



AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO AÉREO DE PAINÉIS CONSTRUTIVOS INDUSTRIALIZADOS

Danielly B. Garcia (1); Marco A. M. Vecci(2)

(1) Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – Unileste MG.

Av. Presidente Tancredo de Almeida Neves, 3500 – Bairro Universitário. Coronel Fabriciano-MG

(31) 3846 7965. e-mail: danielly_garcia2003@yahoo.com.br

(2) Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Contorno, 242, Centro. Belo Horizonte, MG.

(31) 3238 1993. e-mail: vecci@dees.ufmg.br

RESUMO

Este trabalho trata da análise comparativa do isolamento sonoro do ruído aéreo entre painéis de vedação utilizados na construção civil, sendo estes sistemas convencionais ou painéis industrializados. Esta análise passa tanto pelo estudo experimental do isolamento sonoro dos painéis quanto pelo procedimento analítico baseado em revisão bibliográfica, visando expressões que atendam às diferentes tipologias de painéis de vedação. O resultado é a possibilidade de utilização de algumas expressões para prever o isolamento sonoro de painéis de vedação maciços, duplos com camada de ar interna ou sanduíches.

ABSTRACT

This work is about of the comparative analysis of the sound isolation of the aerial noise between insulation panels used in civil construction, being these conventional systems or industrialized panels. This analysis goes by the experimental study of the sound isolation of the panels as for the analytic procedure based on bibliographical revision, seeking expressions that assist to the different typologies of insulation panels. The result is the possibility of use of some expressions to foresee the sound isolation of panels of solid insulation, double with internal layer of air or sandwiches.

1. INTRODUÇÃO

A industrialização de componentes da construção civil e em alguns casos, não só de componentes como procedimentos na construção civil acarreta mudanças de paradigmas qualitativos dos componentes construtivos. Painéis de vedação que possuem, na construção convencional, maior espessura e se constituem de materiais maciços vêm sendo substituídos por painéis de pouca espessura formados de elementos leves, alterando, assim, o desempenho termo-acústico destes painéis e do sistema construtivo como um todo. Normalmente os novos componentes construtivos são baseados em tecnologias de países cujos condicionantes ambientais são diversos dos brasileiros.

Com o objetivo de garantir o desempenho destes componentes compatibilizando-os às condições próprias brasileiras, está sendo gerado um texto base para a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sobre requisitos mínimos a serem atendidos pelos elementos construtivos de edificações habitacionais em até cinco pavimentos (CE-02:136.01).

Em se tratando de componentes de vedação leves, o isolamento sonoro pode ser prejudicado pela falta de massa do sistema de vedação. Tendo em vista esta leveza busca-se, neste trabalho, conhecer os painéis de vedação atualmente utilizados neste sistema e avaliar o isolamento sonoro proporcionado por cada um.

2. DESENVOLVIMENTO

A escolha dos painéis a serem utilizados baseou-se no grau de utilização recente na construção civil e à possível compatibilização em sistemas construtivos de baixo custo. Os elementos de vedação avaliados neste trabalho são: a alvenaria convencional de tijolo cerâmico, bloco de concreto celular autoclavado, painel de PVC+EPS+lã de rocha, painel de concreto com miolo em EPS, painel de EPS e chapa zincada e painel de gesso acartonado.

A análise do desempenho de isolamento sonoro dos painéis é feita em duas etapas: a análise experimental e previsões analíticas. Posteriormente os resultados experimentais e analíticos são contrapostos e analisados quanto ao isolamento dos painéis e quanto a possibilidade de utilização das equações estudadas em painéis tipo.

A análise experimental da perda por transmissão dos painéis divisórios e elementos de fachada como janelas e portas é de suma importância, já que recomendações de isolamento sonoro para os mesmos são baseadas no índice de isolamento sonora (R_w), ou classe de transmissão sonora (STC ou CTS). A determinação destes valores é feita através de procedimento experimental previsto na Norma ISO 140-4/5 e ISO 717 -1. A diferença entre o índice de isolamento sonora (R_w) e a classe de transmissão sonora (STC ou CTS) está na faixa de frequências analisada.

Por outro lado, os ensaios de isolamento sonoro requerem uma condição específica de câmara reverberante, dimensões, equipamentos, no sentido em que o procedimento analítico facilitaria a previsão do isolamento sonoro de novos elementos construtivos. Para isso e para o entendimento do isolamento sonoro, a física do controle do ruído “aéreo” vem sendo extensivamente estudada com relação aos elementos divisórios da edificação, já que existe um esforço em se desenvolver painéis econômicos e leves e que não atendem às clássicas teorias do isolamento sonoro. Estas teorias são aplicadas a paredes de maciças e de espessuras consideráveis, enquanto que os painéis que vêm sendo apresentados no mercado se constituem de materiais porosos ou compostos de múltiplas e diferentes camadas. Nos últimos anos vários autores vêm apresentando expressões que buscam representar a transmissão do som para novas composições de painéis.

2.1 Previsão Analítica.

A previsão do isolamento sonoro através de expressões analíticas vem sendo amplamente estudada em busca de resultados que traduzam a transmissão do som pelos painéis e que se aproximem aos experimentais. Dentre estas expressões, a Lei da Massa é a mais conhecida, apesar de não ser aplicável em todas as frequências de interesse e se aplicar somente a modelos de painéis maciços. Além disso, o surgimento de painéis de vedação compostos de diferentes materiais traz consigo a necessidade de se estabelecer algumas expressões que possam corresponder à perda por transmissão dos elementos divisórios. Em busca destas expressões foi feita uma revisão bibliográfica abrangendo o período de 1970 até os dias de hoje.

Dos trabalhos analisados serão explicitadas expressões para paredes simples, descritas nos trabalhos de GERGES (2000) e CALLISTER (1999), considerando a influência do fenômeno na coincidência. Em seguida, são apresentadas expressões para paredes duplas com uma camada interna de ar, descritas nos trabalhos de GERGES (2000) e FAHY (1998), vantajosas com relação à parede simples, já que com menos massa resulta em melhor desempenho para o isolamento sonoro. Entretanto estes cálculos desconsideram as ligações existentes entre os dois painéis. A análise quantitativa das diversas ligações existentes é possível através da Análise Estatística de Energia (SEA) apresentada por PRICE e CROCKER (1970) e aprofundada no trabalho de CRAIK e SMITH (2000).

A primeira expressão utilizada para analisar os painéis maciços (EQ. 01) é apresentada nos textos de KINSLER (1982), FAHY (1998) e GERGES (2000). Esta expressão é referida como Lei da Massa. Expressões específicas são utilizadas para representar os fenômenos da coincidência e da ressonância.

Entretanto, as expressões relativas à região da ressonância não serão utilizadas, visto que o modelo considerado são placas infinitas. A segunda expressão utilizada é proposta por CALLISTER (1999), onde são adaptadas equações propostas por SEWELL (1970), SHARP (1978) e CREMER (1942). No trabalho desenvolvido por CALLISTER foram estudadas equações para a perda por transmissão em vidros automotivos e procura-se, no presente trabalho, avaliar a possibilidade de uso das expressões utilizadas por CALLISTER para os painéis de vedação estudados neste trabalho. A comparação entre as equações propostas por SEWELL, SHARP e CREMER e resultados experimentais apontam as faixas de frequências em que estas proposições se adequaram melhor.

Entre a região de ressonância e a frequência crítica, o elemento de vedação deve atender a Lei da Massa, descrita pela Eq. 01, onde os parâmetros utilizados são: a frequência (f) em hertz, densidade superficial (m) em kg/m², densidade do ar (ρ₀) em kg/m³ e a velocidade do som no ar (c₀) em m/s.

$$PT = 10 \log \left(\frac{mf\pi}{\rho_0 c_0} \right)^2 \quad [\text{Eq. 01}]$$

De acordo com LJUNGGREN (1991), abaixo da frequência de coincidência o número de onda incidente k é menor que o número de onda de flexão no painel (kf) (Eq. 02). Existe a predominância de ondas forçadas. À medida que aumenta a frequência o número de onda incidente se aproxima do número de onda de flexão do painel. Quando a velocidade do som no meio incidente (ar) se iguala com a velocidade de propagação no painel – frequência crítica – a predominância passa a ser de ondas livres e existem, a partir daí, um ângulo de coincidência para cada frequência. A equação (Eq. 03) que descreve a perda por transmissão na frequência crítica é dependente do ângulo da coincidência. (GERGES, 2000).

$$k_f^4 = \frac{f^2 m}{2\pi D} \quad [\text{Eq. 02}]$$

$$PT = 10 \log \left(1 + \frac{mf\eta}{4\pi\rho c \sec\phi} \right)^2 \quad [\text{Eq. 03}]$$

Onde m é a densidade superficial do elemento, f o valor da frequência de coincidência, η o valor do amortecimento do material. Acima da frequência crítica GERGES (2000), recomenda a seguinte equação:

$$PT = 10 \log \left[1 + \left(\frac{Dk_f^4 \cos^4 \phi \sen \phi}{4\pi c \rho f} \right)^2 \right] \quad [\text{Eq. 04}]$$

Onde D é a rigidez da placa à flexão em kg/m², que é calculada pela Eq. 05, kf, o número de onda de flexão livre, adimensional, obtido pela Eq. 02, e φ o ângulo da coincidência em radianos. O ângulo de coincidência é determinante na perda por transmissão. À medida que o ângulo se aproxima de 90° a perda por transmissão aumenta.

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad [\text{Eq. 05}]$$

E representa o módulo de elasticidade do material em kg/m², h, a espessura do painel em metros e ν o coeficiente de Poisson.

CALLISTER (1999), analisou equações utilizadas por CREMER (1942), SHARP (1978) e SEWELL (1970), identificando os intervalos de frequência que melhor se adaptam.

Em frequências abaixo da metade da frequência de coincidência, SEWELL (1970) descreve uma expressão que, segundo CALLISTER, se aproxima mais dos resultados experimentais que a Lei das

Massas (Eq. 06). Para o modelo de SEWELL é considerada a transmissão forçada, onde $kf > k$ (o número de onda de flexão do painel é maior que o da onda incidente).

$$PT = -10 \log \left\{ \frac{\left[\ln(k\sqrt{A}) + 0,16 - U(\Lambda) + 1 / (4\pi A k_0^2) \right]}{((m\pi) / \rho_0 c_0) (1 - f^2 / f_c^2)} \right\} \quad [\text{Eq. 06}]$$

A é a área da superfície da placa em m^2 , $U(\Lambda)$ é um fator de correção de forma, utilizado quando as placas não forem quadradas. Este termo pode ser calculado pela Eq.07. É interessante observar que a equação proposta por SEWELL considera as dimensões e a geometria do painel, o que não é contemplado nas outras expressões aqui apresentadas.

$$U(\Lambda) = -0,0000311\Lambda^5 + 0,000941\Lambda^4 - 0,0107\Lambda^3 + 0,0526\Lambda^2 - 0,0407\Lambda - 0,0534 \quad [\text{Eq. 07}]$$

Entre a metade da frequência crítica e esta frequência, utiliza-se a interpolação linear entre a lei das massas e a equação proposta por CREMER, para campo difuso (Eq.08). Este modelo é proposto para frequências acima da frequência crítica.

$$PT = 20 \log \left(\frac{\mu\pi f}{\rho_0 c_0} \right) + 10 \log \left(\frac{2\eta f}{f_c} \right) + 10 \log \eta - 2 \quad [\text{Eq. 08}]$$

Assim, será apresentado, a seguir, o resultado da perda por transmissão dos painéis tratados neste trabalho, bem como a análise comparativa deste resultado com os resultados experimentais. Para isso é necessário identificar o tipo de campo de sonoro no painel. De acordo com FAHY (1998), abaixo da frequência crítica, as expressões apresentadas para a perda por transmissão para a incidência oblíqua devem ser ajustadas conforme a expressão a seguir.

$$PT_{(\phi)} = PT + 20 \log(\cos\phi) \quad [\text{Eq. 09}]$$

Onde ϕ é o ângulo de incidência, que deve ser diferente de 90° . A partir da relação da Eq. 09, observa-se que as equações apresentadas por GERGES e CALLISTER foram desenvolvidas considerando a incidência normal (0°).

Quando o campo sonoro é formado pela reflexão das ondas sonora por várias superfícies, o campo se aproxima do difuso e as ondas se propagam em todas as direções em probabilidades iguais. Para este caso a perda por transmissão é descrita pela Eq. 10.

$$PT_d = PT - 10 \log(0,23PT) \quad [\text{Eq. 10}]$$

Entretanto, a partir de resultados comparativos já realizados e apresentados na literatura definiu-se o tipo de incidência de campo que é descrito pela Eq.11.

$$PT_d = PT - 5 \quad [\text{Eq. 11}]$$

Para a comparação dos resultados será utilizada a Eq. 11, que identifica a incidência de campo.

Em painéis duplos a forma construtiva ou a montagem dos painéis constantemente deixa flancos que diminuem sua capacidade isolante. Além disso as tramas estruturais devem ser consideradas no isolamento, já que são meios diferenciados de transmissão do som (Fig. 01). Na previsão analítica devem existir formas de expressar estas ligações. CRAIK (2000) realizou um estudo sobre a perda por transmissão em paredes duplas compostas por materiais leves, onde aponta a importância de observar as ligações existentes entre as placas constituintes e a variação da perda por transmissão. Assim como as paredes simples o modelo varia em faixas de frequências. Nas baixas frequências o painel pode ser modelado como um subsistema simples, enquanto que nas altas frequências deve subdividir em vários subsistemas interconectados.

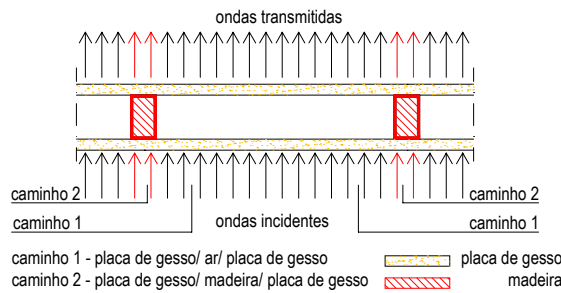


Figura 01 – Meios de propagação do som em painéis duplos.

A camada interna de ar entre duas placas finas gera uma ressonância massa-ar-massa que enfraquece o isolamento sendo este menor que o correspondente à soma do isolamento de cada placa. Esta frequência pode ser conhecida pela Eq. 12.

$$f_{mam} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{d} \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} \right)} \quad [\text{Eq. 12}]$$

As equações utilizadas para painéis duplos são apresentadas por GERGES (2000), e são diferenciadas por faixas de frequência.

- Para $f > c/2\pi d$

$$PT = PT_1 + PT_2 + 6,0 \quad [\text{Eq. 13}]$$

- Para $f_{mam} < f < c/2\pi d$

$$PT = PT_1 + PT_2 + 20 \log 2kd \quad [\text{Eq. 14}]$$

Onde d é a distância entre os painéis, k é número de onda.

- Para $\rho c/\pi(m_1+m_2) \ll f < f_{mam}$

$$PT = 20 \log(m_1 + m_2) f - 47,4 \quad [\text{Eq. 15}]$$

Entretanto estes cálculos desconsideram as ligações existentes entre os dois painéis. A análise numérica das diversas ligações existentes é possível através da Análise Estatística de Energia (SEA) apresentada por PRICE e CROCKER (1970) e aprofundada no trabalho de CRAIK e SMITH (2000).

De acordo com MOORE (1991) para o estudo de painéis sanduíches, devem ser observadas a espessura das camadas externas do painel e a ortotropia ou isotropia dos materiais componentes.

A propagação das ondas nestes painéis pode ocorrer na forma simétrica e antissimétrica. Se as placas das faces forem idênticas e o material do miolo isotrópico, então os modos simétricos e antissimétricos de propagação são desacoplados.

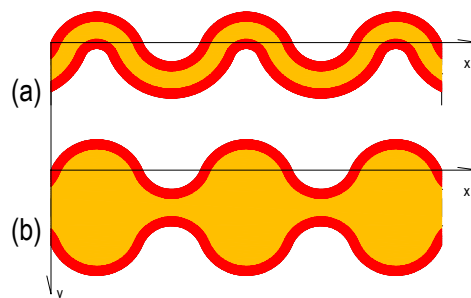


Figura 02 – (a) propagação antissimétrica; (b) propagação simétrica

Estas formas de propagação provocam surgimento de tensões de flexão, tensões normais de deformação do plano nas placas das faces e tensões de cisalhamento, devido à interface das camadas externas e o miolo do painel. No núcleo do painel ocorrerá dilatação, compressão e cisalhamento. Devido a estas condições, as velocidades das ondas mecânicas são dilatacionais e de cisalhamento no material podem ser expressas no trabalho de MOORE, que vão gerar expressões complexas para a previsão do isolamento sonoro destes painéis.

2.2 Análise Experimental

Para determinação das perdas por transmissão de alguns painéis divisórios foram realizados ensaios em câmaras isoladas acusticamente em todas as superfícies, exceto na superfície do material ensaiado. Os procedimentos seguiram a Norma ISO 140/V “Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades” e a Norma ISO 354 “Measurement of sound absorption in a reverberation room”.

Os equipamentos utilizados durante as medições foram: Analisador de Frequências em Tempo Real, marca Hewlett Packard, modelo HP3569A, número de série 3442A00433; microfone de pressão marca ACO Pacific, modelo ACOJ701XX, número de série 19991; pré-amplificador marca ACO PACIFIC, modelo ACOP 4012XX, número de série 9-701-8. Esses equipamentos são classificados como do tipo 0 (zero), conforme padrões estabelecidos pela norma ANSI S1.42-1986, com erros máximos de leitura de 0,7 dB na faixa de 1/3 de oitava centradas entre 100 Hz e 4000 Hz. Também foi utilizado um calibrador de nível de pressão sonora marca CIRRUS, modelo CRL 511E, tipo 1L, em conformidade com classificação IEC 942/1988.

Devido à indisponibilidade de duas câmaras reverberantes adjacentes, os ensaios foram realizados em duas câmaras de dimensões diferentes. Os resultados de ensaios destas câmaras foram comparados a resultados em câmaras reverberantes duplas e os resultados foram compatíveis. O bloco de concreto celular autoclavado foi ensaiado na Câmara 1 e o painel de chapa zincada com miolo em EPS, bem como o painel de concreto com miolo em EPS foram ensaiados na Câmara 2 (Fig.03 e 04).

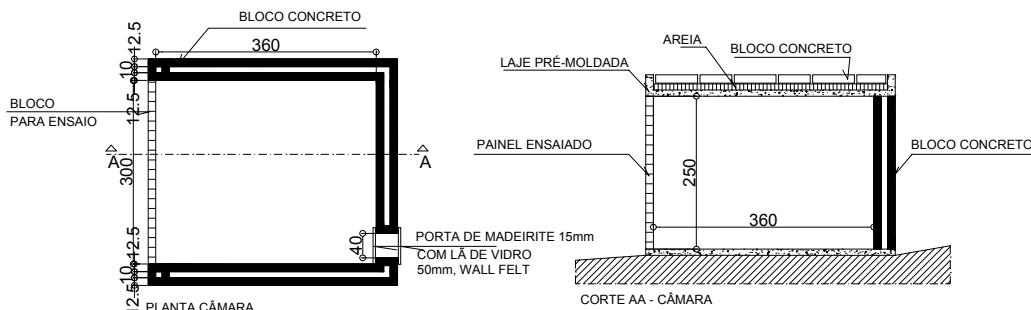


Figura 03 – Câmara de Ensaio 01

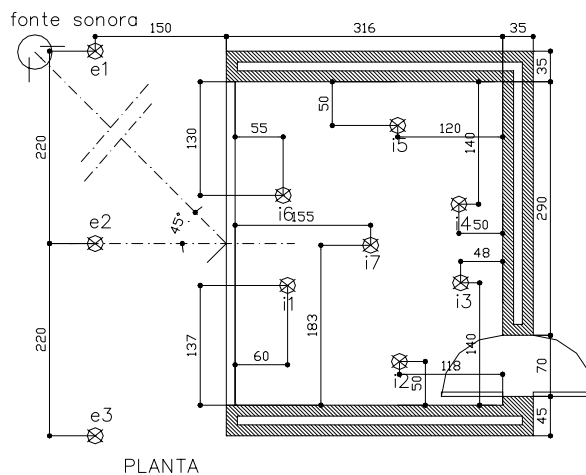


Figura 04 – Câmara de Ensaio 02

2.3 Comparação entre Resultados Experimentais e Modelos Analíticos

Dos painéis estudados o bloco de concreto celular autoclavado é modelado através das equações de paredes simples propostas por GERGES e CALLISTER. O painel de concreto com miolo de EPS, painel de PVC, lã de rocha e EPS e o painel de chapa zincada e EPS, são modelados como painéis sanduíches, seguindo o modelo de MOORE. Por último, o painel de gesso acartonado segue o modelo de painéis duplos, combinando as equações para paredes simples de GERGES e de CALLISTER com a de paredes duplas de GERGES.

As características utilizadas para o procedimento numérico foram: módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, amortecimento mecânico, densidade superficial e a geometria dos painéis. A partir destas, outras propriedades foram calculadas, como as frequências fundamentais, a frequência crítica e a rigidez a flexão.

O bloco de concreto celular autoclavado com espessura de 12,5cm foi analisado conforme as equações de CALLISTER e GERGES de onde se obteve o seguinte espectro sonoro comparativo.

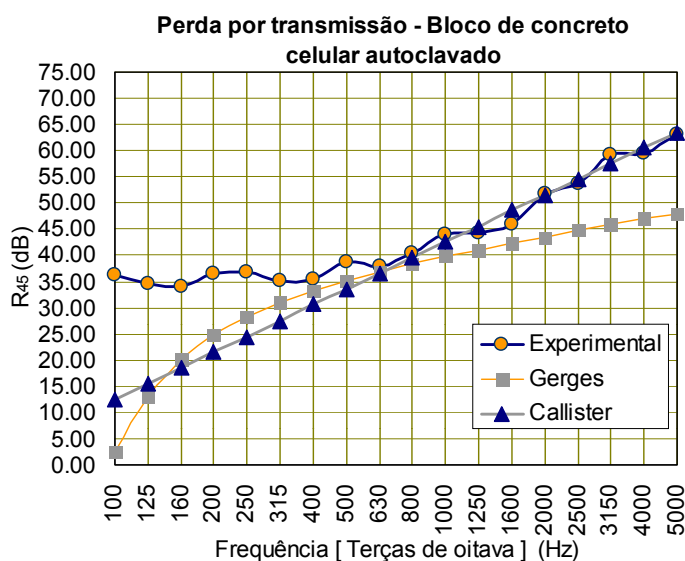


Figura 05 – Resultado da perda por transmissão da vedação constituída de blocos de concreto celular autoclavado.

Observa-se no gráfico apresentado na Fig. 05 uma aproximação maior entre as expressões propostas por CALLISTER e o procedimento experimental nas frequências acima de 500Hz. Abaixo desta frequência as equações propostas por GERGES e CALLISTER apresentam resultados compatíveis entre si, mas que não se aproximam do experimental, estando estes abaixo dos experimentais. O fato de apresentar a frequência crítica baixa (84Hz) faz com que as equações utilizadas sejam a de CREMER, proposta no trabalho de CALLISTER (EQ.2.22) e a equação proposta por GERGES acima da coincidência onde a rigidez à flexão e os ângulos de coincidência possuem maior influência que a densidade superficial. O espectro sonoro do procedimento experimental não apresenta um ponto de queda da perda por transmissão que se destaque, já que existe mais de um momento em que isso ocorre – 160, 400, 630 Hz –, ao ponto que a redução da perda por transmissão a 630Hz precede um aumento da mesma nas frequências acima desta, sugerindo que esta seja a frequência crítica. Outra observação que pode indicar este valor da frequência crítica (630Hz) como o real, é que a partir desta o espectro sonoro proveniente das equações de CALLISTER se aproxima muito do experimental. A equação utilizada é a sugerida por este autor para frequências acima da frequência crítica, o que indica que a partir desta frequência o bloco de concreto celular autoclavado se comporta como se estivesse realmente acima da frequência crítica.

A perda por transmissão do painel composto de PVC+EPS+Lã de Rocha foi calculada a partir das equações de MOORE e o espectro sonoro resultante da comparação entre os procedimento é apresentado na Fig. 08 abaixo.

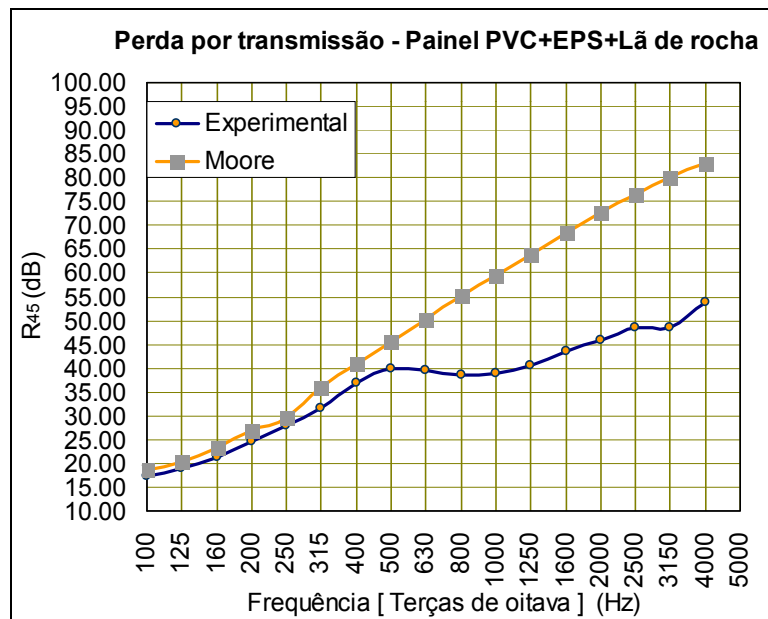


Figura 06 – Resultado da perda por transmissão do painel constituído de PVC+EPS+Lã de rocha.

Pode-se observar, a partir do gráfico acima que uma aproximação entre o modelo experimental e o analítico nas baixas frequências até os 500Hz. A partir desta frequência o resultado do procedimento analítico possui uma diferença muito grande com o experimental. A perda por transmissão resultante do procedimento analítico é superior ao resultado experimental nas altas frequências. As simplificações feitas para o cálculo a partir da equação de MOORE, pode ser um dos motivos da discrepância existente entre os resultados das perdas por transmissão.

Outro painel sanduíche aqui apresentado é o painel de concreto com miolo de EPS. Este elemento divisório apresenta as três camadas componentes de espessuras iguais. As expressões analíticas para painéis sanduíches parte do pressuposto que as placas das faces externas são menos espessas se comparadas com o núcleo. Tendo em vista a dificuldade de se encontrar expressões analíticas para este tipo de painel foi utilizado o mesmo modelo de MOORE e analisado o comportamento da mesma placa caso fosse composta apenas de uma camada de 6cm de concreto, a partir das equações utilizadas para paredes simples.

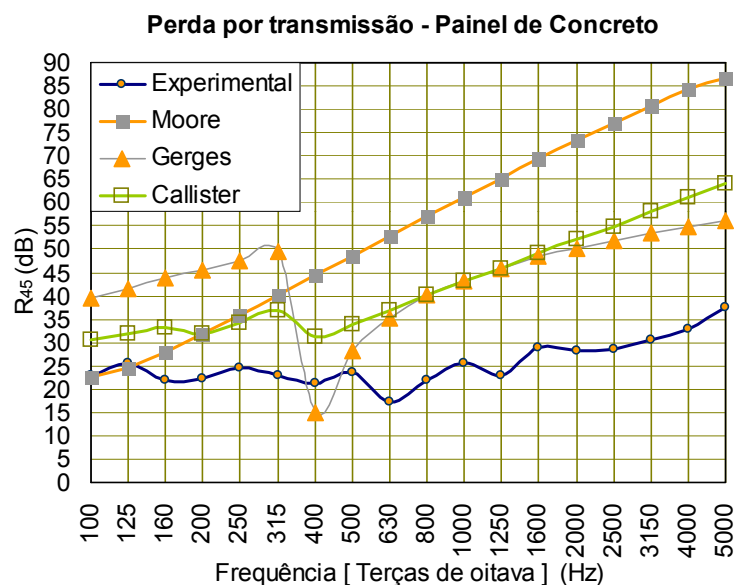


Figura 07 – Resultado comparativo da perda por transmissão do painel concreto+EPS

O resultado desta simulação, apresentado no gráfico da FIG. 07, indica que existe uma discrepância entre a solução analítica de MOORE (painel sanduíche) e o resultado experimental. Mais uma vez a perda por transmissão resultante da equação de MOORE e do resultado experimental, apenas se aproximaram nas baixas frequências. Neste caso esta aproximação ocorreu nas frequências de 100 e 125Hz e acima destas frequências houve uma diferença muito maior entre os resultados da perda por transmissão. Avaliando os resultados das expressões analíticas para paredes simples, sugerindo um painel maciço de concreto, era de se esperar que o resultado numérico fosse superior ao experimental. Entretanto pode-se observar que a variação da perda por transmissão com o aumento da frequência correspondeu ao resultado experimental. A queda na perda por transmissão, que nas equações de CALLISTER e GERGES ficou próxima de 400Hz, no resultado experimental é possível observar uma queda próxima de 630Hz. Pode-se dizer que para este modelo de painel divisório a comparação dos resultados não foi satisfatória.

Para finalizar, o painel composto de EPS e revestido de chapa zincada também foi avaliado através da equação para painéis sanduíches e das equações para painéis simples. Neste caso o núcleo do painel, constituído de EPS, corresponde a maior parcela da espessura do sistema e as chapas de aço zincado possuem 0,50mm de espessura. Tendo em vista esta diferença propõe-se considerar o painel como uma camada simples.

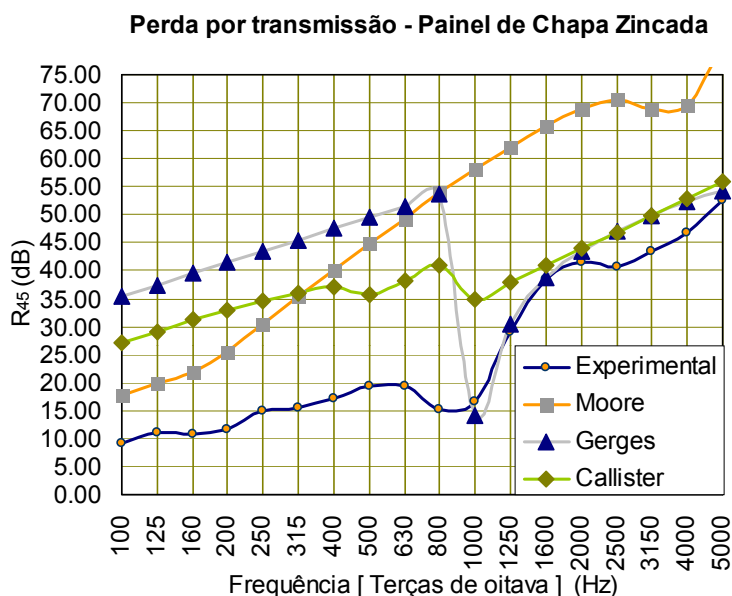


Figura 08 – Resultado comparativo da perda por transmissão do painel de EPS revestido de chapa zincada

O resultado deste gráfico não identifica nenhuma das curvas como a que seja mais adequada a este modelo de elemento divisório. Porém, pode-se perceber que existe uma aproximação entre a frequência dita “crítica” expressa nas equações de CALLISTER e GERGES e uma queda existente na perda por transmissão medida experimentalmente. Abaixo da frequência crítica o modelo de painel sanduíche se aproxima mais do experimental, mas existe ainda uma diferença na perda por transmissão. Acima da frequência crítica os modelos de paredes simples se aproximam bastante do experimental.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para painéis simples e duplos espaçados com uma camada de ar interna foi possível observar uma boa concordância entre as expressões analíticas e propostas por CALLISTER e GERGES e os resultados experimentais. Entretanto, para painéis sanduíche os resultados experimentais não se aproximam satisfatoriamente das expressões analíticas disponíveis na literatura pesquisada durante o desenvolvimento deste trabalho.

Sendo assim, sugere-se que sejam investigados outros modelos de predição de perda por transmissão em painéis sanduíches, visto que esta tipologia construtiva vêm sendo frequentemente utilizada na construção civil.

As aproximações entre resultados experimentais e analíticos mostram que as expressões não podem ser utilizadas como únicos indicativos da perda por transmissão destes elementos, tornando-se necessário o procedimento “in situ” para determinar o isolamento sonoro do sistema construtivo. Mesmo os resultados experimentais devem ser questionados, já que a construção do elemento ensaiado junto à edificação pode mudar completamente a condição de isolamento sonoro deste elemento. Para garantir com confiabilidade qual o isolamento sonoro que o elemento construtivo desempenha junto a uma montagem específica é realmente necessário ensaiar as condições construtivas de montagem e interações entre o elemento em questão e os elementos adjacentes como janelas, portas e estrutura, por exemplo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Norma CB 02: 136.01.001. Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos gerais. (2004).

CALLISTER, J.R; GEORGE, A.R.; FREEMAN, G. E. An empirical scheme to predict the sound transmission of single thickness panels. *Journal of Sound and Vibration*. n. 222(1), p. 145-151, 1999.

CRAIK, R. J. M. *Sound transmission through buildings using statistical energy analysis*. Ed. Gower: Hampshire. 1996. 261 p.

CREMER, L. *Theorie de Schalldämmung dünner Wände bei schrägem Einfall*. *Akust. Z.* 81-102. 1942

FAHY, Frank; WALKER, John. *Fundamentals of noise and vibration*. Londres: E&FN Spon.1998. 518p.

GERGES, Samir, N.Y. *Ruído: fundamentos e controle*. NR Editora: Florianópolis. 2000. 600p.

KINSLER, Lawrence E.; FREY, Austin R.; COPPENS, Allan B.; SANDERS, James V. *Fundamental of Acoustics*. John Wiley & Sons: Nova York, 1982. 480p.

LJUNGGREN, Sten. Airborne sound insulation in thin walls. *Journal of Acoustical Society of America*. n. 89 (5), p.2324-2337, mai, 1991.

MOORE, J.A., LYON, R.H. Sound transmission loss characteristics of sandwich panel construction. *Journal of Acoustics Society of America*. n. 89 (2), p. 777-791. fev. 1991.

PRICE, A. J.; CROCKER, M.J. Sound Transmission through double panels using statistical energy analysis. *Journal of Acoustical Society of America*. V. 47, n. 3 (parte 1), p. 684-693. 1970.

SEWELL, E. C. Transmission of sound transmission through a single-leaf partition surrounded by an infinite rigid baffle. *Journal of Sound and Vibration* n.12, p. 21-32. 1970.

SHARP, B. H. Prediction methods for the sound transmission of building elements. *Noise Control Engineering*. n. 11, p. 53-73, 1978.