

ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DOS MEIOS DE TRANSMISSÃO NOS NÍVEIS DE RUÍDO ORIUNDOS DE IMPACTOS EM APARTAMENTO RESIDENCIAIS

Nunes, M. A. A.

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica Uberlândia – MG
CEP 38400-902
mariaalziranyunes@yahoo.com.br

Duarte, M. A. V.

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica Uberlândia – MG
CEP 38400-902
mvduarte@mecanica.ufu.br

Ong, T. H.

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica Uberlândia – MG
CEP 38400-902
tiong@mecanica.ufu.br

Resumo: *Um dos grandes problemas da sociedade moderna diz respeito ao efeito maléfico do ruído sobre o sono. O ruído aumenta a duração dos estágios superficiais do sono (quase inúteis), reduzindo o tempo total dos estágios necessários e essenciais para a saúde humana. Um dos maiores índices de reclamações devido a transmissão de ruído através de lajes advém do ruído do tipo impulsivo, resultante do caminhar, ou queda de objetos, sobre as lajes, principalmente no período noturno. O conceito de “lajes zero” na construção civil implica em lajes finas e com propriedades acústicas sofríveis vindo na contramão do grau de exigência de conforto acústico que prevê um CTSA (Classe de Transmissão de Som Aéreo e Classe de Transmissão de Som de Impacto) de pelo menos 50 para pisos entre unidades superpostas. Em função das diversas possibilidades de plantas existentes seria interessante para o arquiteto e o calculista preverem os níveis de ruído impulsivos transmitidos entre lajes para fins de estudo das melhores soluções acústicas. Para o desenvolvimento destes estudos é necessário identificar a influência que os diversos caminhos de transmissão têm sobre o nível de ruído impulsivo medido dentro de um apartamento residencial. Estuda-se neste trabalho as diversas formas e meios de propagação do ruído de impacto em um apartamento residencial. A metodologia utilizada consiste em medições de tempos de reverberação, níveis de pressão sonora e níveis de vibrações em um apartamento classe média padrão, oriundos de uma excitação impulsiva em um ponto pré-determinado na laje superior, durante as diversas fases de sua construção. Desta maneira foi possível quantificar a percentagem dos níveis de ruído impulsivo medidos no apartamento inferior oriundos das vibrações da laje, laje/piso de regularização, laje/piso de regularização/cerâmica, vibrações das paredes, vibrações do piso inferior induzidas por vibrações das colunas e ruído aéreo (via janelas). Os*

resultados mostraram-se um bom indicativo para a otimização do problema vibroacústico em lajes prediais.

Palavras - chave: lajes, apartamentos, ruídos, vibrações, impacto.

1. INTRODUÇÃO:

O modelo de urbanização nas grandes cidades, em diversos países, tende à verticalização por diversas razões. No Brasil, principalmente em anos recentes, mora-se e trabalha-se cada vez mais em edifícios multi-pavimentos, por questões que vão desde segurança e dificuldade de transporte, até a centralização da economia em regiões específicas, gerando com isso, uma alta densidade demográfica nestas áreas. Mudar de uma construção isolada para um prédio, em que a unidade ocupada separasse de outras unidades contíguas apenas por parede, teto e piso, implica em uma série de cuidados, para possibilitar uma convivência tranquila e sem conflitos. Alguns desses cuidados são de natureza comportamental, envolvendo essencialmente atitudes respeitadas para com os direitos dos vizinhos. Outros porém, são prévios e da alçada exclusiva de projetistas e construtoras dos tais edifícios.

Nesta última categoria, situam-se as questões das isolações dos pisos aos ruídos de impacto. São questões de responsabilidade técnica, envolvendo a observância de, pelo menos, índices mínimos de desempenho acústico desses pisos, sem o que, não adiantarão nem mesmo as mencionadas atitudes respeitadas dos usuários. Se, por exemplo, o caminhar normal de pessoas no pavimento superior vaza pelo piso de uma unidade qualquer, o problema não é comportamental, mas técnico.

A história da construção civil apresenta um panorama de grandes avanços tecnológicos nas construções edificadas pelos diversos povos e culturas, nas várias regiões do mundo. No entanto, devido à busca contínua por materiais mais leves e baratos, essas inovações tecnológicas contrapõem-se a uma constante e regressiva eficiência no isolamento acústico dos componentes da edificação. Por outro lado, a construção civil contemporânea convive com uma gama de novos equipamentos, os quais oferecem conforto e praticidade ao cotidiano do homem do século XXI. Porém, há algumas consequências indesejáveis nas variadas descobertas incorporadas ao cotidiano dos indivíduos. Entre essas consequências está o aumento da poluição sonora, fator às vezes não considerado por muitos, mas que provoca efeitos prejudiciais à saúde do homem.

Também, ao longo do tempo, à medida que as construções foram ficando mais permeáveis à transmissão sonora, o nível do ruído ambiental crescia de forma exponencial. Acontecendo assim a fragilização da arquitetura em termos de isolamento sonoro e o simultâneo crescimento do ruído urbano (Duarte, 2003).

As empresas de construção, como é natural, tentam reduzir seus custos para serem competitivas. Neste avanço tecnológico, muitas vezes, o conforto acústico dos futuros moradores não é levado em conta, consequentemente, são lançados no mercado imóveis que não têm o isolamento acústico esperado e usual. Mesmo não existindo especificações mínimas de isolamento, as pessoas têm o referencial de apartamentos mais antigos, que diante da falta de tecnologia, naturalmente as lajes e paredes eram mais espessas e que, por consequência, tinham um melhor isolamento. Na modernidade, com a utilização de materiais mais resistentes mecanicamente e o aperfeiçoamento das técnicas construtivas, um objetivo claro das empresas foi o de reduzir custos, diminuindo espessuras de lajes e paredes consequentemente, diminuindo o peso e aumentando área útil no imóvel. Como não existem normas técnica a respeito, o desempenho acústico, muitas vezes, não foi levado em consideração. Consequentemente, foram construídos imóveis que:

- a. Não protegem adequadamente o morador da interferência de ruídos externos normais.
- b. Não permitem o uso sem ferir a legítima expectativa do usuário de poder usufruir do seu bem, de forma normal, sem provocar dano a ninguém pela extrapolação dos limites sonoros, consequentemente prejudicando o sossego e a saúde dos vizinhos.

Segundo Prestes, 2003, as principais situações já verificadas devido a problemas de isolamento inadequado em edificações são:

- a. Imóveis construídos com o chamado “contrapiso zero”, isto é, quando o piso é colado diretamente na laje concreto de 8 cm.
- b. Imóveis construídos com lajes pré-moldadas.

- c. Imóveis com paredes finas que não isolam o suficiente.
- d. Imóveis com poços de ventilação entre banheiros que permitem ouvir até o chuveiro do vizinho.

Às vezes, um morador acusa o vizinho do andar de cima sem saber que o barulho chega de andares mais altos pela estrutura do prédio. Queixa comum nos edifícios, como o toque-toque de passos e os pulos das crianças, são sons de impacto que fazem a laje vibrar e, em seguida, descem pelas paredes. De todos os tipos de ruídos, esse é o mais difícil de ser atenuado. O rebaixamento do teto do apartamento do andar afetado, aliado à colocação de materiais absorventes, como mantas de lã de vidro ou rocha, podem reduzir em 40% o barulho, o que nem sempre satisfaz pessoas muito sensíveis a esse tipo de problema (Baring, 2000).

Impactos quaisquer em quaisquer superfícies rígidas produzem vibrações que geram ruídos perceptíveis ao ouvido humano a partir da frequência de 20 Hz (baixa frequência).

O processo vibratório de uma laje de concreto armado promove transferência de vibrações para os apoios. Esses apoios, uma vez conectados às paredes do pavimento imediatamente inferior, induzem-nas à vibrarem, tornando-se fontes secundárias de ruídos.

O ruído de impacto normalizado para testes é de 80 dB. No entanto, apenas em casos esporádicos (quedas de objetos pesados p. ex.) se atinge tal patamar. Pequenos impactos evidenciam produções de ruídos da ordem de 60 dB (toque-toque do sapato p. ex.). A sonoridade de tais impactos ocasionados no local contíguo dependerá da construção do piso e, especialmente, de sua superfície. O melhor é agir diretamente nela; usar superfícies macias que possam absorver o impacto: tapetes, placas de borracha ou cortiça. Como tais acabamentos não são sempre possíveis ou suficientes, às vezes é necessário tratar a própria construção do piso: uma separação estrita e hermética entre as superfícies do piso e do teto imediatamente inferior, através de estruturas independentes ou, o que é mais comum, com o chamado piso flutuante. Este consiste em uma laje de concreto (ou um piso de tábuas de madeira) apoiada numa capa de material flexível – lã de vidro, isopor, borracha, etc. – que por sua vez se apoia na laje estrutural. O importante é que em nenhum momento se estabeleça uma comunicação direta entre o piso e o forro inferior; inclusive na junção com a parede, o piso estará separado desta pelo material flexível por baixo do rodapé. Um laje flutuante de concreto deve ter pelo menos 40mm de espessura e apoiar-se sobre uma capa de material flexível, que inclusive tornará os bordos da laje, a fim de preservar o isolamento do sistema estrutural. As lajes flutuantes de concreto não podem ser utilizadas em locais de mais de 15 m², ou de comprimento de mais de 5m, devido às possíveis deformações na secagem o material. No entanto, o forro suspenso pode aumentar consideravelmente o isolamento de um piso a respeito dos ruídos aéreos, porém, geralmente, não acrescenta isolamento aos ruídos de impacto.

Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho é quantificar os níveis de ruído impulsivo, oriundos das vibrações da laje, paredes, vigas e colunas nas diversas fases de construção de um apartamento para melhor planejamento de isolamento acústico em um edifício multi-pavimentos.

2. METODOLOGIA:

A metodologia proposta consiste em avaliar o Nível de Pressão Sonora (NPS), o Nível de Potência Sonora (NWS) e as vibrações (NV) oriundas da laje(teto/piso), paredes, colunas e vigas devido a excitações impulsivas no pavimento superior..

Para obtenção das acelerações (rms) em toda a estrutura do apartamento (laje, parede, etc.), aplicou-se uma força de impacto em um ponto fixo da laje (piso do apartamento superior ao analisado) e mediu-se as vibrações resultantes, utilizando 4 acelerômetros distribuídos de forma aleatória, repetindo-se o procedimento de forma a cobrir toda a área estudada. Juntamente com a obtenção das acelerações, mediu-se os Níveis de Pressão Sonora utilizando um microfone que mudava de posição em cada ensaio. Os dados foram adquiridos utilizando uma placa de aquisição de 8 canais conectada a um note-book, onde neste se encontra um software de aquisição de dados e armazenamento dos sinais.

Os sensores de medição foram conectados aos condicionadores de sinais, sendo que toda a instrumentação foi calibrada previamente. As medições foram realizadas com tempos de aquisição de 20 segundos e frequência de aquisição de 8192 Hz. Um conjunto de medição completa, consistiu de aproximadamente 40 ensaios em pontos de medições aleatórios para cada estrutura (parede, teto, etc.).

As medições foram realizadas em 6 etapas distintas de construção do apartamento:

1. Apartamento somente com laje (teto e piso) sem paredes.
2. Apartamento com paredes porém sem expansor (elemento que faz a ligação das paredes com as vigas e colunas).
3. Apartamento com paredes e expansores.
4. Apartamento rebocado e com contra-piso (regularização).
5. Apartamento completo com cerâmica no piso e paredes pintadas .
6. Apartamento completo (idem ao item anterior) porém com gesso no teto (neste mediu-se apenas Pressão Sonora) .

Na primeira fase calculou-se os tempos de reverberação, utilizando-se 15 pontos de medições de níveis de pressão sonora e uma fonte do tipo ruído branco.

Após aquisição dos dados, utilizaram-se rotinas desenvolvidas em ambiente Matlab 6.0 para processamento e análise dos mesmos.

As rotinas utilizadas consistiram de integradores, filtros de 1/3 de oitava e rotinas para estimativa de tempos de reverberação.

A partir dos valores de aceleração, utilizou-se um integrador 'fast' (35 ms) para obtenção dos valores picos de velocidades (rms) para cada banda de 1/3 de oitava analisada. Para cálculo do Nível de Pressão Sonora (dB(impulso)), utiliza-se a mesma metodologia utilizada no cálculo da velocidade(rms), ou seja, integra-se a pressão sonora em um período de 35 ms simulando a altura subjetiva do ruído impulsivo.

Após o cálculo da velocidade média e o NPS médio para cada etapa de medição, calculou-se o nível de potência sonora (NWS) irradiada pela laje, paredes, vigas, etc. Para cálculo do NWS utilizou-se a Eq. (1).

$$NWS = Spc < \bar{V}^2 > \sigma_{rad} \quad (1)$$

Onde: NWS é o Nível de Potência Sonora irradiada pela laje [dB].

S é a área total da superfície da estrutura [m²].

ρ é a densidade do meio [Kg/m³].

c é a velocidade do som [m/s].

$< \bar{V}^2 >$ é a velocidade média quadrática das vibrações da estrutura em espaço e tempo [m/s].

σ_{rad} é a eficiência de radiação.

Em função dos estudos envolvendo eficiência de radiação na primeira fase do trabalho, optou-se por utilizar o modelo de eficiência de radiação teórico desenvolvido por Beranek (1988), mostrado a seguir:

Para $f < f_c$, a eficiência de radiação é dada pela Eq. (2) :

$$s_{rad} = \frac{2I_c}{S} \left[g_1(\mathbf{b}) + \frac{P}{2I_c} g_2(\mathbf{b}) \right] C_1 \quad (2)$$

Onde: f_c é a frequência crítica , dada pela Eq. (3) :

$$f_c = \left(\frac{c_0^2}{2p} \right) \left(\frac{r_m h}{B} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Sendo: c_0 a velocidade do som no ar = 343 m/s

r_m a densidade do material da placa em Kg/m³

h a espessura do material da placa em m

B é rigidez de flexão da placa dada pela Eq. (4) :

$$B = \frac{Eh^3}{[12(1-\nu^2)]} \quad (4)$$

Onde: E é o módulo de Young (N/m²)

ν é a razão de Poisson.

l_c é o comprimento de onda dada pela Eq. (5) :

$$l_c = \frac{c_0}{f_c} \quad (5)$$

O termo g_1 é expresso pela Eq. (6) e Eq. (7):

$$g_1(\beta) = \left(\frac{4}{\pi^4} \right) \left[\frac{(1-2\beta^2)}{\beta(1-\beta^2)^{\frac{1}{2}}} \right] \quad \text{para } f < 0,5f_c \quad (6)$$

$$g_1(\beta) = 0, \quad \text{para } f > 0,5f_c \quad (7)$$

O termo g_2 é dado pela Eq. (8):

$$g_2(b) = \left(\frac{1}{4p^2} \right) \frac{(1-b^2) \ln \left[\frac{(1+b)}{(1-b)} \right] + 2b}{(1-b^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (8)$$

$$\text{Onde: } b = \left(\frac{f}{f_c} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

No entanto, para placas com bordas apoiadas, como é o caso deste trabalho, o termo C_1 é dado pela Eq. (10):

$$C_1 = b^2 e^{\left(\frac{10l_c}{P} \right)} \quad (10)$$

Já para $f=f_c$, a eficiência de radiação é dada pela Eq. (11):

$$s_{rad} = 0,45 \left(\frac{P}{I_c} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{L_{min}}{L_{max}} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (11)$$

E para $f > f_c$, a eficiência de radiação é dada pela Eq.(12):

$$s_{rad} = \left(1 - \frac{f_c}{f} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (12)$$

3. RESULTADOS E ANÁLISES:

Na Fig.(1) é mostrado os níveis médios de velocidade de vibrações das estruturas, onde estes níveis já estão multiplicados pela área correspondente, para as diferentes etapas de construção. Todas as curvas mostradas neste trabalho estão plotadas em bandas de 1/3 de oitava de 20 a 4000 Hz.

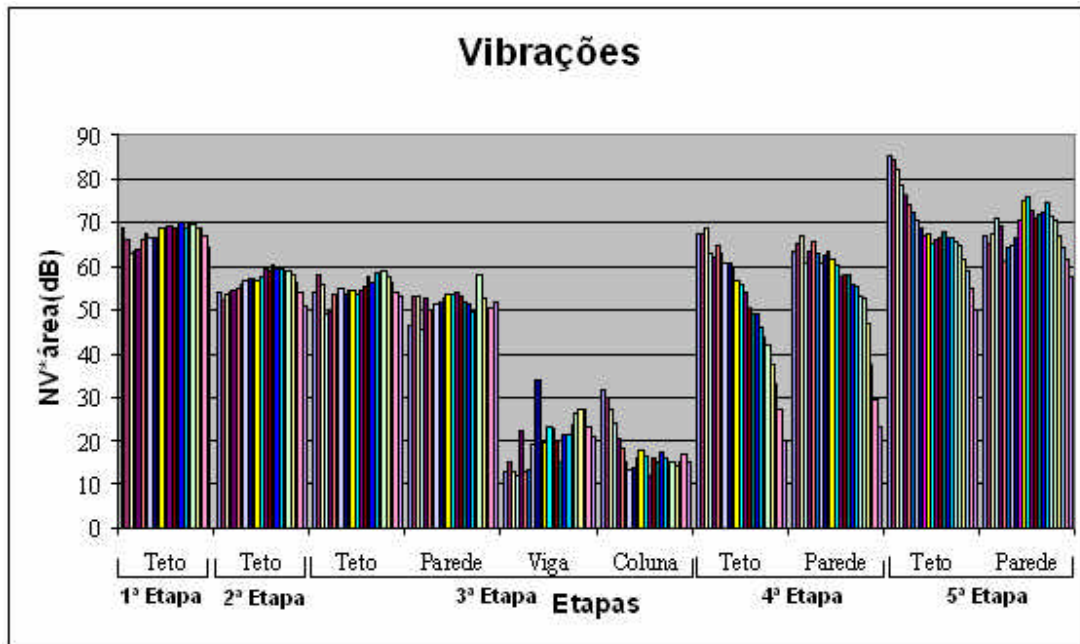


Figura 1. Níveis de velocidade rms em bandas 1/3 de oitavas

Observa-se na Fig. (1) que as vibrações da laje (teto) diminuem à medida que se passa as etapas de construção do apartamento, porém há uma distoância desta afirmação nas duas últimas etapas. À medida que se avança na construção, a vibração da laje passa a ser escoada para as paredes, pilares e vigas, etc, o que explica o fato da vibração do teto diminuir até a etapa 3. Nas etapas 4 e 5 isto não ocorre pois há a presença de todos os elementos estruturais do apartamento inclusive o contrapiso e o

piso (cerâmica), que contribuem para o aumento da rigidez da laje, a qual provoca um aumento geral nos níveis de vibração. Observa-se ainda que nas etapas 4 e 5 a vibração cai nas altas frequências devido à presença da regularização (Duarte, 2001), pois este age como isolante nesta região de frequência.

A partir dos dados obtidos na Fig.(1) calculou-se os Níveis de Vibrações em dB(A) para cada estrutura (teto, parede, viga e coluna), e a partir deste construiu-se o gráfico mostrado na Fig.(2), onde a energia vibratória de cada subestrutura é mostrada porcentualmente.

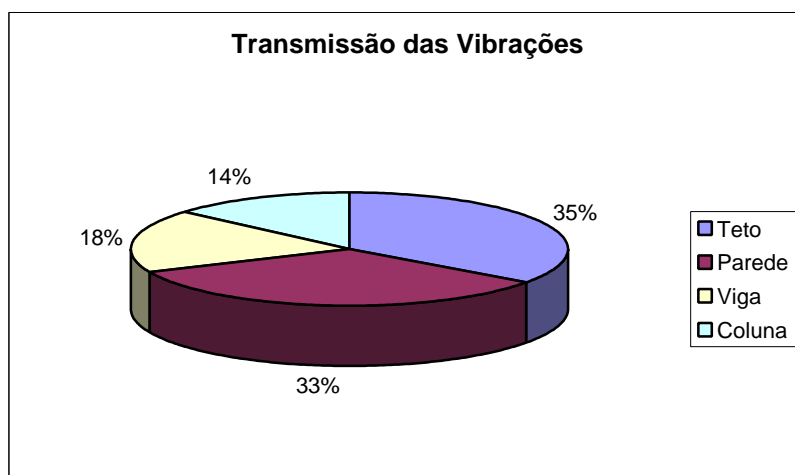


Figura 2. Distribuição das vibrações através das estruturas

O Nível médio de Pressão Sonora medido em todas as etapas de construção é mostrado na Fig. (3).

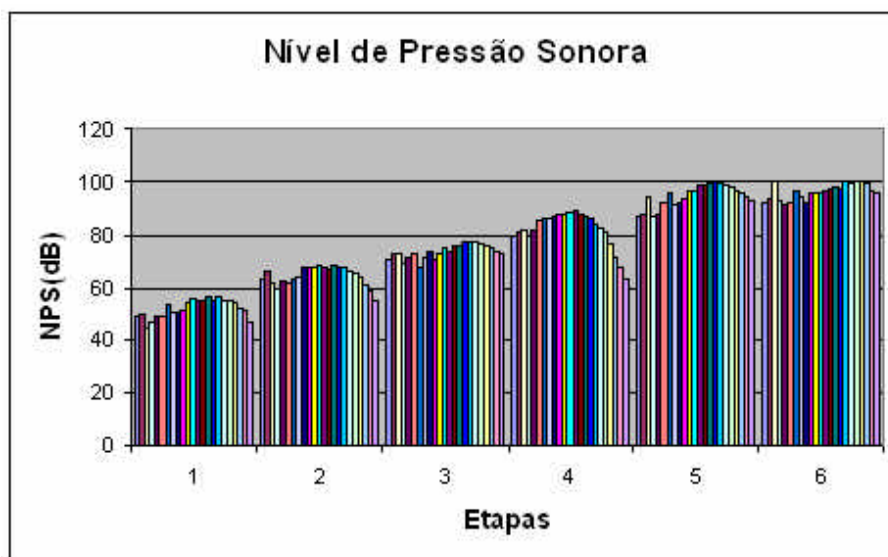


Figura 3. Nível de Pressão Sonora em bandas de 1/3 de oitavas

Da análise da Fig. (3) observa-se que o Nível de Pressão Sonora aumenta à medida que se evolui a obra. Isto é facilmente explicado pelo fato do tempo de reverberação do ambiente diminuir equivalente ao avanço das etapas, pois à medida que se passa as fases é acrescido às paredes e lajes elementos com

baixos coeficientes de absorção, tais como, reboco, argamassa, pintura, etc.. Atenta-se na etapa 6 pelo uso de gesso no teto do apartamento medido, onde os valores médios de NPS medidos com gesso resultou em valores menores nas baixas frequências (de 200 a 600 Hz), e em níveis maiores de ruído na região de alta frequência, conforme pode ser observado na Fig. (4). Em resumo: o forro de gesso trabalhou como um painel vibrante nas baixas frequências e como uma caixa amplificadora nas altas frequências.

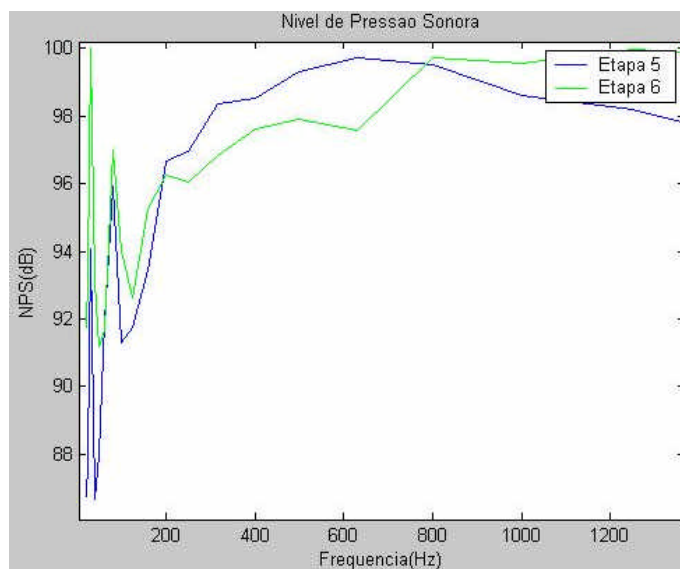


Figura 4. Comparação dos Níveis de Pressão Sonora entre as medições das etapas 5 e 6.

Utilizando a Eq. (1) pode-se gerar os gráficos de Níveis de Potência Sonora mostrados na Fig. (5).

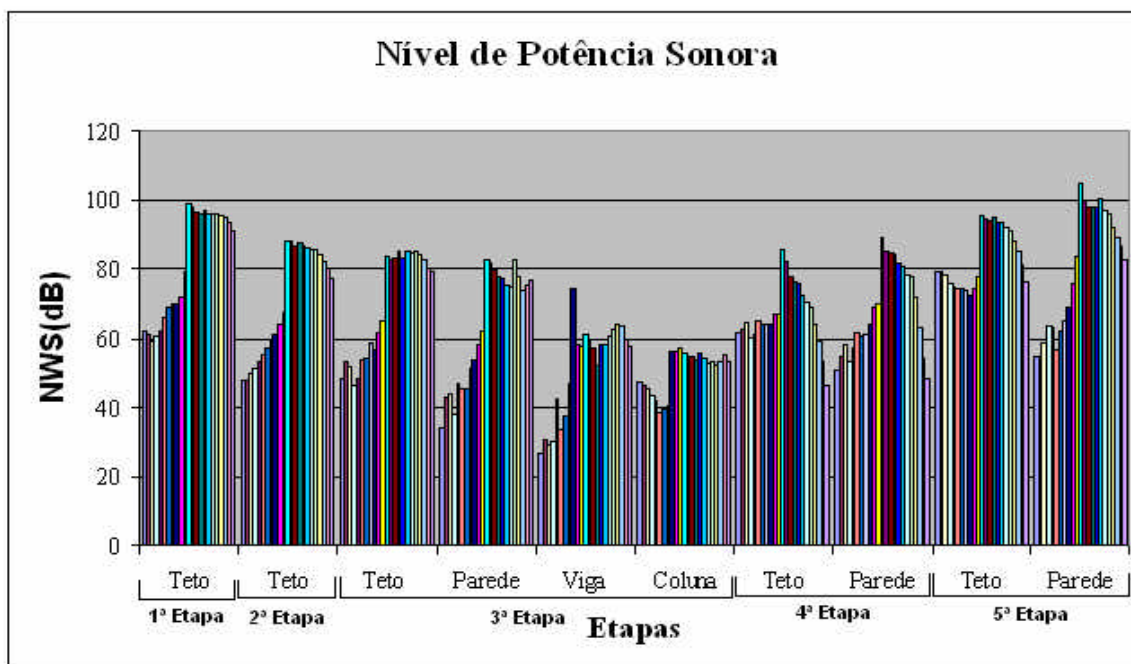


Figura 5. Nível de Potência Sonora em função da frequência em bandas de 1/3 de oitavas.

Na Fig. (5) pode-se observar o mesmo comportamento mostrado na Fig. (1).

4. CONCLUSÕES:

Os resultados dos estudo de vibrações de lajes conduziu a resultados interessantes e de análises complexas, as quais ainda serão objetos de estudos em trabalhos futuros.

Este trabalho pode ser dividido em três etapas a serem analisadas: Vibrações, Pressão Sonora e Potência Sonora.

Diante da análise de vibrações das estruturas do apartamento conclui-se que as vigas e as colunas transmitem quase que integralmente a vibração do teto para as paredes e os valores de velocidade rms medidos nestas estruturas (vigas e colunas) são proporcionais às áreas das mesmas. Observa-se ainda que a colocação do piso cerâmico contribui para um aumento das vibrações da estrutura (aumentando a rigidez), principalmente nas baixas frequências, e a introdução do contrapiso contribui para um decaimento das vibrações nas altas frequências.

A Pressão Sonora tem-se o comportamento esperado (aumento gradativo), o que é explicado pelo aumento do enclausuramento ocorrido em cada uma das etapas. Já a etapa 6 mostra que a adoção de forro (gesso) no pavimento inferior em muito pouco ou quase nada contribui para as atenuações dos ruídos de impacto. Na utilização deste tipo de forro, é de vital importância que o mesmo esteja desconectado das paredes para proceder uma substancial absorção acústica sobre o mesmo, condizente com o processo vibratório do conjunto, sob pena do sistema se tornar uma caixa de ressonância (realçando ruídos). A Potência Sonora possui comportamento condizente com as Vibrações, o que era esperado, atingindo picos de 100dBs com o apartamento pronto.

5. BIBLIOGRAFIA:

- Baring, J. G. A., 2000, “A Qualidade Acústica dos Edifícios e a Contribuição das Paredes de gesso Acartonado”, Revista de Tecnologia de Construção téchne, N.º 47, jul./ago., pg. 69 – 73.
- Cordeiro, C. V. C.. Qualidade Acústica em escritórios panorâmicos: utilização de sistemas eletrônicos de mascaramento. Acústica e Vibrações, nº 21, julho 1998, pg. 10 – 19.
- Diamond, 1998
- Duarte, E. A. C.. Análise acústica de edificações em relação ao processo evolutivo da arquitetura. Acústica e Vibrações, nº 31, julho 2003, pg. 26 – 27.
- Maldaner, S. M., Duarte, M. V. and Ros Mari T. C., 2001, ‘A Methodology to Measure in Situ Efficiency Noise Isolation of Flagstones in Residential Buildings’, COBEM-2001.
- Prestes, D. S.. A inedequabilidade do isolamento. Porto Alegre, 2003.

STUDY OF INFLUENCE OF THE TRANSMISSION PATHS DUE TO NOISE LEVEL IMPACTS IN FLATS

Nunes, M. A. A.

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica Uberlândia – MG
CEP 38400-902
mariaalziranyunes@yahoo.com.br

Duarte, M. A. V.

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica Uberlândia – MG
CEP 38400-902
mvduarte@mecanica.ufu.br

Ong, T. H.

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica Uberlândia – MG
CEP 38400-902
tiong@mecanica.ufu.br

Abstrac: *One of the big problems of moderb society is the bad effect of noise no sleep. Noise increases the duration of the superficial stages of sleep (which are almost useless) while reducing the duration of the stages which are essential for health. Most of the complaints are about noisetransmitted between floors due to impacts, such as, people walking on falling objects at night, the concept of “ zero floor” in civil construction results in thin floors with bad acustic properties. In opposition to the need for acustic comfort which previews a Sound Transmission Class (Airborn and Impact) of at least 50 between floors. The architect and the structural civil engineer would like to know the level of impact noise transmitted between floors in order to obtain better solutions for construction. Although, it is necessary to identify the influence of the different transmission paths. This work studies the forms and paths of impact noise transmission in an apartment. The method used consists of measurements of reverberation time, sound level and vibration level in a flat in the case of a impact force at a predetermined point at the upper floor during diferent stages of constrution. Thus it was possible to calculate the percentage of impact noise level measured in the lower apartment which is due to structural layer vibration; structural layer and intermediate levellinglayer vibration; structural layer, intermediate levelling layer and floor tiles vibration; wall vibration; lower apartment floor vibration caused by pillar vibration and airborn noise (through windows). The results ave a good indication of how to optimize the noise/vibration in buildings due to floors members.*

Key-words: *floors, apartments,noise, vibration, impact*