

RUÍDO EM TERMINAIS DE TRANSPORTE COLETIVO URBANO: ANÁLISES E MODELAGEM

Rodrigues, Frederico

Faria, Carlos Alberto

Silva, Marcelo Gonçalves

emaildofred@gmail.com

cafaria@ufu.br

Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia (UFU)– Av. João Naves de Ávila, 2121 – Santa Mônica - Uberlândia - MG - Brasil

Magalhães, Max de Castro

mdcm@dcm.ufmg.br

Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte – MG - Brasil

***Resumo:** Os terminais de transporte coletivo urbano estão sujeitos a elevados níveis de ruído devido a natureza do fluxo de veículos, tipo ônibus e vans e as características do projeto destes ambientes. As pessoas que utilizam estas facilidades de transportes estão sujeitas a condições ambientais insalubres no que diz respeito à poluição sonora e atmosférica.*

Este trabalho apresenta uma abordagem diferenciada em modelos de previsão de ruído desenvolvidos em terminais de transporte coletivo urbano. A base de dados do nível sonoro equivalente utilizados na calibração de modelos foi expandida para um total de nove terminais urbanos, sendo cinco em Uberlândia e quatro na cidade de Belo Horizonte, ambas do estado de Minas Gerais. O modelo apresentou bons resultados conforme o padrão de significância estatística adotado, e é baseado na teoria de regressão linear múltipla, considerando variáveis como o fluxo de veículos, e características de projeto dos terminais. A validação do modelo foi realizada com base no teste t de Student, erro padrão de estimativa e coeficiente de determinação.

Identificar as características atuais e prever o cenário futuro é um importante instrumento para que os planejadores de transportes minimizem essas patologias ainda em fase de projeto.

Palavras-chaves: ruído em terminais, abatimento de ruído, modelos de previsão.

1. INTRODUÇÃO

Apesar do surgimento do automóvel ter trazido vantagens no que diz respeito à utilização total do espaço urbano, este trouxe também uma série de patologias para as cidades, a saber, congestionamentos, acidentes, poluição sonora e atmosférica, desumanização em virtude das grandes áreas destinadas a vias e estacionamento, baixa eficiência econômica devido à necessidade de grandes investimentos no sistema viário e ao espalhamento das cidades, entre outros.

Este exagerado número de veículos particulares e de transporte público gera constantes e intensos tráfegos nas vias que compõe o sistema de trânsito das cidades. Segundo a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (1992), este tráfego provoca além de congestionamentos, dois grandes inconvenientes que são a descarga de poluentes na atmosfera sob a forma de monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂) e ainda o ruído que está estritamente relacionado com os tipos e fluxos dos veículos automotores que trafegam pela cidade.

Com relação à poluição sonora, pode-se dizer que sons compostos por ondas de várias frequências do tipo aperiódicas são geralmente considerados como ruídos, e apesar da definição ser um tanto que abstrata, o ruído pode ainda ser considerado basicamente como sons indesejados (Kinsler, 1982).

Nos centros urbanos, principalmente nas grandes metrópoles a circulação de veículos como ônibus e caminhões nas vias de tráfego é intensa, principalmente os ônibus, visto que estes são partes integrantes dos sistemas urbanos de transporte coletivo (Rodrigues et al., 2005). Estes veículos tem uma parcela significativa no ruído total gerado pelo tráfego.

De maneira particular, um dos componentes básicos de um sistema de transporte, é totalmente vulnerável à incidência do ruído provocado pelos ônibus que compõe o transporte coletivo de uma cidade, os terminais de integração. Os terminais podem ser edifícios especialmente projetados e construídos com este fim, ou podem ser simplesmente locais predeterminados onde as viagens se iniciam ou acabam (Roviriego et al., 2004).

As ondas sonoras emitidas pelos ônibus (fonte) que trafegam no interior desses ambientes atingem o ouvido (receptor) dos passageiros e/ou trabalhadores que estão presentes no local de duas maneiras distintas: diretamente e por reflexão. Essa reincidência de ondas sonoras colabora significativamente para que o ruído obtenha níveis ainda mais insalubres.

Diante disto tem sido realizado recentemente, uma vasta pesquisa em terminais urbanos, com o intuito de quantificar os níveis de ruído, bem como gerar modelos capazes de fazer a previsão desta patologia. Dessa maneira será possível a geração de cenários futuros e se trate este problema, ainda na fase de projetos.

Para o presente trabalho, a base de dados foi ampliada, contemplando agora um total de nove terminais, localizados em duas cidades distintas, Belo Horizonte-MG e Uberlândia-MG.

2. METODOLOGIA

A pesquisa consistiu na realização de medições de ruído e volume de tráfego nos terminais, no período de 16:00 às 19:00hs. As medições de ruído foram realizadas de acordo com as recomendações prescritas pela Norma NBR 10151 (ABNT, 2000). O medidor de nível de pressão sonora foi posicionado a altura de 1,20 m do chão, e distante no mínimo 1,50 m de paredes e/ou superfícies que poderiam refletir de alguma forma as ondas sonoras. A Figura 1 a seguir ilustra o posicionamento do medidor de nível de pressão sonora.

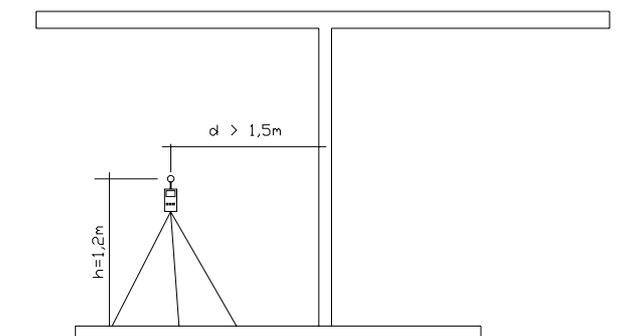


Figura 1 – Posicionamento do Medidor de Nível de Pressão Sonora nos terminais

Para a realização das medições foi utilizado um medidor de nível de pressão sonora do tipo 2 da marca Lutron, modelo SL-4001, calibrado ao início de cada medição, através de um procedimento interno do próprio aparelho.

Os dados de ruído foram obtidos com o medidor de nível de pressão sonora no modo “FAST”. Durante as 3 horas ininterruptas foram anotados os valores de ruído encontrado em intervalos de 15 segundos. Simultaneamente a medição do ruído, foi contabilizado o fluxo de veículos nos terminais distintos em 5 minutos. Os dados de pressão sonora foram ponderados na curva “A”, conforme recomendações da NBR 10151 (ABNT, 2000).

2.1. Parâmetros quantificados

Devido ao fato do ruído ser uma variável aleatória, esta deve ser tratada estatisticamente. A NBR 10151 (ABNT, 2000) estabelece como parâmetro de descrição do ruído ambiental o Nível Sonoro Equivalente (L_{eq}). A partir da base de dados coletada durante um período de 3 horas medição em cada terminal, calculou-se então o Nível Sonoro Equivalente pela “Eq. (1)” a seguir:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log_{10} \int_0^t \frac{P_a}{P_0} dt \quad (1)$$

Onde:

$P(t)$ é a pressão sonora instantânea dada em Pa;

P_0 é a pressão de referencia, 20 μ Pa;

0 e t são os instantes de inicio e fim do intervalo de medição T;

O modelo desenvolvido é do tipo estatístico e o método utilizado foi a teoria de regressão linear. Essa metodologia tem sido adotada por diversos autores no desenvolvimento de modelos de previsão de ruído, Silva et al. (1998), Reis et al. (2000), Calixto et al. (2003), Valadares et al. (2003), entre outros.

2.2 - Caracterização da geometria dos terminais

Foram testadas, diversas variáveis de natureza arquitetônicas, a fim de se obter a melhor significância estatística do modelo. Para trabalhar de maneira simplificada com as complexas geometrias dos diversos terminais em estudo, desenvolveram-se sólidos fictícios que representassem a geometria dos mesmos de maneira simplificada. Isso possibilitou determinar o total de área superficial dos terminais, bem como o volume de ar, áreas refletoras, pé-direito e áreas abertas. As Figuras 2-10 a seguir ilustram estes sólidos:

Terminais de Uberlândia:

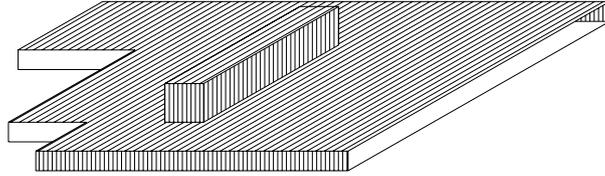


Figura 2 – Sólido simplificado do espaço destinado à circulação no Terminal Central

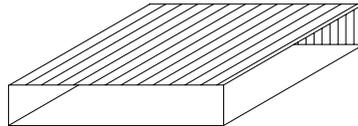


Figura 3 – Sólido simplificado do espaço destinado à circulação no Terminal Industrial

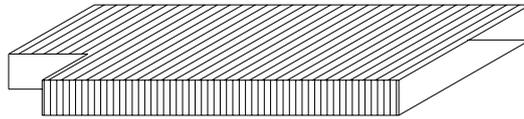


Figura 4 – Sólido simplificado do espaço destinado à circulação no Terminal Planalto

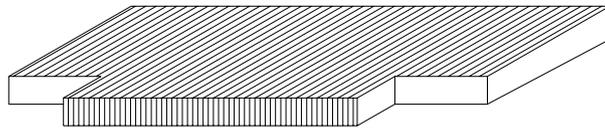


Figura 5 – Sólido simplificado do espaço destinado à circulação no Terminal Umuarama

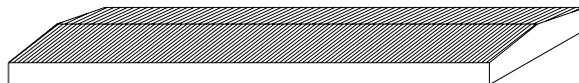


Figura 6 – Sólido simplificado do espaço destinado à circulação no Terminal Santa Luzia

Terminais de Belo Horizonte:

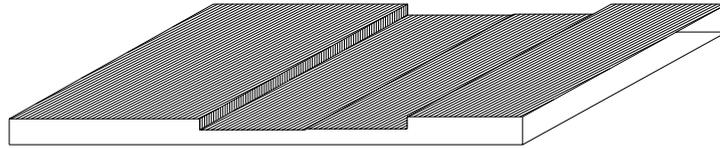


Figura 7 – Sólido simplificado do espaço destinado à circulação na Estação Barreiro

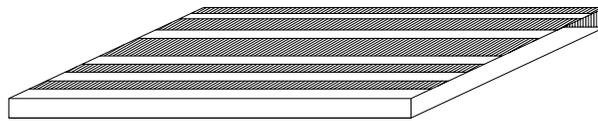


Figura 8- Sólido simplificado do espaço destinado à circulação na Estação Diamante

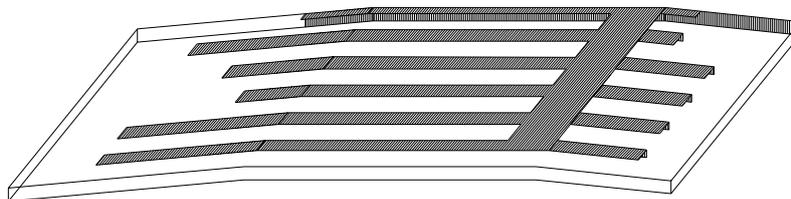


Figura 9 – Sólido simplificado do espaço destinado à circulação na Estação São Gabriel

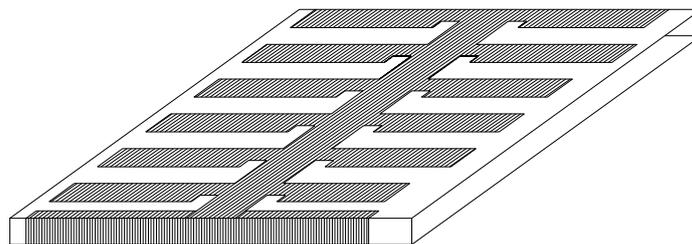


Figura 10 – Sólido simplificado do espaço destinado à circulação na Estação Venda Nova

A seguir são apresentados na Tabela 1 os parâmetros de natureza arquitetônica para os sólidos representativos dos terminais, onde Pd é o pé-direito, V é o volume do sólido, Área Tot. e Área Ref. são respectivamente área total superficial e área das superfícies refletoras.

Tabela 1 – Grandezas geométricas dos terminais

Terminais	Volume (m ³)	Á _T (m ²)	A _{ref} (m ²)	Pé-direito (m)
Planalto	7.607,70	1.310,20	999,90	5,35
Umuarama	14.551,20	2.163,40	1.638,10	5,15
Industrial	3.830,70	933,38	508,50	5,65
Central	41.820,00	10.316,5	9.271,00	5,10
Sta. Luzia	18.900,00	4.130,00	2.700,00	7,00
Barreiro	111.780,00	18.672,00	14.418,00	7,70
Venda Nova	39.531,87	8.307,28	3.171,80	6,30
Diamante	21.648,75	6.030,59	2.212,50	4,60
São Gabriel	78.174,68	19.765,38	5.035,66	4,50

3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

A base de dados utilizada para calibrar os modelos foi composta por dois valores para cada terminal, no caso a hora-pico e a hora de menor fluxo de ônibus. A hora-pico foi determinada para cada terminal isoladamente, com o intuito de identificar a situação mais desfavorável. A seguir, a Tabela 2 apresenta para cada terminal o número de ônibus na hora-pico (HP) e na hora com menor movimento (HMM).

Devido a possibilidade de utilização de diversas variáveis no modelo, construiu-se uma matriz de correlação estatística entre todas possíveis variáveis, com o objetivo de facilitar a visualização dos melhores modelos a serem testados. A matriz é apresentada a seguir na Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz de correlação estatística entre as variáveis a serem testadas

O+V	Ln(O+V)	Ar	At	Pd	Vol	Ar/At	Vol/Pd	Plataf.	ln(Plataf)	ln(Ar/At)	L _{eq}	
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	Y	
1	0,97	0,62	0,35	0,18	0,36	0,27	0,28	0,61	0,59	0,23	0,67	X1
	1,00	0,62	0,40	0,21	0,41	0,23	0,33	0,62	0,60	0,18	0,70	X2
		1,00	0,77	0,46	0,87	0,35	0,72	0,69	0,66	0,27	0,58	X3
			1,00	0,14	0,95	-0,23	0,99	0,64	0,66	-0,33	0,15	X4
				1,00	0,36	0,31	0,05	0,11	0,03	0,37	0,26	X5
					1,00	-0,06	0,93	0,64	0,64	-0,14	0,25	X6
						1,00	-0,25	-0,06	-0,12	0,98	0,66	X7
							1,00	0,59	0,62	-0,36	0,11	X8
								1,00	0,99	-0,12	0,57	X9
									1,00	-0,18	0,54	X10
										1,00	0,62	X11

Onde:

- O+V é o fluxo de ônibus e vans;
- P é o número de plataformas em cada terminal;
- Ar é o total de área refletora em m²;
- At é o total de área superficial em m²;
- Pd é pé-direito;
- Vol é o volume do sólido;
- ln é a função logarítmico neperiano;

Conforme pôde ser visto na matriz acima, existe uma forte correlação entre o L_{eq} e as variáveis de fluxo (X1 e X2), de geometria (X7) e também com o número de plataformas (X9 e X10). Foram testados todos os possíveis modelos de acordo com a matriz de correlação e verificou-se para cada um o coeficiente de determinação, o erro padrão de estimativa e teste t-Student. A seguir, será apresentado na “Eq. (2)” e detalhado o modelo mais preciso obtido.

$$L_{eq,1h} = 56,75 + 1,91.Ln(O + V) + 7,46\left(\frac{Ar}{At}\right) + 2,60.Ln P \quad (2)$$

$$R^2 = 0,88 \quad S_{Y(E)} = 1,07 \quad t_{(b1)} = 24,08 \quad t_{(b2)} = 2,98 \quad t_{(b3)} = 5,31 \quad t_{(b4)} = 3,68 \quad t_{min} = 1,78$$

Onde:

- R^2 é o coeficiente de determinação;
- $S_{Y(E)}$ é o erro padrão de estimativa;
- $t_{(b)}$ é o valor do teste t de Student;
- t_{min} é o valor mínimo de t com 95% de confiança;

Os valores dos parâmetros de verificação estatística apresentados acima mostram que o modelo possui boa precisão e, portanto pode ser considerado mais uma ferramenta para auxiliar na previsão ruído em terminais. A seguir no Gráfico 1 é mostrado a comparação dos valores reais de $L_{eq,1h}$ com os estimados pelo modelo:

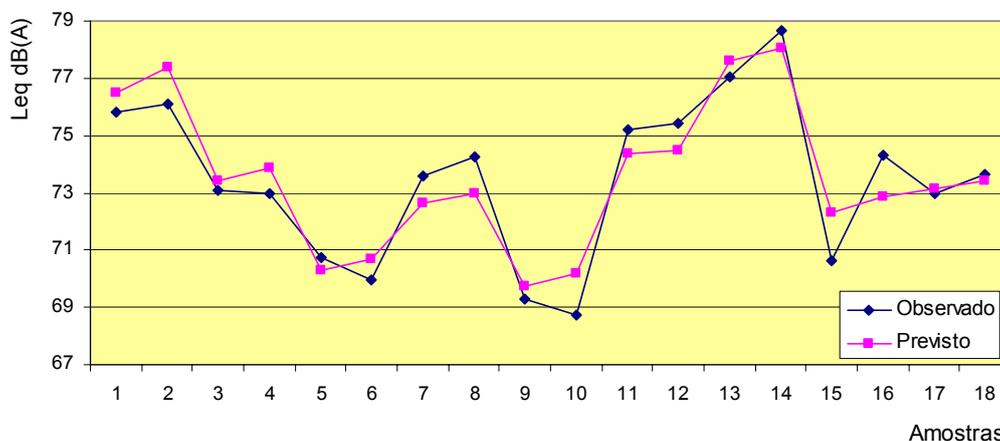


Gráfico 1 – $L_{eq,1h}$ observado e previsto nos terminais de Belo Horizonte e Uberlândia

4. Conclusões

Para o desenvolvimento do modelo para previsão de $L_{eq,1h}$ testou-se exaustivamente todas as possíveis hipóteses a partir da base de dados existentes até obter o modelo apresentado no ítem anterior. A partir deste, foi possível verificar a relação direta entre o ruído e o fluxo de ônibus, bem como as características geométricas dos terminais. Este apresentou boa significância estatística para previsão em todos os terminais analisados.

Com relação ao modelo anteriormente desenvolvido e testado (Rodrigues et al., 2005), obteve-se um aumento no coeficiente de determinação estatística de mais de 7%, passando de

0,83 para 0,89. Além disso, a inserção de novos terminais contribui para uma possível aplicação do modelo de uma forma geral.

Apesar do modelo apresentado ter mostrado válido e preciso estatisticamente, acredita-se que algumas variáveis geométricas que podem ter uma parcela significativa de influência no ruído não apresentaram uma boa significância estatística devido ao pouco número de terminais a que se teve acesso. Porém aumentar a base de dados para o presente trabalho seria consideravelmente dispendioso, visto que haveria a necessidade de realização de medições em, no mínimo, mais uma cidade que possua terminais de transporte coletivo.

Embora este modelo exclusivo para previsão em terminais de transporte coletivo aparente ser inédito, afirmar que o mesmo é geral e pode ser utilizado para previsão em qualquer tipo de terminal de transporte coletivo com uma resposta precisa dos níveis de ruído ainda é muito precipitado. É necessário que sejam feitos diversos tipo de pesquisas, experimentos e aplicações complementares para poder chegar a esta possível conclusão.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151: Avaliação do Ruído em áreas habitadas visando o Conforto da Comunidade. ABNT, 2000.

Calixto, A et al., *Modelamento Matemático da Emissão Sonora em Rodovias Federais que Adentram Áreas Urbanas*, Revista de Acústica. Vol. 34, 2003.

Kinsler, L. E.; Frey A. R.; Coppers A. B. and Sanders J. V., 1982. “*Fundamentals of Acoustics*”. Third Edition, John Wiley & Sons.

Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. “*Cadernos de Meio Ambiente-Poluição Sonora*”. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. Belo Horizonte, 1992.

Reis, J. N. W. & Faria, C. A., “*Poluição sonora decorrente do fluxo de veículos: um estudo de caso*”. Uberlândia, FECIV. 2000. (Relatório Técnico, FECIV-UFU).

Rodrigues, F., Faria, C.A., Magalhães, M. D. C., Silva, M. G.; *Ruído em terminais de transporte coletivo – aperfeiçoamento dos modelos tradicionais* In: Anais do congresso internacional CILAMCE 2005, Guarapari, Brasil, 2005.

Roviriego, L. F. V., Silva, V. B., Silva, A. N. R. *Explorando recursos de um SIG-T para avaliação do layout de terminais de transporte*. In: Anais do XVIII Congresso de pesquisa e ensino em transportes - ANPET. Florianópolis, 2004.

Silva, G. C.; Goldner, L. G., “*Trafego e meio ambiente: Avaliação dos níveis de monóxido de carbono e ruído nas áreas urbanas de Florianópolis*” . III Encontro Ibero-Americano de Unidades de Ambientais do Setor de Transportes-1998.

Valadares, V. M., Suyama, E., “*Traffic Noise on Arterial Street in Belo Horizonte City: a Comprehensive Database*”, 32nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering - Inter-noise. 2003.