

ARTIGO

Conforto Acústico em edifícios residenciais

Maria de Fatima Ferreira Neto, pesquisadora e professora da UNIP-Sorocaba;
Stelamaris Rolla Bertoli, professora Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Este texto foi baseado no artigo publicado no *V Congresso Ibérico de Acústica*, o *XXXIX Congresso Espanhol de Acústica* *TECNIACÚSTICA 2008*, e o *Simpósio Europeu de Acústica* realizado em Outubro de 2008 em Coimbra, Portugal, sob o título Conforto acústico entre unidades habitacionais em edifícios residenciais de São Paulo, Brasil.

O conforto acústico pode ser visto como um conceito de caráter subjetivo porém, cada vez mais, procura-se traduzir essa subjetividade em parâmetros de caráter objetivo, mensuráveis. De uma forma ou de outra, o conforto acústico tem sido cada vez mais exigido por proprietários ou usuários de edificações. Talvez a maioria da população não saiba como avaliar esse conforto, mas a sua ausência está cada vez mais perceptível e, por isso, a exigência de morar ou trabalhar em ambientes acusticamente confortáveis está se tornando cada vez mais frequente.

Durante o projeto da edificação não é raro que as questões de conforto fiquem em segundo plano. Muitas vezes, somente depois do edifício pronto e entregue, é que esse item passa a ser mencionado e geralmente, pelo usuário. Porém, depois de prontas as edificações, pode ser mais difícil, dispendioso ou impossível de se realizar as devidas adequações para atingir as condições mínimas de conforto. Nas entrevistas realizadas no trabalho de Grimwood [1], os entrevistados mencionaram que sentem com o desconforto causado pelo ruído, além de efeitos emocionais, consequências na vida social, já que tinham que tomar todo o cuidado para produzir o mínimo de ruído possível quando recebiam ou faziam visitas. Esse desconforto reflete a necessidade de haver um bom isolamento acústico de ruído aéreo entre unidades residenciais e entre ambientes internos da mesma unidade residencial. Também é desejável um bom isolamento em relação ao ruído de impacto, para que esse tipo de ruído não gere níveis que causem desconforto para os usuários dos andares inferiores. Finalmente, destaca-se a importância de um bom isolamento de ruído aéreo das fachadas a fim de que o ruído ambiental não “invada” os ambientes internos das unidades residenciais, incomodando seus moradores.

Nos grandes centros urbanos brasileiros uma parcela significativa da população busca apartamentos com grandes áreas, varanda, churrasqueira, *playground*, um verdadeiro clube no condomínio. Portanto a atenção do consumidor está sendo voltada para as dezenas de itens de lazer que as construtoras oferecem em um único condomínio. Muitas vezes, o conforto acústico só é lembrado quando, ao se mudar para esse espaço, os moradores passam a escutar, por exemplo, a conversação dos vizinhos do lado ou o impacto do vizinho de cima, isto é, quando o ruído começa a atrapalhar seu sossego.

Os países com o clima mais frio, de certa forma, são privilegiados com a questão do isolamento acústico, porque, devido às baixas temperaturas, os ambientes necessitam de boa vedação térmica, favorecendo o isolamento acústico. Observa-se, também

nesses países, que como as noites são mais longas no inverno, a exigência dos moradores quanto ao isolamento acústico é maior, o que se reflete no valores dos níveis de ruído de fundo são também menores. Já em países como o Brasil, onde o clima é quente e úmido, em grande parte do território, a adequação térmica muitas vezes exige que as janelas se mantenham abertas, o que dificulta a obtenção de alto valor de isolamento acústico.

Em 2008 foi aprovada a norma NBR 15575 que trata de desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Em vigor desde maio de 2010, essa norma é de extrema importância, pois estabelece parâmetros de desempenho que até então não existiam e tem por finalidade a avaliação final do produto para que uma edificação seja entregue aos seus usuários com as condições mínimas de conforto, habitabilidade e uso [2][3]. Um dos itens dessa norma está associada ao desempenho acústico, estabelecendo métodos e critérios em partições internas, bem como em pisos e fachadas de edifícios residenciais.

Neste trabalho, procurou-se avaliar o desempenho acústico de partições internas entre unidades autônomas em edifícios residenciais, por meio de medições de isolamento de ruído aéreo, bem como caracterizar a influência dessa partição na privacidade com base no parâmetro inteligibilidade da fala obtido por meio de software e também na avaliação de um júri.

1 Avaliação do Desempenho Acústico e da Inteligibilidade da Fala

A avaliação do desempenho acústico e da inteligibilidade da fala foi considerada de duas formas: uma objetiva e outra subjetiva. A avaliação objetiva do desempenho acústico refere-se às medidas de isolamento de ruído aéreo em laboratório e em campo, dos elementos de vedação entre dois ambientes e da avaliação da privacidade medindo a inteligibilidade da fala pelo parâmetro STI. A avaliação subjetiva foi feita com base nas respostas de um júri, quanto à percepção do ruído gerado em ambientes opostos.

1.1 Avaliação Objetiva

A avaliação objetiva do desempenho acústico consistiu da realização de testes em laboratório e em campo, do isolamento de ruído aéreo entre ambientes. Os procedimentos de medição foram baseados nas normas ISO 140-3 [4], para laboratório e ISO 140-4 [5], para campo, uma vez que no Brasil não existem normas específicas com procedimentos para essas medições. O que se avalia em campo é o isolamento proporcionado pelo sistema construtivo e não a isolação sonora do elemento construtivo, com no laboratório. O cálculo do desempenho acústico, nessas duas situações, é diferente. Em laboratório obtém-se o índice de redução sonora, R , (*Sound Reduction Index*), dado pela norma ISO 140-3. A norma ISO 140-4, com procedimentos para avaliação em campo, apresenta três parâmetros que podem ser utilizados para a avaliação do desempenho acústico. São eles: R' - Índice de Redução Sonora Aparente (*Apparent Sound Reduction Index*), D_n - Diferença Normalizada de Nível (*Normalized level difference*) e D_{nT} - Diferença Padronizada de Nível (*Standardized Level Difference*). A ponderação desses parâmetros, por meio de uma curva padrão dada pela norma ISO 717-1[6] traduz o desempenho acústico por meio de um número único, resultando em R'_w , $D_{n,w}$ e $D_{nT,w}$, respectivamente, Índice de Redução Sonora Ponderado, Diferença Normalizada de Nível Ponderada e Diferença

Padronizada de Nível Ponderada. No Brasil, utiliza-se o último parâmetro mencionado para avaliar o isolamento em campo.

1.1.1.1 Desempenho acústico

Para este trabalho, a avaliação em campo foi realizada em um edifício residencial na zona sul da cidade de São Paulo, Brasil. Foi feita a avaliação de desempenho acústico em relação ao isolamento de ruído aéreo, em uma partição entre duas unidades habitacionais. O sistema construtivo avaliado é formado por blocos cerâmicos, de vedação, com 140 mm de largura, 390 mm de comprimento e 190 mm de altura. A argamassa foi colocada nas juntas, vertical e horizontal. Nas duas faces da parede, foi colocada uma espessura média de 10 mm de gesso. Essa configuração foi escolhida pois é atualmente a mais empregada na construção civil brasileira.

No Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) foi realizado o teste de isolamento sonora da parede de blocos cerâmicos. A Figura 1 apresenta a parede preparada no pórtico para o ensaio e a Figura 2 mostra a parede rebocada e devidamente posicionada entre as câmaras de medição. Diferentemente da obra, o reboco foi feito com 15 mm de argamassa, em ambas as faces. Essa configuração para o teste de laboratório foi utilizada por questões de custo e mão-de-obra. Há construtoras que mantêm essa configuração no último andar do edifício e, nos demais, utilizam o gesso como revestimento. Em outras avaliações de desempenho acústico realizadas e publicadas nos trabalhos de Neto [7] e de Neto *et al.* [8] a diferença nos resultados de desempenho com as paredes revestidas com argamassa ou gesso não foi significativa.



Figura 1 – Montagem da parede no pórtico do laboratório.



Figura 2 – Parede na câmara reverberante, para o teste de isolamento sonora.

1.1.2 Inteligibilidade da fala

A avaliação objetiva da inteligibilidade da fala foi feita empregando o software, *Dirac*, da Brüel & Kjær, que calcula o parâmetro STI (*Speech Transmission Index*) oriundo da resposta impulsiva do ambiente de recepção, com a fonte sonora no ambiente de emissão. O parâmetro STI é dado pela norma BS EN 60268-16, de 2003 [9]. Segundo essa norma, o STI é uma quantidade física que representa a transmissão da qualidade da fala com respeito à inteligibilidade. Nesse trabalho vamos estimar a privacidade do ambiente analisando se a inteligibilidade da fala no ambiente, é satisfatória ou não.

1.2 Avaliação Subjetiva

Para a avaliação subjetiva, foi solicitado o auxílio de um júri cujos componentes foram posicionados no ambiente de recepção de uma das unidades habitacionais. O júri se manifestou em relação a sinais sonoros emitidos no ambiente adjacente. Para o júri foi entregue uma tabela com as seguintes opções: ouve e entende tudo com facilidade;

ouve e entende uma parte com dificuldade; ouve mas não entende nada e, não ouve. Foram apresentados dois grupos de dez sentenças proferidas por um locutor de voz feminina e de voz masculina, e gerados no ambiente de emissão, representando outra unidade habitacional. A emissão das sentenças foi feita de duas formas: por um sistema de som e faladas ao vivo, por locutores de voz feminina e masculina, com variação dos níveis entre 80 e 90 dB. As sentenças foram gravadas em um estúdio pertencente à UNICAMP.

2 Critérios de Avaliação

2.1 Desempenho Acústico

A norma brasileira NBR 15575 de desempenho para edifícios de até cinco pavimentos (aprovada em maio de 2008 e válida a partir de 2010) estabelece vários requisitos que uma edificação deve atender às exigências dos usuários, em termos de habitabilidade e uso. Embora a norma seja para edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, alguns dos requisitos independem do número de pavimentos do edifício, como exemplo, o desempenho acústico [2].

As exigências dos usuários, definidas pela norma e utilizadas como referência para o estabelecimento dos requisitos e critérios, são segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Diferentemente da maioria dos outros documentos internacionais similares analisados, que apresentam um valor para um único nível de desempenho, esta norma apresenta critérios para três níveis de desempenho, sendo *M* – para nível mínimo; *I* – para nível intermediário e *S* – para nível superior.

A Tabela 1 apresenta os níveis critérios para isolamento de ruído aéreo em campo e em laboratório, para as partições entre unidades habitacionais, recomendados pela norma brasileira e que foram alvo de estudo deste trabalho.

Tabela 1 - Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$, para ensaio de campo e Índice de redução sonora ponderado dos elementos construtivos, R_w , para ensaio de laboratório [10]

Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)	Índice de redução sonora ponderado R_w (dB)	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação)	40 a 44	45 a 49	M
	45 a 49	50 a 54	I
	≥ 50	≥ 55	S

O gráfico da Figura 3 apresenta a comparação entre os níveis critérios estabelecidos por alguns países, que utilizam o mesmo parâmetro de avaliação que o Brasil ($D_{nT,w}$) e o critério brasileiro.

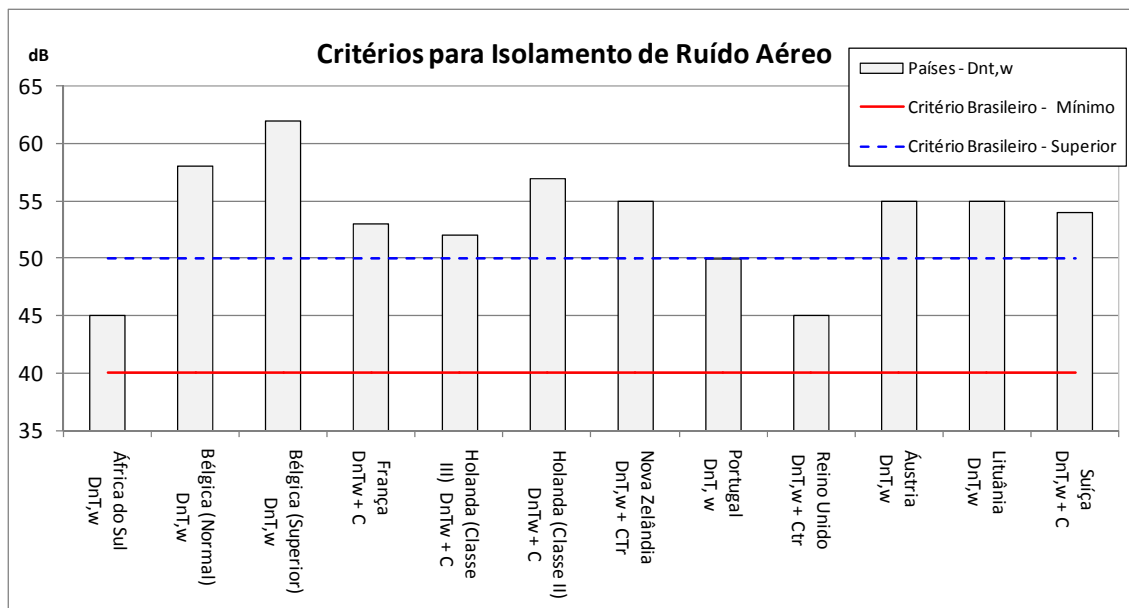


Figura 3 - Comparação entre critérios de desempenho acústico (ruído aéreo) brasileiro e de alguns países que utilizam o mesmo parâmetro de avaliação [11][12][13][14][15][16][17].

Pelo gráfico da Figura 3, verifica-se que sistemas construtivos aprovados no Brasil com nível de desempenho mínimo, não poderiam ser utilizados em nenhum dos países mencionados. Se o sistema construtivo apresentar desempenho com nível superior, poderia ser utilizado na África do Sul, em Portugal e no Reino Unido, desde que o valor de C_{Tr}^1 seja até -5.

¹ C_{Tr} é o Coeficiente de adaptação do espectro, para ruído de tráfego. Tal conceito é explicitado na norma ISO 717-1 [6].

2.2 Inteligibilidade da Fala

A inteligibilidade da fala é avaliada por meio do parâmetro STI, *Speech Transmission Index*, apresentado na norma BS EN 60268-16, de 2003 e indica qualidade da comunicação entre um emissor e um receptor num ambiente. O valor de STI varia entre zero e um, onde o primeiro valor corresponde a péssima inteligibilidade e, o segundo, a excelente inteligibilidade. Os valores intermediários são classificados com inteligibilidade pobre, razoável e boa. Neste trabalho, pretendemos usar a avaliação da inteligibilidade da fala com objetivo de estimar a privacidade e o nível de conforto acústico proporcionado pela partição entre dois ambientes. Assim, considerando a fonte num ambiente e o receptor no ambiente oposto da partição, quanto menor for o valor de STI encontrado, melhor é o nível de privacidade e conforto acústico.

¹ C_{Tr} é o Coeficiente de adaptação do espectro, para ruído de tráfego. Tal conceito é explicitado na norma ISO 717-1 [6].

3 Resultados

3.1 Avaliação Objetiva

3.1.1 Desempenho Acústico

Os resultados das medidas de isolamento sonoro aéreo em laboratório, da partição empregada entre duas unidades habitacionais, são apresentados no gráfico da Figura 4, que mostra o comportamento do índice de redução sonora em função da frequência em bandas de 1/3 de oitava e o respectivo valor do índice de redução sonora ponderado.

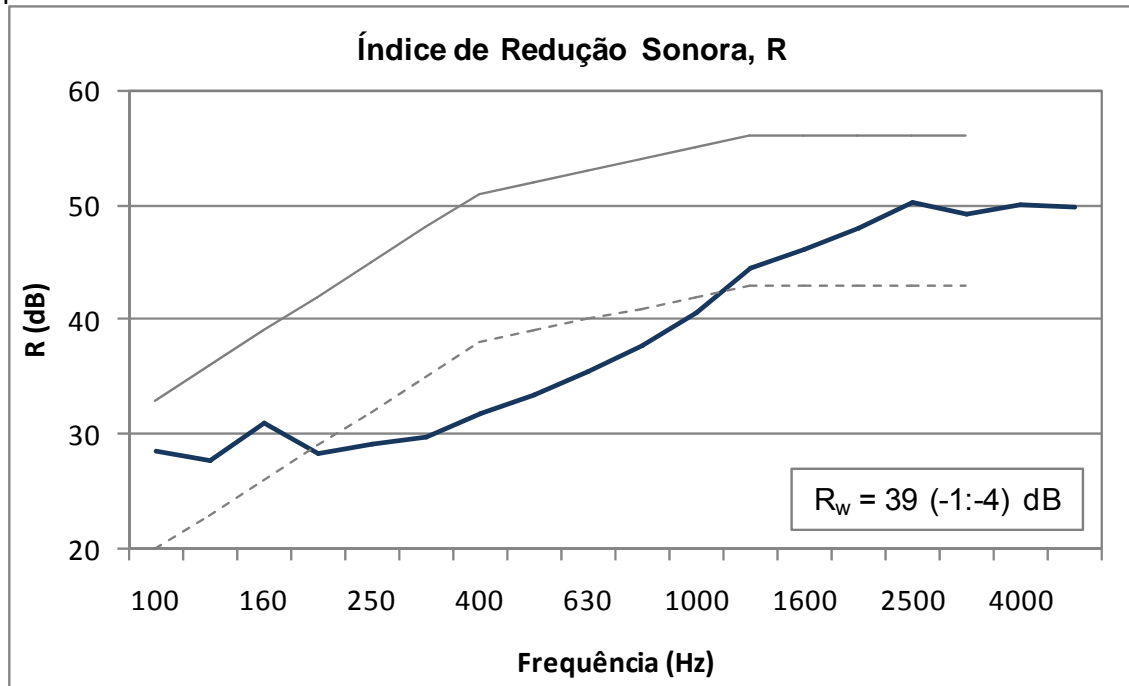


Figura 4 - Espectro do desempenho acústico da partição entre duas unidades habitacionais, avaliado em laboratório.

A apresentação do resultado do valor da isolação de um elemento construtivo, na sua forma completa, $R_w (C; C_{tr})$, isto é, com os coeficientes de adaptação do espectro para ruído rosa (C) e para ruído de tráfego (C_{tr}) é de essencial importância para os projetistas. Esses coeficientes de adaptação do espectro estão explicitados na norma ISO 717-1 [6].

Em campo os resultados obtidos referentes ao isolamento sonoro aéreo estão apresentados no gráfico da Figura 5 que mostra o comportamento da diferença padronizada de nível em função da frequência em bandas de 1/3 de oitava e a respectiva ponderação.

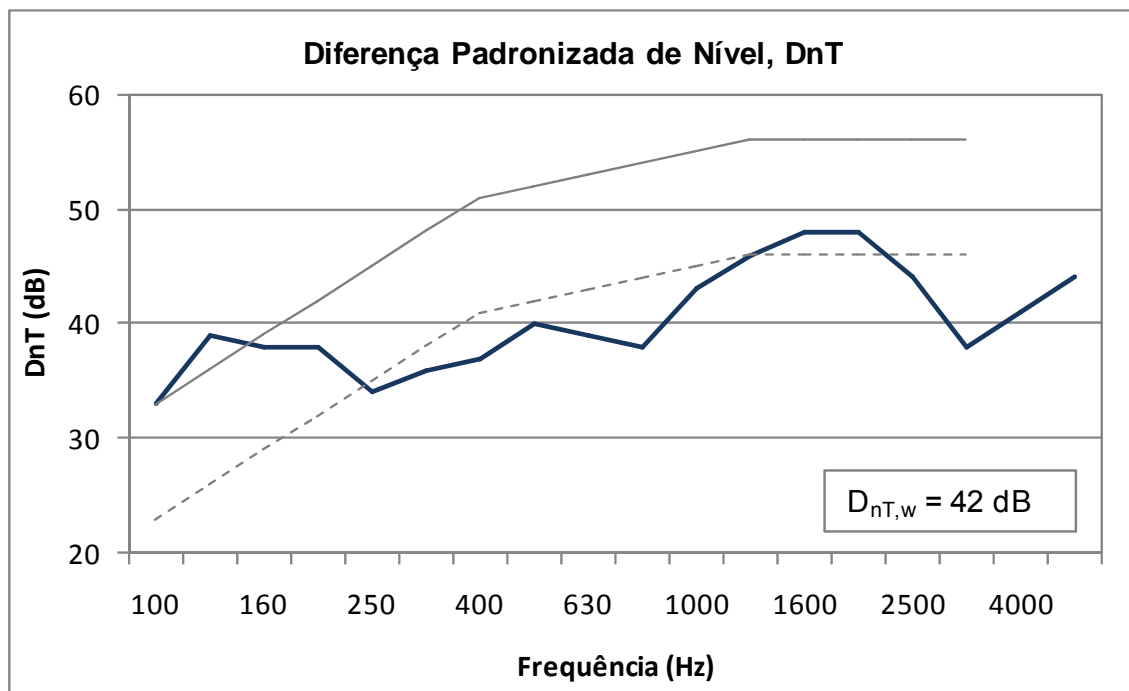


Figura 5 - Espectro do desempenho acústico da partição entre duas unidades habitacionais, avaliado em campo.

Seria de se esperar que o valor do teste de isolamento sonora, em laboratório, do elemento construtivo, fosse superior ao valor do isolamento do sistema construtivo em campo. Em laboratório as condições para avaliação são ideais, a avaliação é tecnicamente mais completa que qualquer outro método e o elemento construtivo está totalmente isolado da estrutura da câmara. Em campo, foi utilizado o método de engenharia (140-4) [5], que é tecnicamente mais completo do que o método simplificado [18]. A diferença nos resultados se justifica pelo sistema construtivo em si e não pelo procedimento de medição e cálculo. Uma análise mais aprofundada sobre as diferenças entre resultados de medição obtidos em laboratório e campo pode ser encontrada no trabalho de Neto *et al.* [8]

3.1.2 Inteligibilidade da Fala

A Tabela 3 apresenta o resultado da avaliação do STI medido em três pontos no ambiente de recepção e a classificação, segundo norma BS EN 60268-16 [9]. A última coluna representa a avaliação da privacidade. A diferença numérica entre o ponto 3 e os demais pontos é pequena, mas na classificação assume outra qualificação

Tabela 3 – Resultados da medição do STI

Pontos no ambiente de recepção	STI	Classificação conforme BS EN 60268-16	Privacidade (1 – STI)
P1	0,30	Ruim	Boa
P2	0,30	Ruim	Boa
P3	0,32	Pobre	Razoável

Se os resultados da avaliação da inteligibilidade da fala correspondessem à análise de uma sala a ser usada para aulas, palestras ou reuniões, a inteligibilidade seria considerada ruim e pobre e, conseqüentemente a sala seria inadequada para esses fins. No entanto, para este trabalho, quanto menor for o valor de STI, melhor é a

condição de privacidade e conforto acústico entre as unidades habitacionais. Assim sob essa perspectiva, o ambiente de recepção com a partição avaliada pode ser considerado com boa privacidade.

3.2 Avaliação Subjetiva

Analizando as respostas das avaliações do júri quanto a percepção da fala entre os dois ambientes foi possível estimar a privacidade promovida pela partição. O resultado compilado da avaliação do júri está apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Avaliação do conforto acústico pelo júri

Nível de Percepção das sentenças faladas	Voz gravada		Voz ao vivo	
			Nível médio:	
	Nível médio: 80 dB		80 dB	90 dB
	Feminina	Masculina	Feminina	Masculina
Ouve e entende com facilidade	0,0	0,0	4,6	57,5
Ouve e entende com dificuldade	13,1	2,3	43,1	40,8
Ouve mas, não entende	86,9	86,2	52,3	1,7
Não ouve	0,0	11,5	0,0	0,0

Segundo o júri, no caso do som gravado, a maioria se manifestou no sentido de que a fala é ouvida mas não entendida, o que concorda com a avaliação feita pela análise do STI, dando boa privacidade ao ambiente de recepção. No caso da voz ao vivo, a diferença na emissão da voz feminina em 10 dB inferior a voz masculina pode ter sido a responsável pela diferença de percepção entre as vozes. De qualquer forma para a voz feminina com o mesmo nível entre som gravado e ao vivo, prevalece a situação de que o som é ouvido mas não entendido.

3.3 Discussão

A avaliação do desempenho acústico da partição vertical entre duas unidades habitacionais é dado pelo $D_{nT,w}$, diferença padronizada de nível ponderada e, para a partição estudada, resultou no valor de 42 dB. Considerando-se os valores de desempenho recomendados pela norma brasileira NBR 15575 e transcritos na Tabela 1, verifica-se que essa partição apresenta o desempenho de nível mínimo.

Sistemas construtivos com a finalidade de paredes de geminação, que no Brasil atenderiam à norma na condição de desempenho mínimo, não poderiam ser utilizados em nenhum dos países pesquisados. No caso dos países que utilizam o mesmo parâmetro para desempenho que o do Brasil, o valor mínimo recomendado é de 45 dB

Comparando o resultado obtido para a partição com os valores recomendados por outros países e indicados no gráfico da Figura 3, verifica-se que um sistema construtivo como esse não seria aceito em nenhum dos países representados no gráfico. Os países que apresentam os coeficientes de adaptação do espectro, (C e C_{Tr}), como complemento do critério, mostram-se mais exigentes do que os países que não utilizam esse complemento, visto que são valores nulos ou negativos. Esses resultados mostram ainda mais a dificuldade de inserção desse sistema construtivo nesses países.

Neste trabalho verificou-se que o desempenho da parede pode influenciar na privacidade e no conforto proporcionado para os usuários. No trabalho de Neto [7] foi verificado que além do desempenho da partição, outros fatores, como as características acústicas do ambiente de recepção e parâmetros psicoacústicos influenciam na privacidade e na caracterização do nível de conforto acústico que o conjunto formado por uma determinada partição e um ambiente em um edifício residencial podem proporcionar aos seus usuários.

4 Conclusões

Em termos de conforto acústico, o resultado ainda está aquém da expectativa dos usuários. Pesquisa feita com esse mesmo júri revelou que o nível de conforto acústico que anseiam, deve ser obtido com nível de desempenho superior da partição, de modo que não ouçam a conversação da vizinhança adjacente.

A norma brasileira de desempenho de edifícios de até cinco pavimentos, NBR 15.575, teve vários pontos polêmicos durante a elaboração. Já aprovada e em vigor, passa a ser um ponto de referência para construtores, fabricantes de materiais para a construção civil e para os usuários, sobre o desempenho do que é oferecido ao mercado e do que o mercado busca. Há ainda, entretanto, muitos pontos a serem melhorados.