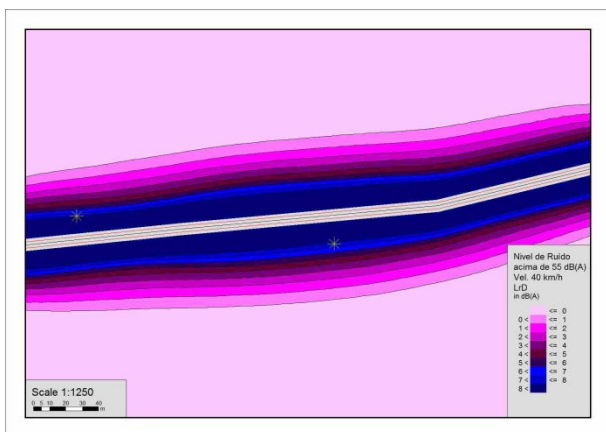


Figura 14 Modelo de geração de ruído considerando o pavimento CA e velocidade de 40 km/h

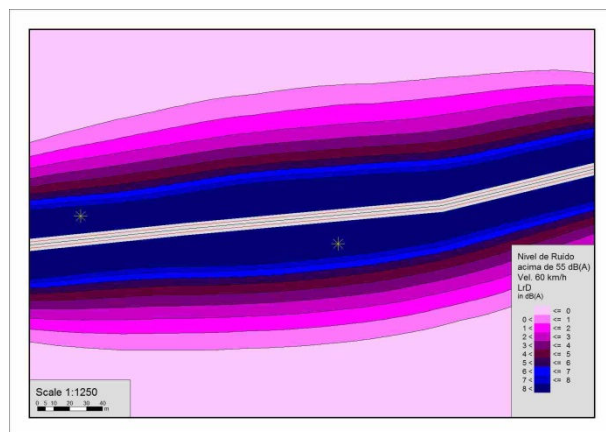


Figura 15 Modelo de geração de ruído considerando o pavimento CA e velocidade de 60 km/h

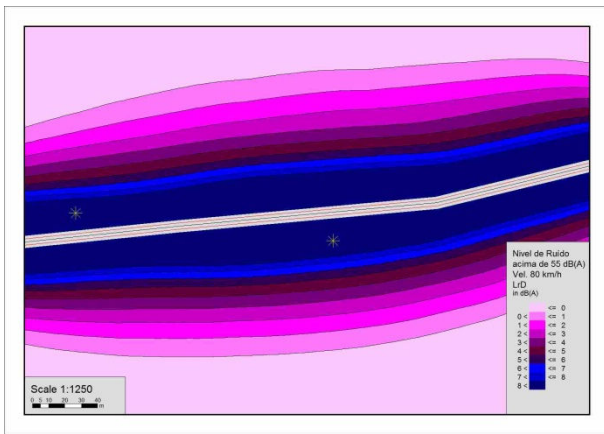


Figura 16 Modelo de geração de ruído considerando o pavimento CA e velocidade de 80 km/h

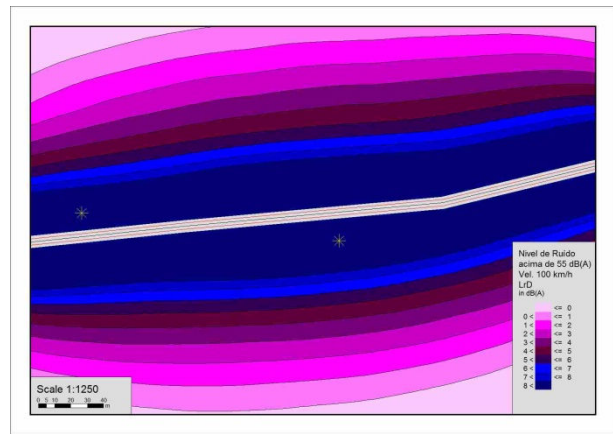


Figura 17 Modelo de geração de ruído considerando o pavimento CA e velocidade de 100 km/h

Na Figura 18 observa-se a elevação no nível de ruído gerado pela via com o aumento da velocidade para cada tipo de pavimento simulado. Os pavimentos SMA poroso 15% 0/8 e 0/11 são os que apresentam o menor ganho com o aumento da velocidade. Nota-se que praticamente não há diferença na emissão sonora nas velocidades de 40 e 60 km/h para os pavimentos CA e SMA poroso 15% 0/8 e 0/11, exceção ao prismático irregular, o que confirma que abaixo de 60 km/h o motor é a principal fonte de ruído. Nas velocidades de 80 e 100 km/h, o pavimento tipo CA apresenta uma geração de ruído cerca de 5 dB(A) acima dos pavimentos tipo SMA porosos 15% 0/8 e 0/11.

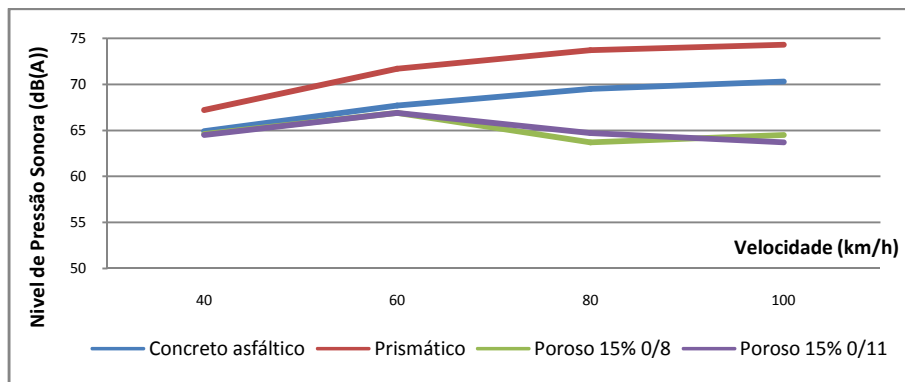


Figura 18 Gráfico com os resultados simulados para as quatro tipologias de pavimento consideradas com o aumento da velocidade

Outra simulação realizada foi a variação dos tipos de asfalto mantendo constante a velocidade de 80 km/h. Foram simulados o pavimento CA, irregular prismático, SMA poroso 15% 0/8 e 0/11. Foi feita a mesma consideração de ilustrar o ruído excedente em relação ao critério de 55 dB(A) da NBR 10151 (2000). É possível observar a influência do tipo de pavimento na geração de ruído pelo tráfego de veículos em uma mesma condição de tráfego nas Figuras 19 a 22.

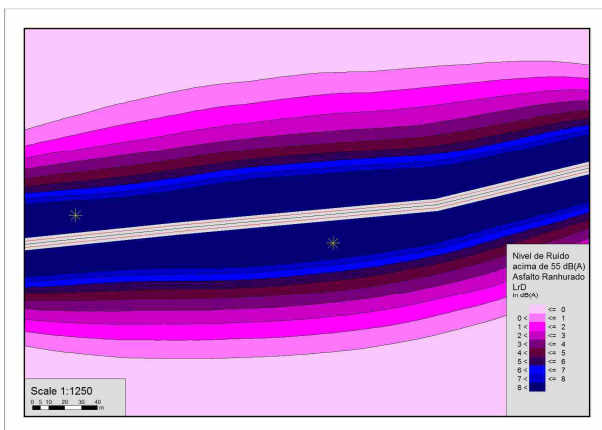


Figura 19 Modelo de geração de ruído considerando o pavimento CA e velocidade de 80 km/h

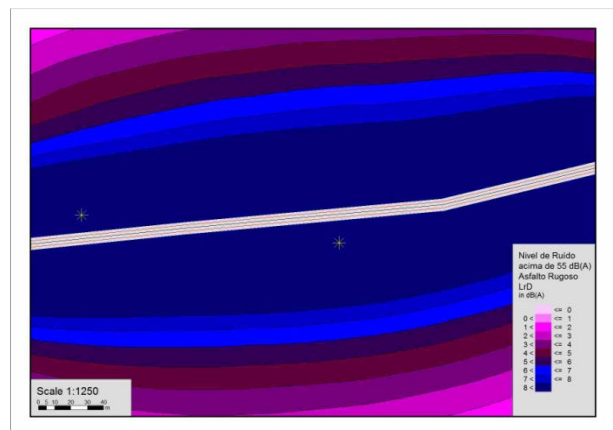


Figura 20 Modelo de geração de ruído considerando o pavimento irregular prismático e velocidade de 80 km/h

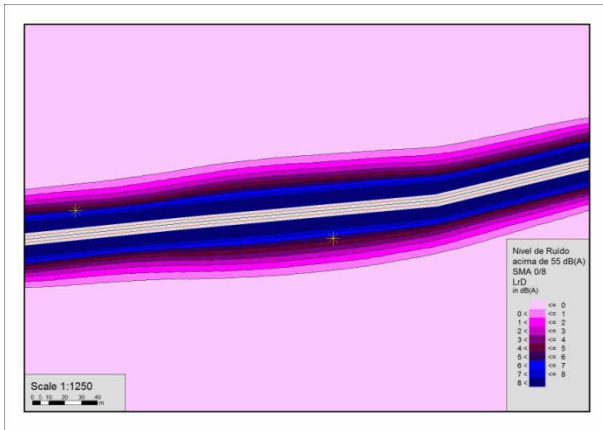


Figura 21 Modelo de geração de ruído considerando o pavimento SMA poroso 15% 0/8 e velocidade de 80 km/h

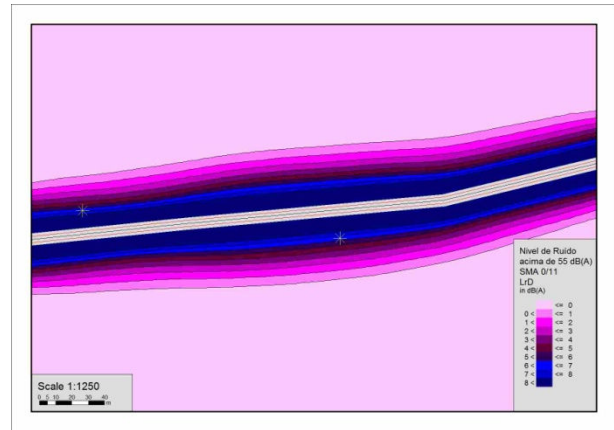


Figura 22 Modelo de geração de ruído considerando o pavimento SMA poroso 15% 0/11 e velocidade de 80 km/h

A Figura 23 apresenta o Gráfico com os resultados obtidos nas medições para os Pavimentos tipo CA e irregular prismático, em comparação com o simulado nos pontos de medição 1 e 2, e o previsto na simulação, nos pontos de medição 1 e 2, caso fosse utilizado os pavimentos SMA porosos 15% 0/8 e 0/11. Observa-se que há uma sensível redução na emissão de energia sonora, cerca de 5 dB(A), com consequentes benefícios aos moradores lindeiros das vias de grande circulação.

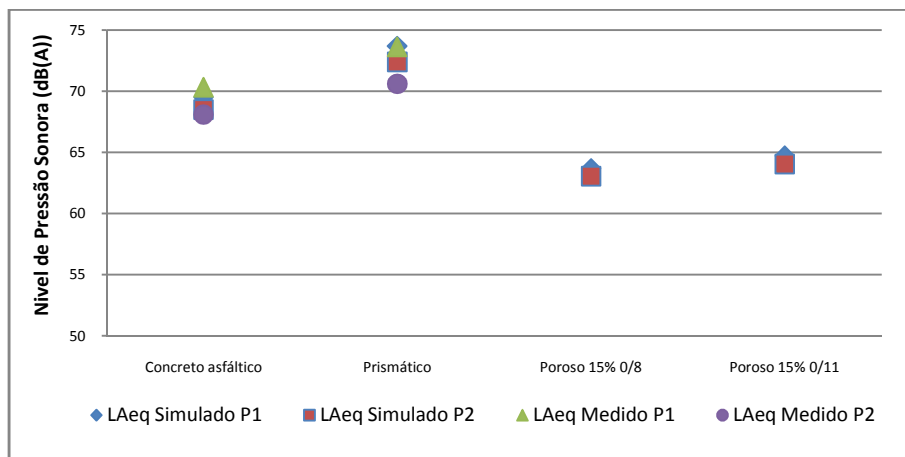


Figura 23 Gráfico com os resultados obtidos nas medições (Tabela 1) e o simulado para as quatro tipologias de pavimento consideradas

5. CONCLUSÕES

O modelo desenvolvido pode ser considerado confiável, pois os valores medidos em campo foram compatíveis com os valores simulados no processo de elaboração e calibração no Software utilizado. Desta forma as simulações, em várias condições de pavimentos e velocidades, apresentaram resultados confiáveis.

Foi possível observar a forte influência do tipo de pavimento na geração de ruído por vias de tráfego, principalmente as vias de médio e elevado fluxo que cortam os centros urbanos das grandes cidades. Os pavimentos SMA porosos 15% 0/8 e 0/11 apresentaram redução de cerca de 5 dB(A) em relação ao Concreto Asfáltico (CA), que é o mais utilizado no Brasil. Esta diferença é significativa quando se analisa a condição ambiental dos centros urbanos.

Foi possível também observar a influência da velocidade dos veículos na geração de ruído, principalmente no CA e no pavimento irregular prismático, mas em vias de elevado volume de tráfego essa é uma variável de difícil controle sendo invariavelmente superior a 60 km/h. Observa-se também que os pavimentos SMA porosos 15% 0/8 e 0/11 apresentam redução na geração de ruído nas velocidades de 80 e 100 km/h em relação à velocidade de 60 km/h, justificado pela menor influência do motor e sistema de suspensão neste caso.

Assim, conclui-se que a qualidade e o tipo de pavimento de vias de médio e elevado volume de tráfego influi de maneira significativa no ruído urbano, principalmente quando estas vias cortam áreas

residenciais ou residenciais mistas. O tipo de pavimento é uma forma eficiente para mitigação do incômodo gerado pelo tráfego de veículos.

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.
- ALEIXO, P., CONSTANTINO, M.; CARVALHO, M. L. de U. Análise da Paisagem Sonora das Praças: Cívica e Tamararé em Goiânia-GO. Brasil. In: XXV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Campinas, 2014. **Anais...**Campinas, SOBRAC, p. 238 – 245, 2014
- AU, F., Cheng, Y., Cheung, Y., Effects of random road surface roughness and long-term deflection of pre stressed concrete girder and cable-stayed bridges on impact due to moving vehicles, **Computers and Structures**, v.79, p. 852 - 872, 2001.
- 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, p. 775 – 781, 2008
- BERNUCCI, L. B., MOTA, L. M. G., BARBOSA, J. S., CERATI, J. A. P. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Petrobras - Asfaltos. Rio de Janeiro, 2007.
- BISTAFA, S. **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído**. Primeira Edição. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 2006.
- 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, 2009. **Anais...** Associação Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído, 2009
- _____. Avaliação do Tráfego Rodoviário como Fonte de Vibração e Incômodo no Meio Urbano. In XXV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Campinas, 2014. **Anais...**SOBRAC, 2014
- BUENO M. , LUONG, J., VIÑUELA U., TERÁN F., PAJE,S. E.. Pavement temperature influence on close proximity tyre/road noise. **Applied Acoustics**, v.72, p. 829 – 835, 2011
- 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, p.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, p. 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, p. 3-16, 2006
- FUJIKAWA, T., TACHIBANA, H., KOIKE, H., Oshino, Y. Definition of road roughness parameters for tyre vibration noise control, **Applied Acoustics**. v. 66, p. 501–512, 2005
- GOLEBIEWSKI, R., MAKAREWICZ ,R., NOWAK, M., PREIS, A.. Traffic noise reduction due to the porous road surface. **Applied Acoustics**, v. 64, p. 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, p. 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, 2014 **Anais...**Campinas, SOBRAC p. 26 – 33, 2014
- HECKL, M. Tyre Noise Generation. In: SEMINAR OF FRICTION AND CONTACT NOISE, Delft, Netherlands, 1985. **Proceedings...**Delft, Netherlands. Delft University of Technology, 1985
- ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 9613-2** Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation, 1996.
- KLÆBOE. ,R., AMUNDSEN,A. H., FYHRI A., SOLBERG S.. Road traffic noise – the relationship between noise exposure and noise annoyance in Norway. **AppliedAcoustics** v. 65, p. 893–912, 2004
- LOWICKI, D., PIOTROWSKA,S..Monetary valuation of road noise. Residential property prices as an indicator of the acoustic climate quality. **Ecological Indicators**, v. 52, p. 472 – 479, 2005
- 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, 2008, **Anais...** Bel Horizonte, SOBRAC. 2008
- NIEMEYER, M. L., SANTOS, M. J. O., Qualidade Acústica no Espaço Urbano, In VI ENCONTRO NACIONAL SOBRE O CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Pedro . 2001, **Anais...** Associação Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído, São Pedro.2001
- 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, p. 578 – 582, 2010
- PEREIRA, M., SLAMA, J. O Ambiente Sonoro Urbano: Representações e Indicadores na Cidade do Rio de Janeiro, In ENCONTRO NACIONAL DO CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Pedro, 2001. **Anais..** , Associação Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído, São Pedro 2001
- RLS, 1990. Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen. BM für Verkehr, Bonn, 1990.
- SCHIMITT, N. I. M.. Avaliação do Ruído Ambiental em Porto Alegre-RS, In: XXV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Campinas, 2014. **Anais...**Campinas, SOBRAC, p. 42 – 50, 2014