

PREVISÃO DO NÍVEL DE RUÍDO EM TERMINAIS URBANOS DE ÔNIBUS CONSIDERANDO VARIÁVEIS DE NATUREZA ARQUITETÔNICAS

Frederico Rodrigues
Carlos Alberto Faria
Marcelo Gonçalves Silva
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

Max de Castro Magalhães
maxdcm@detc.ufmg.br

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

Resumo: *Os níveis de ruído dentro de terminais de transporte coletivo urbano é um tipo particular de ruído de tráfego, uma vez que a principal fonte geradora são os ônibus em trânsito nos mesmos. Por serem ambientes semi fechados (com presença de superfícies refletoras como o teto, paredes, muros, etc) e estarem sujeitos aos ruídos produzidos principalmente pelos motores dos ônibus, estes locais se tornam insalubres. No entanto, ainda há poucos trabalhos científicos que consideram quantitativamente a relação entre o nível de pressão sonora gerado e o grau de insalubridade do ambiente.*

Portanto, em recente trabalho realizado em diversos terminais localizados na cidade de Uberlândia-MG (Brasil), foi levantado uma base de dados de parâmetros acústicos e de transportes para o desenvolvimento de modelos de previsão de ruído nestes locais. O presente trabalho tem como objetivo adicionar alguns dados indicativos da condição refletora das superfícies dos respectivos terminais, a fim de se obter um melhor ajuste estatístico das regressões lineares múltiplas e conseqüentemente um melhor nível de significância estatística dos modelos. O principal parâmetro acústico utilizado nas investigações foi o nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}).

Palavras Chave: *Ruído em Terminais, Modelo de Previsão, Ruído de Tráfego*

Abstract: *The noise levels in transit terminals is a particular kind of traffic noise, once the main generating source is the urban buses. For being semi closed buildings (they have reflective surfaces as the roof, walls and etc) and the levels of noise are produced mainly by the motors of the buses, these places become unhealthy. However, there are still few scientific papers which focus is the quantitative relations among the level of resonant pressure and the degree of unhealthy of these places.*

Therefore, in recent work took place in several transit terminals in Uberlândia-MG (Brazil), it was set up a database file of acoustic and transportation parameters for the calibration phase of noise prediction models. This paper has as objective to aggregate some data of the reflexion condition of the representative solid surfaces in order to obtain a better statistical adjustment of the multiple linear regressions. The main acoustic parameter used in this investigation was the level of equivalent noise (L_{eq}).

Key words: *noise in transit terminals, prediction models, traffic noise.*

1. INTRODUÇÃO

Dentre os diversos tipos de veículos automotores que circulam pelos centros urbanos, os veículos pesados (ônibus e caminhões) são responsáveis pela maior emissão de ruído devido a maior potência de seus motores. Em cidades de médio e grande porte a circulação destes veículos nas vias de tráfego é intensa, principalmente os ônibus, visto que estes são partes integrantes de complexos sistemas urbanos de transporte coletivo.

Sistemas de transportes são formados por quatro componentes funcionais: veículos, vias, terminais e plano de operações Roviriego et al.(2004). Os terminais são locais para fazer a interligação das várias linhas de ônibus que compõe o sistema, podendo também fazer a interligação de mais de um modo de transporte, como por exemplo, estações de conexão entre ônibus e metrô. Estes terminais geralmente são edifícios semi-fechados com presença de diversas superfícies refletoras (teto, muros, paredes, etc) que agravam a questão do ruído interno gerado principalmente pelo trânsito dos ônibus, tornando-se assim ambientes insalubres.

De uma maneira geral o layout de funcionamento destes locais é similar no que diz respeito a entrada e saída de veículos, pontos de parada internos, e o tráfego dos ônibus de uma forma geral. Porém os projetos arquitetônicos podem se diferenciar bastante, mas em todos eles, haverá algum tipo de superfície que funcionará como elemento reflexivo para as ondas sonoras produzidas principalmente pelos motores dos ônibus e conseqüentemente agravará a problemática do ruído.

Em recente trabalho realizado na cidade de Uberlândia, coletaram-se dados de ruído e fluxo de ônibus em terminais de transporte coletivo. Feito isto, utilizou-se os valores encontrados de nível sonoro equivalente e fluxo de ônibus nos terminais para o desenvolvimento de um modelo de predição de ruído em terminais. Neste primeiro trabalho não foi levada em consideração a arquitetura destes ambientes RODRIGUES et al.(2005).

O objetivo do presente trabalho é aumentar a precisão do modelo já desenvolvido com a inserção de variáveis referentes à arquitetura dos terminais.

2. MODELO PRELIMINAR

Rodrigues et al. (2005) mostraram que existe uma relação direta entre os níveis de ruído em terminais de transporte coletivo e o fluxo de ônibus nestes locais.

O modelo desenvolvido inicialmente considerou a velocidade dos veículos nos terminais constante e abaixo de 20 Km/h e devido às baixíssimas inclinações das vias de tráfego internas dos terminais, considerou-se a rampa igual a 0%. Logo estes dois parâmetros não foram inseridos no modelo.

A partir de dados de quatro terminais, testou-se 3 modelos para predição do ruído, a saber, “Nível de Ruído em função do fluxo de ônibus”, “Nível de Ruído em função do logaritmo do fluxo de ônibus” e “Nível de Ruído em função da raiz quadrada do fluxo de ônibus”.

O parâmetro estatístico utilizado para verificação das regressões lineares realizadas foi o coeficiente de correlação R^2 que segundo Magalhães & Lima (2001) é o coeficiente que compara os valores de y reais e estimados pelo modelo desenvolvido.

Os maiores valores encontrados para o coeficiente R^2 foram para os modelos em função do logaritmo (0,811) e da raiz quadrada (0,815) do fluxo de ônibus, sendo ligeiramente maior para este último. Portanto o modelo mais preciso obtido por Rodrigues et al. (2005) é em função da raiz quadrada do fluxo de ônibus. A equação do modelo é mostrada a seguir:

$$Leq = 68,45 + 2,59\sqrt{Q} \quad (1)$$

Onde:

Leq é o nível sonoro equivalente;

Q é o fluxo de veículo no terminal em intervalos de cinco minutos;

Na figura 1 é possível ver a comparação entre os valores de ruído reais medidos nos terminais e os valores estimados pelo modelo desenvolvido RODRIGUES et al. (2005).

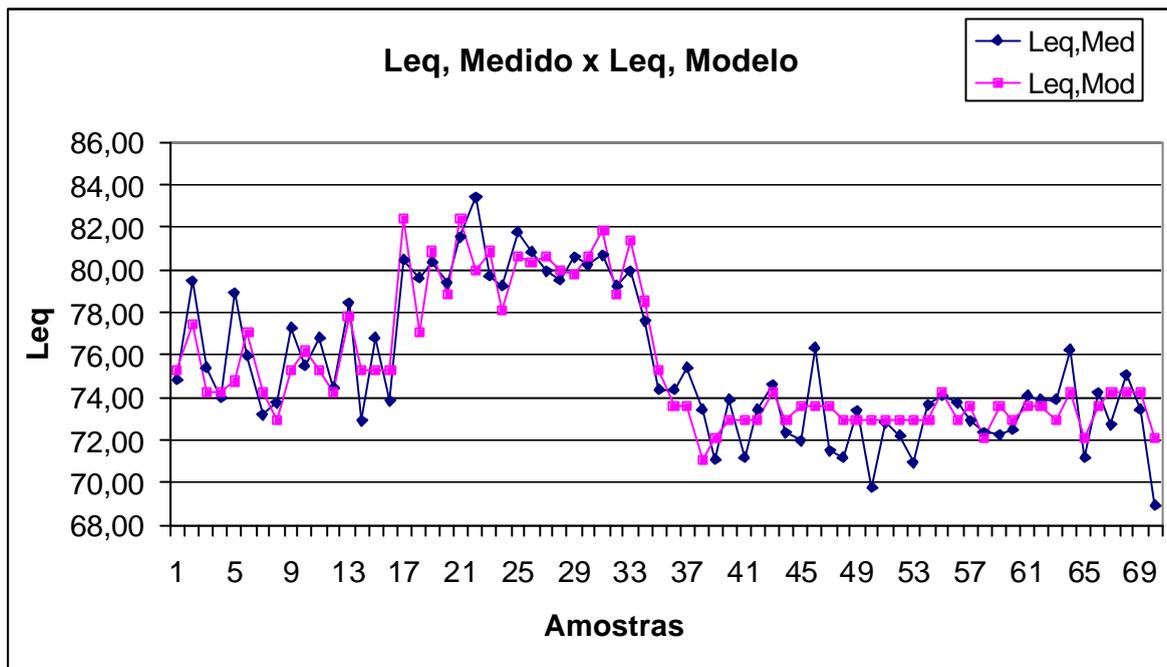


Figura 1 - Comparação entre valores de ruído reais e estimados pelo modelo desenvolvido preliminarmente por Rodrigues et al. (2005)

Conforme pôde ser visto na Figura 1, há uma coerência entre os valores de Leq calculados e estimados pelo modelo desenvolvido, porém a expectativa é de incorporar novas variáveis e de natureza do projeto arquitetônico para melhorar a significância estatística do modelo.

3. IMPLEMENTAÇÃO DE VARIÁVEIS ARQUITETÔNICAS

Segundo Kinsler (1992), as ondas sonoras ao incidirem sob uma superfície podem sofrer os seguintes efeitos: absorção, transmissão ou reflexão. Este último é o responsável por aumentar o desconforto auditivo por que além de chegar ao ouvido do receptor ondas vindas diretamente da fonte, chegam também ondas provenientes de reflexão. Para o caso específico de terminais, são ondas diretamente oriundas dos ônibus e refletidas pelos tetos, paredes e etc.

Um esquema simplificado da incidência das ondas sobre o receptor pode ser visto na Figura 2.

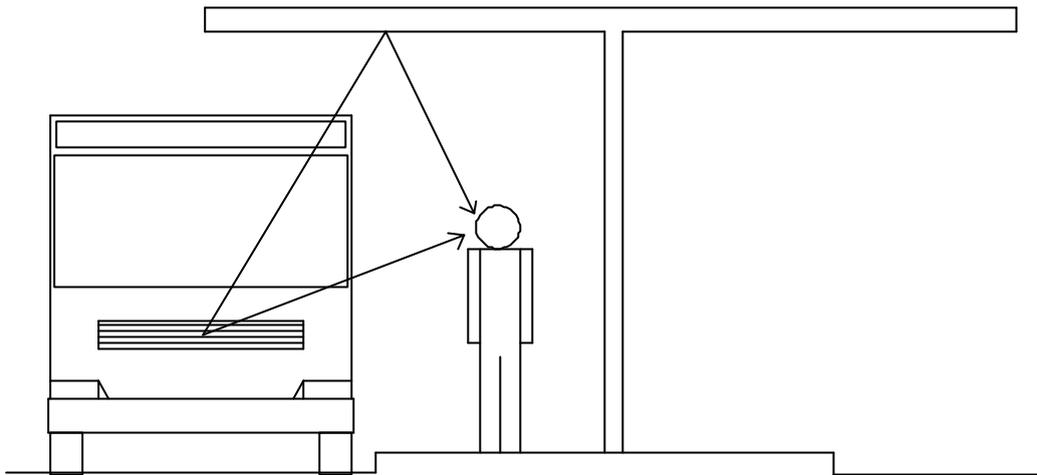


Figura 2 – Esquema simplificado de ondas sonoras provenientes dos ônibus nos terminais incidindo sobre o receptor de maneira direta e refletida

A parcela refletida tem menor intensidade do que a parcela de incidência direta. Isto acontece por que durante seu percurso de ida, incidência sobre a superfície e volta até atingir o ouvido do receptor, parte da energia sonora é absorvida pelo ar e um pouco também pela superfície de incidência (neste caso depende das características absorvedoras do material).

Portanto é de suma importância levar em consideração, variáveis do tipo arquitetônicas que possam expressar dados de absorção e reflexão de ondas sonoras nestes ambientes. Estes dois fenômenos acústicos possivelmente estarão ligados diretamente com os níveis de ruído encontrados dentro dos terminais.

Para caracterizar a geometria dos terminais de uma maneira simplificada para tornar fácil a utilização do modelo a ser melhorado, criou-se sólidos volumétricos fictícios, que representassem a área de circulação e parada dos veículos, onde se tem o trânsito intenso de pedestres dentro dos terminais. Estes sólidos representam basicamente as áreas sobre as coberturas dos mesmos e onde ficam os locais para embarque e desembarque de passageiros.

As Figuras de 3 a 6 mostram os sólidos representativos de cada terminal, na área de circulação dos ônibus, utilizado para obtenção da base de dados.

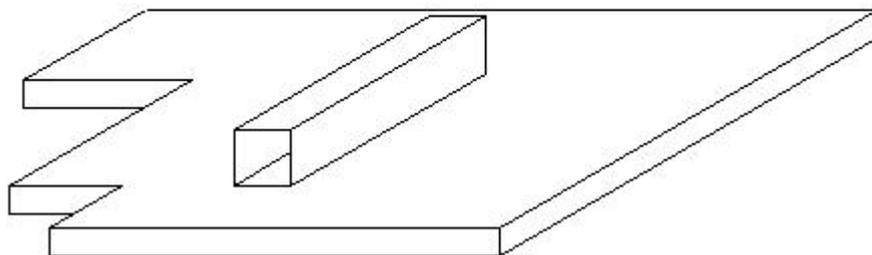


Figura 3 – Sólido simplificado representativo da arquitetura - Terminal Central

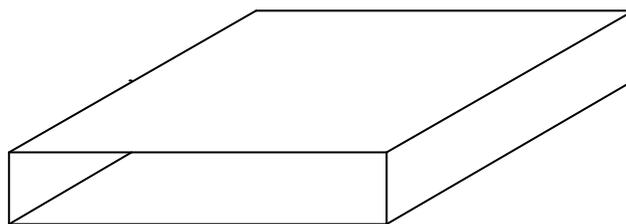


Figura 4 – Sólido simplificado representativo - Terminal Industrial

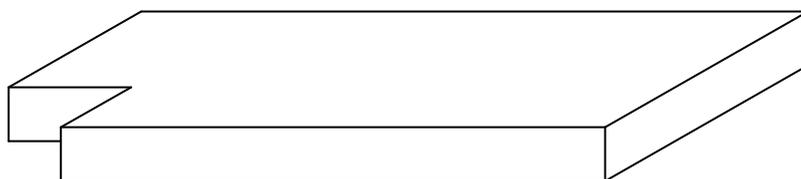


Figura 5 – Sólido simplificado representativo - Terminal Planalto

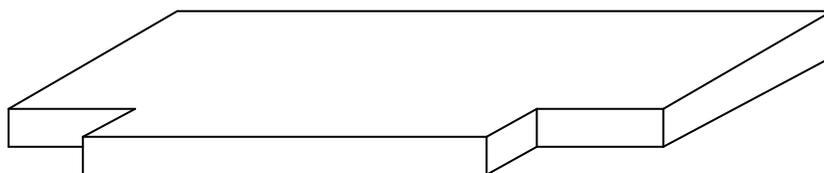


Figura 6 – Sólido simplificado representativo - Terminal Umuarama

Para estes sólidos que têm como função representar de maneira simplificada a estrutura arquitetônica por onde os ônibus trafegam nos terminais, determinaram-se alguns parâmetros, os quais serão discutidos a seguir.

Segundo Kinsler (1982), o ar é um fluido e possui características absorvedoras, portanto é relevante saber o volume interno da área sob as coberturas dos terminais. De uma maneira preliminar pode-se dizer que o ruído no interior destes ambientes é inversamente

proporcional ao volume de ar, pois quanto menor a quantidade de ar, menor será a parcela absorvida pelo mesmo.

O total de área superficial dos sólidos correspondentes aos terminais também foi determinado, excetuando a área correspondente ao piso, uma vez que em qualquer situação possível de arquitetura, este se fará presente.

Devido a necessidade de saber a proporção de áreas refletoras do terminal, determinaram-se todas as áreas abertas e as com algum revestimento ou material para caracterizar as superfícies que poderiam funcionar como refletoras de ondas sonoras. O Pé direito dos terminais também foi determinado, pois este é a maior distância entre a principal fonte sonora (ônibus) e a maior área refletora (teto).

Algumas relações foram feitas a fim de tentar obter um modelo com o maior nível de significância estatística. A proporção de áreas refletoras sobre o total de áreas superficiais, a relação entre o total de áreas refletoras sobre o volume total do sólido representativo, o inverso do pé-direito e ainda a relação do volume sobre o pé-direito foram determinados.

A seguir será apresentada na Tabela 1 os parâmetros arquitetônicos e relações calculadas para os sólidos representativos dos terminais, onde Área Tot. e Área Ref. São respectivamente área superficial total e área de superfícies refletoras (qualquer superfície fechada por algum material, independente do coeficiente de absorção das mesmas).

Tabela 1 – Dimensões e parâmetros aproximados sobre a geometria dos sólidos representativos dos terminais

Terminais	Volume (m ³)	Área S. Tot. (m ²)	Área Ref. (m ²)	Pé-direito (m)	Aref/At	Aref/Vol.	1/Pd (m ⁻¹)	V/Pd (m ²)
Planalto	7.607,70	1.310,20	999,90	5,35	0,763	0,131	0,186	1.422,00
Umuarama	14.551,20	2.163,40	1.638,10	5,15	0,757	0,112	0,194	2.825,48
Industrial	3.830,70	933,38	508,50	5,65	0,544	0,132	0,176	678,00
Central	41.820,00	1.0316,50	9.271,00	5,10	0,898	0,221	0,196	8.200,00

Um outro parâmetro que será incorporado ao modelo existente é o número de baias (plataformas) de cada um dos terminais. É esperado que quanto maior o número de baias, maior será o nível de ruído, pois com um número maior de plataformas, mais ônibus podem estar circulando simultaneamente nos terminais, ou seja, um maior número de fontes sonoras emitindo ruído simultaneamente.

4. APERFEIÇOAMENTO DO MODELO PRELIMINAR

Conforme já dito anteriormente, o modelo inicialmente desenvolvido levou em consideração apenas o fluxo de ônibus, porém a influência da arquitetura do terminal pode apresentar características diferentes de reflexão e propagação das ondas sonoras. Por isso, estas variáveis serão consideradas no modelo.

Na fase de calibração dos modelos de regressão linear múltipla obteve-se alguns indicadores da significância estatística tais como os coeficientes de determinação (R^2) e também uma análise de erros. Valores do coeficiente de determinação > 70 % são considerados bons, apesar de apenas este indicador não ser suficiente para a validação do modelo utilizou-se o erro entre os valores reais e os valores estimados de y para complementar esta análise. Na Tabela 2 é possível observar como os modelos foram formulados e quais variáveis foram testados e os respectivos valores do coeficientes de determinação (R^2) e do erro entre o valor previsto pelo modelo e o valor medido nos terminais.

Tabela 2 – Variáveis inseridas em cada um dos modelo testado

Modelos	Variáveis	R ²	Erro
1	ln Q, b, Ar/At	0,82930	1,394
2	ln Q, b, v/Pd	0,82934	1,394
3	ln Q, b, Ar/At, v/Pd	0,82947	1,393
4	ln Q, ln b, Ar/At, ln v/Pd	0,82947	1,393
5	ln Q, b, Ar/v	0,82938	1,393
6	lnQ, b, (1/Pd)	0,82928	1,394
7	ln Q, b, Ar/At, (1/Pd)	0,82947	1,393
8	ln Q, b, Ar/At, Ar/v	0,82928	1,393

Onde:

- ln é o Logaritmo Neperiano;
- Q é o fluxo de ônibus nos terminais;
- Ar/At é a relação entre áreas refletoras e área total da superficial do sólido representativo de cada terminal;
- v/pd é a relação entre o volume e o pé direito de cada um dos sólidos representativos;
- Ar/v é a relação entre áreas refletoras e volume total do sólido;
- Pd é o pé direito dos sólidos;

Os valores obtidos do coeficiente de determinação e do erro entre os valores estimados e medidos são muito homogêneos e o modelo 4 foi escolhido por ser o que apresenta o maior valor de R² e o menor erro. Este modelo considera o logaritmo das variáveis, com exceção apenas na relação entre área refletora e área total superficial. Portanto, o modelo está apresentado a seguir:

$$Leq = 71,56 + 2,67 * \ln Q + 3,19 * \ln b + 2,38 * \frac{Ar}{At} - 0,8 * \ln \left(\frac{V}{Pd} \right) \quad (2)$$

Onde:

- Q é o fluxo de ônibus;
- b é o número de baias em cada terminal;
- Ar é o área total refletora;
- At é o área total superficial;
- V é o volume de ar do sólido representativo;
- Pd é o pé direito sólido representativo.

A seguir é apresentado na Figura 7, o gráfico contendo os valores do Leq medidos e estimados pelo modelo 4.

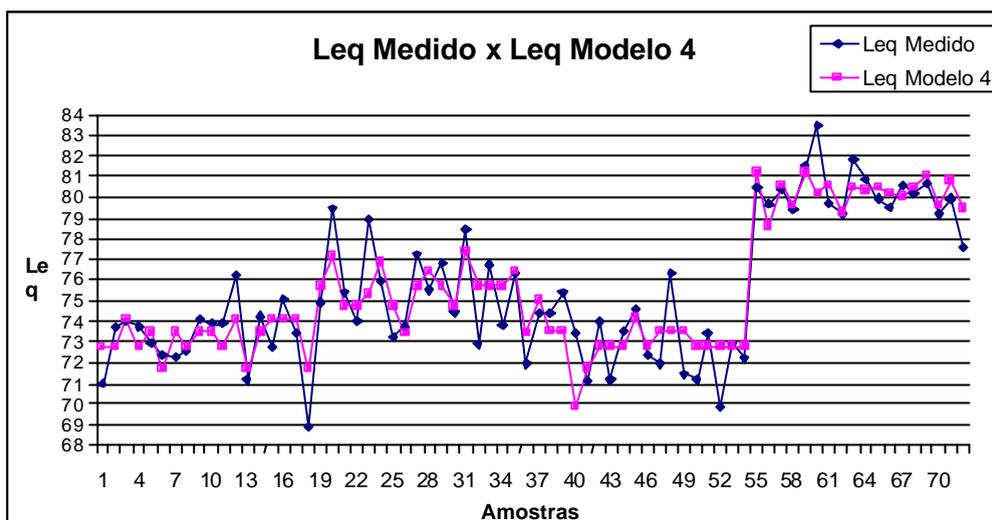


Figura 7 – Valores de Leq medidos e estimados pelo modelo 4 nos terminais

6. CONCLUSÕES

Os valores do coeficientes de determinação (R^2) da ordem de 0,80 são considerados muito bons em análise de regressões e o valor obtido no modelo preliminar por RODRIGUES et. Al. (2005) foi de 0,815. Através da inserção de variáveis relativas às características arquitetônicas e ainda ao número de plataformas (baias) dos terminais, o coeficiente de determinação obtido foi de 0,829, o que comprova a relevância destas variáveis no modelo de previsão do nível de ruído nestes ambientes.

O ruído esta relacionado em uma proporção direta com o número de plataformas nos terminais. Isso de dá devido ao fato que quanto maior for o número de baias, possivelmente maior numero de ônibus poderão estar simultaneamente nos terminais nos horários de pico.

Conforme era esperado, quanto maior a área de superfícies refletoras nos terminais, maior é o ruído interno. Isto pode ser comprovado pela parcela A_r/A_t na equação 2, pois esta variável apresenta um coeficiente positivo e, assim, quanto maior for a proporção de áreas refletoras em relação a área superficial total, maior será o valor da contribuição desta variável em relação ao ruído total previsto pelo modelo. Dessa maneira constata-se a influência devido a reflexão das ondas sonoras nas paredes, teto e outras superfícies presente nos terminais.

Analisando o último elemento da equação 2 percebe-se que quanto maior for o volume do sólido representativo e, simultaneamente maior for o valor do pé direito do terminal, ocorrerá um efeito positivo decorrente da maior dispersão da onda sonora e/ou do tempo de retorno desta onda no receptor, contribuindo para um nível de ruído menor.

As medições foram realizadas nas horas de pico e acredita-se que se fosse possível realizar medições em outros terminais urbanos poder-se-ia ter melhores condições de análises do efeitos das variáveis consideradas neste estudo.

Este trabalho faz parte da dissertação de mestrado que está sendo desenvolvida na Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Novas coletas de dados de ruído e fluxo de ônibus estão sendo realizadas em outras localidades, bem como a expansão do número de terminais analisados. Espera-se que com estes procedimentos, seja possível melhorar ainda mais a precisão do modelo para a previsão de ruído em terminais de transporte coletivo urbano.

REFERÊNCIAS

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

Magalhães, M. N. & Lima, A. C. P., 2001. *Noções de Probabilidade e Estatística*, Departamento de Estatística, IME-USP.

Rodrigues, F., Faria, C. F. et. Al., 2005. *Assessment of Noise Levels in Terminals at Bus Stations*, proceedings of International Congress Internoise 2005. Rio, Brasil.

Roviriego, L. F. V., Silva V. B., Silva A. N. R., 2004. *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, Brasil.