



AVALIAÇÃO DOS COEFICIENTES DE ISOLAMENTO ACÚSTICO MEDIDOS E SIMULADOS

Carolina Reich Marcon; José Augusto Coelho Ferreira; Paulo Henrique T. Zannin

Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico, Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, Deptº de Eng. Mecânica, Bairro Jardim das Américas, Curitiba, Paraná, Brasil, Fone/fax: 41-3361-3433. e-mail: klmarcon@xmail.com.br

RESUMO

Este trabalho avaliou o isolamento acústico entre cômodos e de fachada em três residências localizadas na cidade de Curitiba, Paraná, Brasil. Para tal, foram realizadas medições *in situ* do isolamento acústico aéreo entre cômodos (R'_w) e isolamento de fachada ($R'_{w,s,str}$). Nas residências, para as medições entre cômodos, foram medidos o ruído na sala emissora, o ruído na sala receptora, o ruído de fundo e o tempo de reverberação, obtendo-se o isolamento acústico do conjunto normalmente formado por paredes e portas. Já no isolamento de fachada, é utilizado como fonte de ruído aquele produzido pelo tráfego viário para a medição do nível de pressão sonora no interior e exterior da residência. Toda a medição seguiu as normas ISO140/4, ISO140/5(1978) e ISO717-1(1996). Além das medições *in situ*, foram realizadas simulações via ferramenta computacional *Bastian 2.0*, o qual segue a norm europeia EN12354. Esta simulação foi realizada com o intuito de apontar os elementos construtivos por onde o som estaria vazando. Concluiu-se que a qualidade dos materiais utilizados em portas e janelas e os defeitos na instalação desses elementos contribuem para o vazamento sonoro, resultando na diminuição do isolamento acústico. Observou-se, também, que os valores dos coeficientes de isolamento acústico obtidos neste trabalho, e que refletem a realidade construtiva no Brasil, são ruins se comparados aos dados obtidos em países mais desenvolvidos, com maiores investimentos na construção civil e situados em regiões climáticas diferentes.

ABSTRACT

This work evaluated the acoustic isolation between rooms and the isolation of facade in three residences located in the city of Curitiba, Paraná, Brazil. For such, mensurations *in situ* of the aerial acoustic isolation were accomplished between rooms (R'_w) and facade isolation ($R'_{w,s,str}$). In the residences, for the mensurations between rooms, it was measured the noise in the issuing room, the noise in the receiving room, the fund noise and the time of reverberation, to obtain the acoustic isolation of the group usually formed by walls and doors. In the facade isolation, it was used as noise source the traffic noise for the mensuration the level of sound pressure in the interior and external of the residence. All the mensuration followed the norms ISO140/4, ISO140/5(1978) and ISO717-1(1996). Besides the mensurations *in situ*, simulations were accomplished through computational tool *Bastian 2.0*, which follows the european norm EN12354. This simulation was accomplished with the objective of aiming the constructive elements which would give the sound away. It was ended that the quality of the materials used in doors and windows and the defects in the installation of those elements contributes for the sound leak, resulting in the decrease of the acoustic isolation. It was also observed that the values of the coefficients of acoustic isolation obtained in this work, and that reflect the constructive reality in Brazil, are bad if compared to the data obtained at developed countries, that have a larger investment in the build construction and that are placed in different climatic areas.

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento das cidades, ocorre também um aumento na poluição. Um dos tipos de poluição muito comum em metrópoles, como Curitiba, cidade com cerca de 1,6 milhões de habitantes (IBGE, 2002), é a poluição sonora. Este tipo de poluição é classificado pela Organização Mundial de Saúde como o tipo de poluição que atinge o maior número de pessoas no planeta, depois da poluição do ar por emissões gasosas e da poluição da água (World Health Organization, 2003). Esta consequência do crescimento das cidades é difícil de ser evitada, sendo a cidade um ambiente barulhento. Isto é provocado pela poluição sonora urbana que tem como agente caracterizador o ruído ambiental, considerado um ruído complexo, pois é composto de várias parcelas de ruídos secundários, provenientes de fontes e atividades diversas. Vários pesquisadores têm buscado caracterizar este ruído e identificar os malefícios que os mesmos acarretam aos seres humanos (ZANNIN *et al.*, 2002; ZANNIN *et al.*, 2001; MASCHKE, 1999; KAGEYAMA *et al.*, 1997.; OSADA *et al.*, 1997; SAADU *et al.*, 1996; GARCIA *et al.*, 1992). Uma das soluções é isolar o ruído, reduzindo sua entrada nas edificações, proporcionando à população maior conforto acústico no interior das mesmas.



Figura 1 - Incômodo gerado pelo Ruído Urbano e busca pelo conforto acústico no interior da edificação.

A norma alemã Norma DIN 4109 (1989) fornece valores para o isolamento acústico de uma fachada, relacionando níveis de ruído externo e o tipo de ambiente avaliado. O isolamento, neste caso, depende da relação entre parede externa, janela e tamanho do ambiente estudado. Para salas de estar e dormitórios o índice considerado ($R'_{w,res}$) varia conforme níveis de ruído externo. Se o ruído externo for de até 60 dB(A), o isolamento deverá ser no mínimo de 30dB(A), chegando a um isolamento mínimo de 35 dB(A) quando o ruído externo for de 65 dB(A).

2. MATERIAIS E MÉTODO

Foram realizadas medições *in situ* do isolamento acústico de partições entre cômodos e na fachada em três residências. Estas edificações estão localizadas em bairros residenciais localizados na cidade de Curitiba, estado do Paraná, Brasil. Além das medições *in situ*, foram realizadas simulações computacionais com o intuito de apontar os elementos construtivos que estariam deixando vazar som. Para as medições *in situ*, os equipamentos e procedimento adotado foram os seguintes: o ruído é gerado pelo analisador acústico de dois canais (BK2260), passa pelo amplificador de potência (BK2716), e então é distribuído pelo ambiente através de uma fonte dodecaédrica (BK4296). A captação do ruído é feita pelos microfones e então os dados são calculados pelo programa computacional *Qualifier* (BK7830). Todos os equipamentos são fabricados pela companhia *Brüel & Kjaer* (Dinamarca) e satisfazem as normas internacionais requeridas para este tipo de medição.



Figura 2 - Analisador de dois canais, amplificador de potência, fonte dodecaédrica. Determinação do tempo de reverberação.

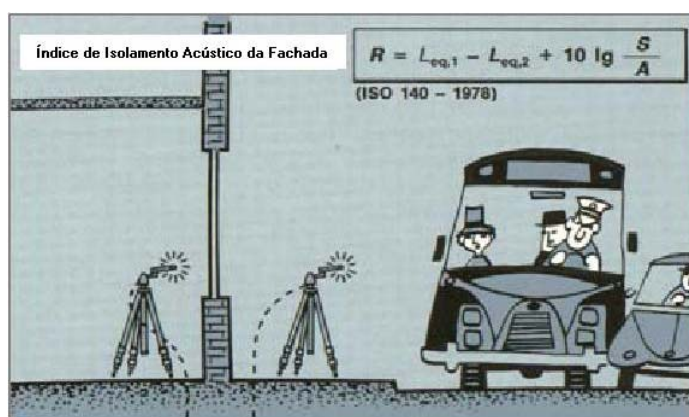


Figura 3 - Medição simultânea do nível de pressão sonora no interior e exterior de uma edificação, utilizando o ruído de tráfego como fonte sonora. Através dessa medição no local e a medição do tempo de reverberação no interior da edificação determina-se o índice de isolamento na fachada.

Para obter o tempo de reverberação, em ambas as avaliações, e o nível de pressão sonora, na avaliação do isolamento entre cômodos, a fonte sonora dodecaédrica é posicionada aproximadamente no centro da sala a ser medida, obtendo-se um campo sonoro difuso. Já na obtenção do nível de pressão sonora, na avaliação do isolamento de fachadas, foi utilizado o próprio ruído de tráfego como fonte sonora. Todos os índices de isolamento acústico são calculados de acordo com a norma ISO 717-1 (1996). Esta norma pretende avaliar o isolamento acústico e simplificar a formulação de códigos acústicos para ambientes. A norma ISO 717-1 apresenta os valores do isolamento acústico como “números únicos”, o que facilita a interpretação dos valores medidos, pois o isolamento acústico é intrinsecamente dependente da frequência de emissão do sinal acústico. Todos os resultados apresentados foram baseados em dados de medições em bandas de um terço de oitava, ou seja, foram medidos índices diferentes em 16 bandas de frequências para logo após condensar o resultado em apenas um valor de fácil leitura, conforme especifica a norma ISO 717-1.

Ao finalizar as medições, os dados foram levados ao laboratório de acústica e calculados através de programa computacional, gerando um gráfico (figura 4). Nele, os resultados são dados por frequência. A linha azul é a curva de referência da norma ISO 717 para fins de comparação e obtenção do número único \bar{w}_R , a linha pontilhada vermelha refere-se ao deslocamento da linha azul de referência, sendo equivalente à linha obtida no experimento, de acordo com o método prescrito na norma. Através do gráfico, é obtido o número único \bar{w}_R que é o índice de redução sonora. Quanto maior esse número, melhor será o isolamento acústico.

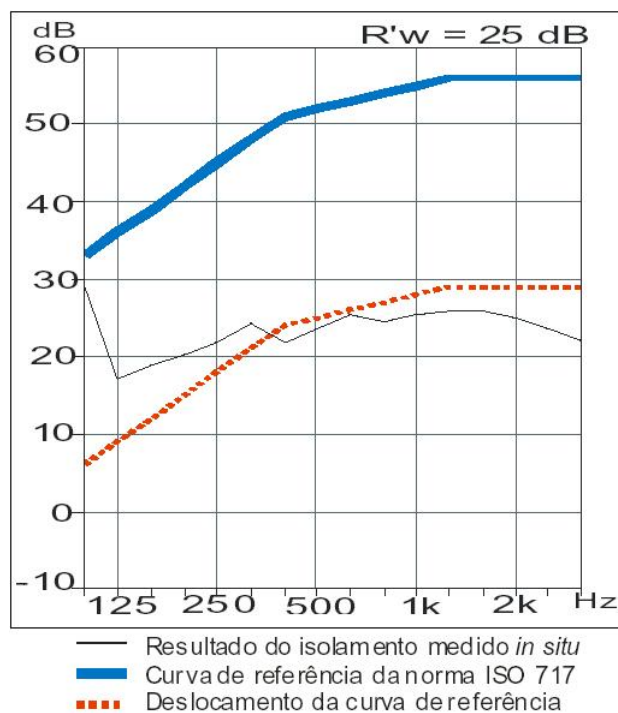


Figura 4 – Modelo para obtenção do número único, segundo ISO 717.

Para obter os dados referentes ao isolamento acústico entre cômodos e de fachada através de simulação computacional, utilizou-se o programa computacional *Bastian 2.0*, o qual utiliza os métodos de cálculo da norma europeia EN 12354-1 (E.N. 2000). Este software foi utilizado por pesquisadores europeus que publicaram trabalhos sobre a referida norma (SIMMONS, 2001; SIMMONS, 2002; SAARINEN, 2002; CLAIK, 2002).

Para a simulação do isolamento aéreo entre cômodos é necessário estabelecer uma sala como sendo receptora e outra como emissora (onde está a fonte sonora), estas deverão ser adjacentes. Ainda em relação à simulação do isolamento aéreo entre cômodos, os dados necessários são as dimensões de ambos os cômodos - o programa requer o desenho da sala, porém muito simplificado, sendo de grande importância manter o volume e as dimensões da divisória onde se quer calcular o isolamento, assim como as áreas dos diferentes materiais que compõe o ambiente - e o índice de isolamento de cada material, inclusive do teto e do piso. Alguns desses índices de isolamento já estão inseridos no programa, porém não puderam ser utilizados por tratarem-se de parâmetros europeus, os quais não condizem com a realidade brasileira.

A seguir é mostrado um desenho esquemático e a tabela do isolamento acústico entre dois cômodos.

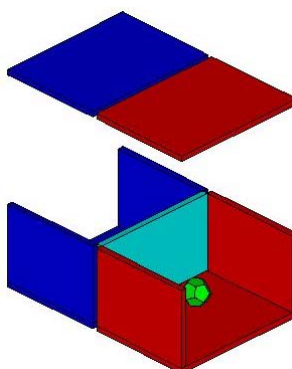


Figura 5– Desenho esquemático da simulação acústica entre cômodos

Tabela 1 – Situação acústica entre dois cômodos

| Sala emissora | Tipo de junta | Sala receptora | R'w | |
|--------------------------|---------------|--------------------------|-------------|-----|
| | | | dB | % |
| Elementos Básicos | | Elementos Básicos | | |
| Bloco de concreto vazado | | | 53.4 | 0 |
| Porta de madeira | | | 25.4 | 100 |
| Bloco de concreto vazado | simples | Bloco de concreto vazado | 62.0 | 0 |
| Bloco de concreto vazado | simples | Bloco de concreto vazado | 62.0 | 0 |
| Forro em madeira 7mm | simples | Forro em madeira 7mm | 33.3 | 0 |
| Piso em concreto 100mm | simples | Piso em concreto 100mm | 56.3 | 0 |
| | | Total: | 25.4 | 100 |

A tabela 1 e a figura 1 acima apresentam um modelo de resultados da simulação computacional realizada para o isolamento sonoro aéreo entre dois cômodos, o banheiro e a sala de estar. As paredes laterais são feitas de blocos de concreto vazado, o forro é de madeira com 7mm de espessura e o piso é constituídos de concreto 100mm. A parede divisória entre os ambientes também é feita de blocos de concreto, sendo que esta possui uma porta de madeira. As junções entre paredes são do tipo simples, ou seja, não possuem elementos isolantes.

No final da tabela, pode-se observar o isolamento R'w para cada elemento individual. Como se pode observar, o elemento porta é por onde infiltra toda a energia sonora. O isolamento total do conjunto R'w = 25,4 dB é determinado pelo tipo de porta escolhida, visto que 100% da energia sonora passa por este elemento.

A simulação do isolamento acústico de fachada é semelhante à simulação do isolamento entre cômodos, entretanto, agora, existe apenas um cômodo e a fonte sonora é o ruído de tráfego, assim, é calculado o R'tr,s,w.

O desenho esquemático apresentado abaixo e a tabela mostram a simulação do isolamento de uma fachada.

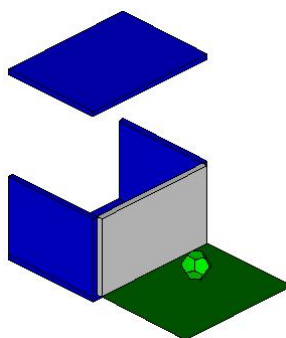


Figura 6 – Desenho esquemático da simulação do isolamento acústico de uma fachada

Tabela 2 – Situação acústica em uma fachada

| Sala receptora | Tipo de junta | R'tr, s, w | |
|------------------------------|---------------|-------------|-----|
| | | dB | % |
| Elementos Básicos | | | |
| Bloco de concreto vazado | | 49.6 | 0 |
| Janela de alumínio de correr | | 23.7 | 100 |
| Bloco de concreto vazado | simples | 55.5 | 0 |
| Bloco de concreto vazado | simples | 55.5 | 0 |
| Forro em madeira 7mm | simples | 33.3 | 0 |
| Piso em concreto 100mm | simples | 56.3 | 0 |
| | Total: | 23.6 | 100 |

Nesta situação, o isolamento calculado é o isolamento de fachada. A fonte sonora externa é o próprio tráfego de veículos. O isolamento total do conjunto é definido pelas características do elemento janela.

Novamente, observa-se que a contribuição deste elemento para o isolamento acústico é mínima, pois o isolamento individual de cada parede é muito superior ao isolamento da janela. Sendo assim, 100% da energia sonora passa pelo elemento janela.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram avaliadas três residências: dois apartamentos e um sobrado geminado, todos na cidade de Curitiba.

3.1 Apartamento 1

Apartamento localizado no 19º andar do edifício Bougainville, situado no bairro Água Verde. Construído em alvenaria, com lajes de concreto e portas internas de madeira. As janelas são em esquadrias de alumínio e vidro 3mm.

Nesta residência foram avaliadas 2 divisórias internas e 3 fachadas. Na figura 7 estes elementos estão hachurados e numerados de 1 a 5.

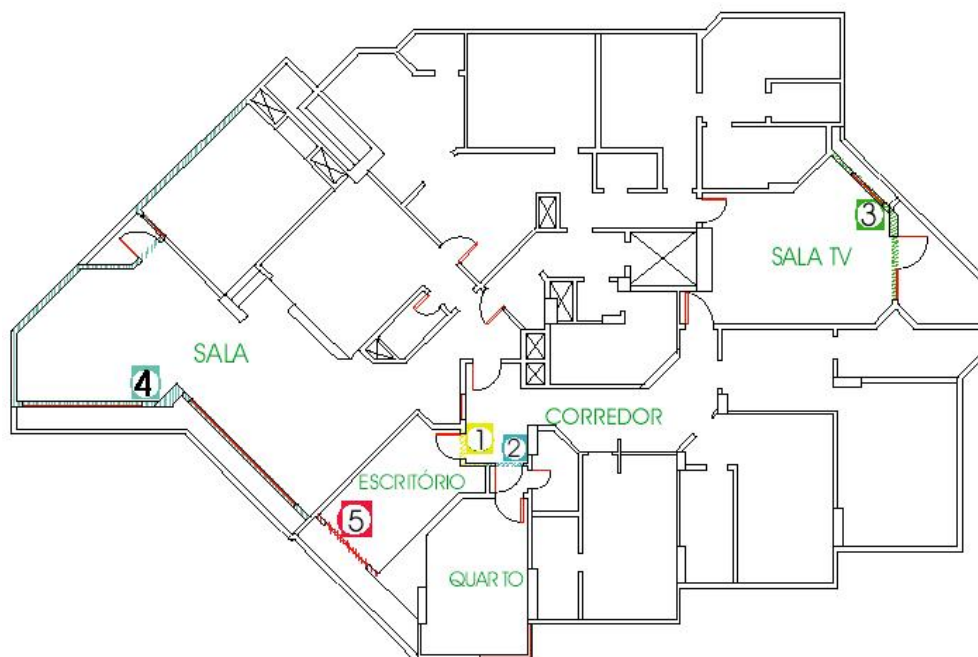


Figura 7- Planta do apartamento 1 com a localização dos pontos medidos

Na tabela 3 estão apresentados os valores medidos e simulados do isolamento acústico entre cômodos e de fachada.

Tabela 3 - Resultado das medições.

| DIVISÓRIA | TIPO DE MEDIÇÃO | RESULTADOS | |
|-----------|---------------------|------------|-----------|
| | | MEDIDOS | SIMULADOS |
| 1 | aérea entre cômodos | 25 | 25,8 |
| 2 | aérea entre cômodos | 27 | 25,5 |
| 3 | de fachada | 22 | 22,4 |
| 4 | de fachada | 22 | 23,8 |
| 5 | de fachada | 21 | 20,3 |

Percebe-se aqui a semelhança entre os resultados medidos *in situ* e simulados com a utilização do software *Bastian*.

Nesse apartamento avaliado, considerado esse de classe média-alta, o índice de isolamento não superou os 27 dB(A) para isolamento entre cômodos, em medição *in situ*, e os 23,8 dB(A) para fachada, em simulação computacional. Essa diferença entre os níveis, do isolamento acústico de fachada e entre cômodos, deve-se a maior quantidade de aberturas (janelas fechadas apenas com vidros e esquadrias, muitas vezes mal instaladas) existentes nas fachadas.

3.2 Apartamento 2

Apartamento localizado no 9º andar do edifício Riviéra, situado no bairro Batel. Construído em alvenaria, com lajes de concreto e portas internas de madeira. As janelas são em esquadria de alumínio e vidro 3mm.

Nesta residência foram avaliadas 4 divisórias internas e uma fachada. Na figura 8 estes elementos estão hachurados e numerados de 1 a 5.

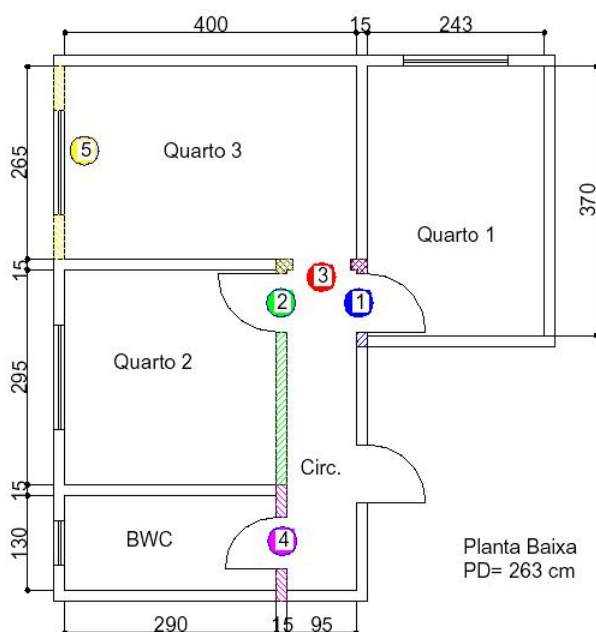


Figura 8 - Planta do apartamento 2 com a localização dos pontos medidos

Na tabela 4 estão apresentados os valores medidos e simulados do isolamento acústico entre cômodos e de fachada.

Tabela 4 - Resultado das medições.

| DIVISÓRIA | TIPO DE MEDIÇÃO | RESULTADOS | |
|-----------|---------------------|------------|-----------|
| | | MEDIDOS | SIMULADOS |
| 1 | aérea entre cômodos | 28 | 30,5 |
| 2 | aérea entre cômodos | 29 | 30,3 |
| 3 | aérea entre cômodos | 26 | 25,6 |
| 4 | aérea entre cômodos | 27 | 26,7 |
| 5 | de fachada | 21 | 22,8 |

Nesse apartamento os valores obtidos são muito semelhantes aos observados no apartamento anterior, apesar desse ser mais antigo e de menores dimensões, o que acarreta num menor valor econômico.

3.3 Sobrado Geminado

Sobrado geminado situado no bairro Santa Cândida. Construído em alvenaria com lajes de concreto e portas internas de madeira. As janelas são em esquadria de alumínio e vidro 3mm.

Nesta residência foram avaliadas 4 divisórias internas e 2 fachadas. Na figura 9 estes elementos estão hachurados e numerados de 1 a 6.

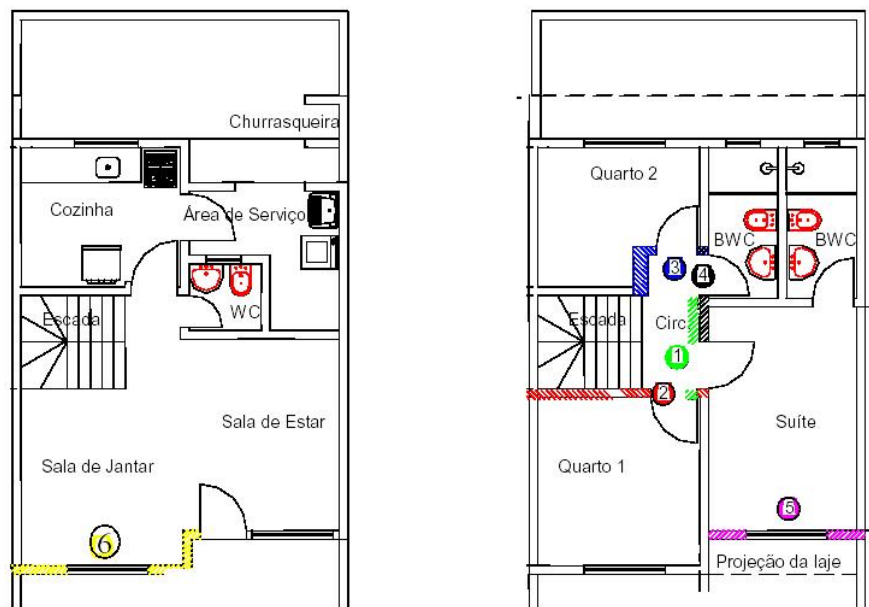


Figura 9 - Planta sobrado geminado com localização dos pontos medidos

Na tabela 5 estão apresentados os valores medidos e simulados do isolamento acústico entre cômodos e de fachada.

Tabela 5 - Resultado das medições.

| DIVISÓRIA | TIPO DE MEDIÇÃO | RESULTADOS | |
|-----------|---------------------|------------|-----------|
| | | MEDIDOS | SIMULADOS |
| 1 | aérea entre cômodos | 28 | 26,2 |
| 2 | aérea entre cômodos | 28 | 29,8 |
| 3 | aérea entre cômodos | 29 | 28,5 |
| 4 | aérea entre cômodos | 27 | 25,5 |
| 5 | de fachada | 19 | 23,1 |
| 6 | de fachada | 20 | 23,0 |

O sobrado geminado, localizado em região mais afastada do centro da cidade que os dois outros imóveis, mas em região igualmente ruidosa, apresentou valores semelhantes aos anteriores. Esse possui valor econômico inferior aos outros dois, mas níveis de isolamento acústico próximos aos encontrados anteriormente.

4. CONCLUSÃO

Os resultados não foram satisfatórios, sendo que nenhum dos índices de isolamento de fachada obtido apresentou valor igual ou superior ao prescrito na norma europeia DIN 4109 (1989), que é de no mínimo 30dB(A) para fachada de dormitórios e salas de estar.

Os valores de isolamento mantiveram-se constantes enquanto houve variações de valor econômico e classe social ocupante dos imóveis avaliados.

A maior parte do som é transmitida pelas aberturas existentes (portas e janelas). Assim, percebe-se a precariedade dos materiais utilizados para o fechamento dessas além da má instalação de caixilhos e esquadrias.

As propriedades dos elementos de uma fachada são definidos primariamente pelas condições climáticas da região, principalmente pela temperatura (Saarinen, 2002). O isolamento térmico, baseado no consumo de energia regula as propriedades construtivas e a disponibilidade dos materiais de construção. Nos países Nórdicos, as janelas são tipicamente de vidro triplo, o que, por sua vez, possui, além de um bom isolamento térmico, também um isolamento acústico muito superior às janelas de vidro simples (3 mm), comumente encontradas nas construções brasileiras.

Devido ao fato do programa utilizado para efetuar os cálculos requeridos ser alemão, os bancos de dados disponíveis em sua memória não puderam ser aproveitados por completo nesse trabalho. Grande parte dos materiais de construção, nos países europeia, possui índices de isolamento sonora superiores aos encontrados no Brasil. O exemplo mais evidente é o banco de dados de janelas, onde a janela mais simples encontrada possui vidro duplo sendo que no Brasil raramente encontra-se esse tipo de elemento. Por este motivo, nas simulações computacionais, foram utilizados dados de isolamento acústico obtidos em medições realizadas em laboratórios, SILVA D. (2000), RECCHIA C.(2001) e HARRIS C. M. (1998) .

Devido a essa divergência de fatores que separam as condições construtivas no Brasil das de outros países, existe a necessidade de um embasamento nas referências de estudos realizados neste país. A tese de doutorado de BARING (1990) sobre o desempenho acústico de caixilhos de fachada no contexto do controle da poluição sonora urbana fornece um material de comparação com os resultados aqui apresentados. Os resultados do trabalho de BARING (1990) demonstram um aspecto típico da situação no Brasil e concordam com os números encontrados no presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION – ISO. ISO 140/4: Acoustics – Measurement of sound insulation in building and of building elements; Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms. Geneva, 1998.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION – ISO. ISO 140/5: Acoustic – Measurement of sound insulation in building and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades. Geneva, 1998.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION – ISO. ISO 717-1: Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and building elements - Part 1: Airborne sound insulation. Geneva, 1996.

EUROPEAN NORM – EN. EN12354: Buildings Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. UK, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2002. Brasília, DF.

WORLD HELTH ORGANIZATION – WHO. Résumé d’Orientation des Directives de l’OMS Relatives au Bruit dans l’Environmental. Disponível em : <http://www.who.int/home.page/>> Acesso em: 05 de abril de 2003.

ZANNIN, P. H. T.; DINIZ, F. B. D.; FERREIRA, J. A. C.; SCHUHLI, R. Incômodo Causado pelo Ruído Urbano à População de Curitiba, PR. Revista de Saúde Pública, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 521-524, 2002.

ZANNIN, P. H. T.; DINIZ, F. B. D. Environmental Noise Pollution in Residential Areas of the City of Curitiba. Acustica Acta Acustica, Brasil, v. 87, p. 625-628, 2001.

MASCHKE, C. Preventive Medical Limits for Chronic Traffic Noise Exposure. Fórum Acústico, Sevilha, v. 85, p. 448, 1999.

KAGEYAMA, T.; KABUTO, M.; NITTA, N.; KUROKAWA, Y.; TAIRA, K.; SUZUKI, S.; TAKEMOTO, T. A cross-sectional study on insomnia among japanese adult women in relation to

night-time road traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, Inglaterra, v. 205, n. 4, p. 387-391, 1997.

OSADA, Y., YOSHIDA, T.; YOSHIDA, K.; KAWAGUCHI, T.; YOSHIYAMA, Y.; YAMAMOTO, K. Path analysis of the community response to road traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, Inglaterra, v. 205, n. 4, p. 493-498, 1997.

SAADU, A. A.; ONYEONWU, R. O.; AYORINDE, E. O.; OGISI, F. O. Community attitudinal noise survey and analysis of eight Nigerian cities. *Applied Acoustics*, Grã Bretanha, v. 49, n. 1, p. 49-69, 1996.

GARCIA, A.; FAUS, L. J.; GARCIA, A. M. The Community Response to Aircraft Noise Around Six Spanish Airports. *Journal of Sound and Vibration*, Inglaterra, v. 164, n. 1, p. 45-52, 1992.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG – DIN. DIN 4109: Schallschutz im Hochbau. Germany, 1989.

SAARINEN A.; Reduction of external noise by building facades: tolerance of standard EN 12354-3.; *Applied Acoustics*- 63; 2002.

SILVA, D; Universidade Federal de Santa Maria, Estudo da Isolação Sonora em Paredes Divisórias de Diversas Naturezas; Universidade Federal de Santa Maria; 2000.

RECCHIA, C; Estudo do Desempenho Acústico dos Elementos Construtivos que Compõe a Fachada; Universidade Federal de Santa Maria; 2001.

HARRIS, C. M. *Noise Control in Buildings: A Practical Guide for Architects and Engineers*. 2 ed. Nova York: McGraw-Hill, 646 p, 1998.

BARING, J.; O Desempenho Acústico de Caixilhos de Fachada no Contexto do Controle da Poluição Sonora Urbana; São Paulo, 1990.