

ESTUDO ACÚSTICO DE BANCOS DE IGREJA

PACS: 43.55.EV

António P. O. Carvalho; Joana S. O. Pino
Laboratório de Acústica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto
Portugal
Tel. +351-225081931
Fax +351-225081940
carvalho@fe.up.pt; joanasopino@gmail.com

ABSTRACT

This paper presents the results regarding sound absorption measurements in a reverberation room by NP EN ISO 354, of three different types of pews in three situations: with and without occupation, and with seat cushions.

RESUMO

Este texto apresenta os resultados obtidos em câmara reverberante (EN ISO 354) para a absorção sonora de três tipos diferentes de bancos em três situações: sem e com a sua ocupação, por pessoas ou por almofadas. Foram realizadas três análises distintas de absorção sonora: por banco, por m² de ocupação e por m² acrescido de 0,5 m em todo o perímetro.

1. INTRODUÇÃO

O objectivo deste trabalho é obter a absorção sonora de bancos de madeira, tipicamente os bancos de igreja, usando como casos de estudo três tipos de exemplares. Pretende-se também explorar a influência da absorção sonora dos bancos de igreja na acústica da mesma e para isso avaliar-se esses bancos também com ocupação e com almofadas.

2. ENSAIOS

Os ensaios para a determinação da absorção sonora foram realizados na câmara reverberante da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) usando a NP EN ISO 354 [1]. Foram usadas cinco posições da fonte sonora para quatro posições de microfone (e três medições para cada configuração fonte sonora/microfone).

Foram usados são três tipos de bancos diferentes, com três elementos de cada tipo de banco, testados vazios e com ocupação de pessoas ou de almofadas. O banco tipo *F* (FEUP) foi cedido pela FEUP (fig. 1) e são antigos exemplares museológicos que estiveram dezenas de anos no seu antigo edifício da R. dos Bragas. Os bancos denominados por tipo *A* (Antiga) e *N* (Nova) foram cedidos pela Igreja de Santo Ovídio (V. N. Gaia, Portugal), existentes no seu antigo e no novo edifício (figs. 2 e 3).

Os ensaios com os bancos ocupados foram feitos com alunos da FEUP (Fig. 5) com 5 pessoas/banco para os bancos *F* e 6 pessoas/banco para os *A* e *N*. Na fig. 4 e quadro 1 apresentam-se as dimensões e respectivo esquema dos bancos e almofadas (Fig. 6).

O quadro 2 contém as dimensões das zonas de bancos e as respectivas áreas aplicadas na determinação da absorção sonora (*S* diz respeito à área efectivamente ocupada pela zona de três bancos (fig. 7) enquanto *S₊* considera ainda uma área suplementar numa faixa de 0,5 m a toda à volta da amostra (fig. 8) cf. sugerido em [2]).



Fig. 1, 2 e 3 – Bancos tipo *F* (esq.), *A* (centro) e *N* (dir.) no interior da câmara reverberante

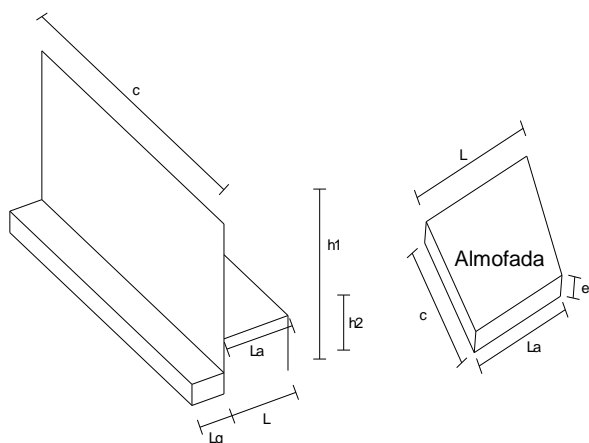


Fig. 4 (esq.), 5 (dir. sup.) e 6 (dir. inf.) - Esquema tipo dos elementos, para apoio ao quadro 1 (esq.), exemplo de bancos com ocupação (dir. sup.) e almofadas utilizadas (dir.)

Quadro 1 – Dimensões dos bancos e almofadas utilizadas nos ensaios (ver fig. 4)

| Amostra | $h1$ (m) | $h2$ (m) | c (m) | L (m) | La (m) | Lg (m) | e (m) | Área de assento (m^2) |
|----------------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|---------|---------------------------|
| Banco <i>F</i> | 0,945 | 0,460 | 2,02 | 0,380 | 0,38 | - | - | 0,768 |
| Banco <i>A</i> | 0,850 | 0,440 | 2,80 | 0,451 | 0,39 | 0,277 | - | 1,092 |
| Banco <i>N</i> | 0,970 | 0,455 | 2,80 | 0,435 | 0,44 | - | - | 1,232 |
| Almofada | - | - | 0,49 | 0,550 | 0,45 | - | 0,045 | 0,245 |

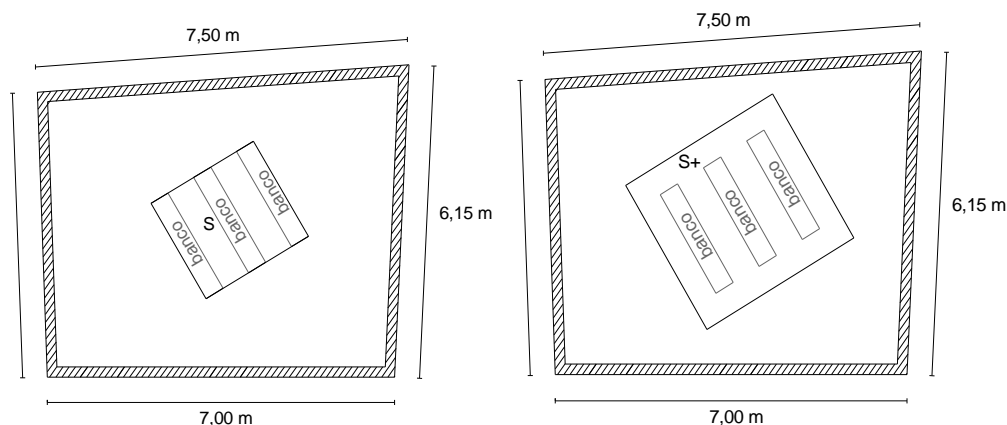


Fig. 7 e 8 – Câmara reverberante com: *S* área ocupada pela zona de 3 bancos (esq.); *S₊* área ocupada pela zona de bancos mais faixa de 0,5 m no perímetro, cf. [2] (dir.)

Quadro 2 – Dimensões das zonas ocupadas pelos diferentes tipos de bancos durante os ensaios em câmara reverberante ($S_+ = S$ acrescido de faixa de 0,5 m em todo o perímetro)

| Área da amostra | Banco F | Banco A | Banco N |
|---------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Normal S (m^2) | 4,63 (= 2,02x2,29) | 7,56 (= 2,80x2,70) | 6,50 (= 2,80x2,33) |
| Acrescida S_+ (m^2) | 9,94 (= 3,02x3,29) | 14,06 (= 3,80x3,70) | 12,65 (= 3,80x3,33) |

2.3. Resultados

2.3.1. Tipos de Análise

Para a determinação da absorção sonora foram feitas três análises distintas:

- I (A/banco) - Absorção sonora por banco devido às amostras se tratarem de elementos discretos; permite por exemplo verificar quantos bancos seriam necessários para atingir determinada absorção sonora global se os bancos forem usados em número reduzido e com espaçamento razoável.
- II (A/m^2) - Absorção sonora por área real de ocupação S (A/S) por se tratar de um conjunto de objectos usados regularmente em grupo, na sua aplicação prática.
- III ($A/m^2_{\text{acrescido}}$) - Absorção sonora por área acrescida S_+ (A/S_+) isto é, com uma margem lateral suplementar de 0,5 m de largura no perímetro. Pretende ter em conta o fictício acréscimo de área de absorção da audiência quando existe disposição “apertada” dos bancos. Uma vez que área do provete é medida em planta, esta abordagem permite considerar o “acréscimo de área” que existe em altura.

2.3.2. Absorção sonora por banco

Nas figs. 9 a 11 apresentam-se os resultados para os três tipos de bancos pela análise *tipo I* (A/banco) (escalas verticais diferentes para melhor se adaptarem a cada situação).

A absorção sonora dos bancos desocupados (fig. 9) é em geral baixa ($\approx 0,25 m^2/\text{banco}$) mas são os bancos tipo *N* os que apresentam maior absorção na generalidade das frequências. Isto deve-se a eles serem os mais “pesados” dos ensaiados e os que apresentam menor área de aberturas, tendo portanto maior área a absorver. É nas baixas frequências que o banco tipo *A* apresenta menor absorção sonora face aos outros bancos (é o que tem menor área de material).

Na situação de banco ocupado ou com almofadas (figs. 10 e 11), a absorção sonora nas baixas frequências é muito próxima entre si nos três tipos de bancos. O banco tipo *F* apresenta a menor absorção sonora para as médias e altas frequências na situação de banco ocupado e com almofadas pois a sua área de absorção é inferior. Os bancos tipo *F* são os mais pequenos dos ensaiados (Quadros 1 e 2), cabendo por isso menos pessoas e almofadas.

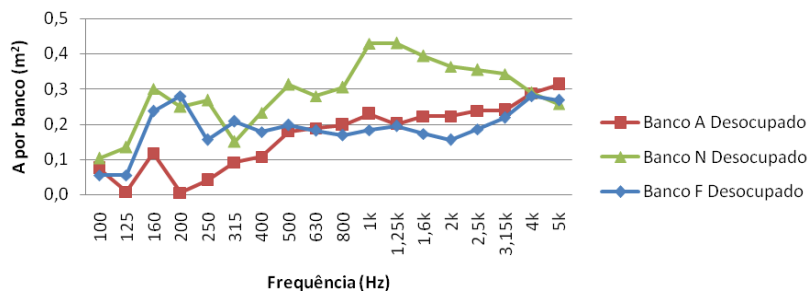


Fig. 9 – Absorção sonora por banco desocupado (*A*, *N* e *F*)

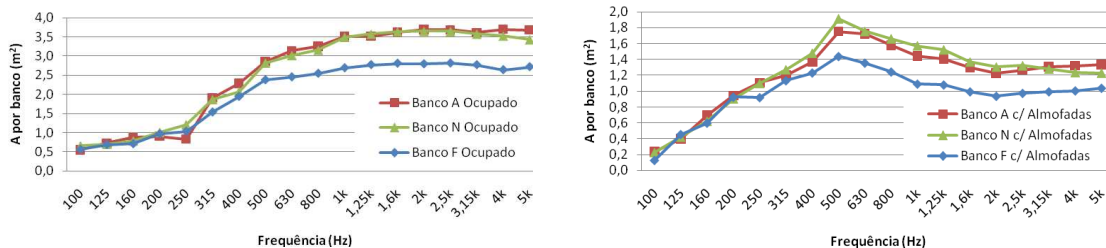


Fig. 10 e 11 – Absorção sonora por banco ocupado (esq.) e com almofadas (dir.)

Na fig. 12 apresentam-se os valores médios obtidos para os três tipos de bancos, para cada situação (bancos ocupados, com almofadas e desocupados). A situação de bancos ocupados, para as altas frequências, apresenta quase o triplo de absorção sonora quando comparado com a situação de bancos com almofadas.

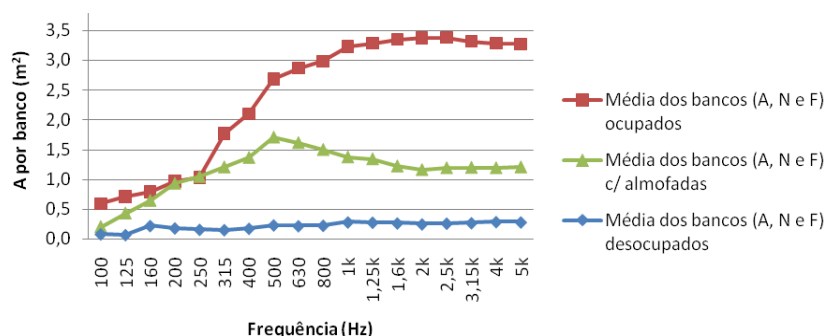


Fig. 12 – Absorção sonora por bancos, média dos três tipos de banco (A, N e F)

A fig. 13 apresenta as variações de absorção sonora por banco ($\Delta A/\text{banco}$) para três situações:

- Efeito da ocupação: variação de absorção sonora do banco ocupado relativamente ao banco vazio ($\Delta A,o = A/\text{banco_ocupado} - A/\text{banco_desocupado}$);
- Efeito só das almofadas: variação de absorção sonora do banco com almofadas relativamente ao banco vazio ($\Delta A,a = A/\text{banco_almofadas} - A/\text{banco_desocupado}$);
- Efeito da ocupação vs. almofadas: variação de absorção sonora do banco ocupado relativamente ao banco com almofadas ($\Delta A,o-a = A/\text{banco_ocupado} - A/\text{banco_almofadas}$).

Pretende-se assim verificar o ganho de absorção sonora por banco que se obtém nas três situações. Esse ganho é mais significativo na situação de bancos ocupados. O banco tipo A é o mais leve e com mais aberturas, como tal, quando ocupado ou com almofadas a variação de absorção sonora é maior. No caso do banco tipo F, apesar dele não ser o que apresenta menor massa, é o que apresenta menor influência na absorção para a situação de banco ocupado e com almofadas pois nos ensaios com pessoas e almofadas, foram necessários menos elementos devido ao seu menor comprimento (quadro 1).

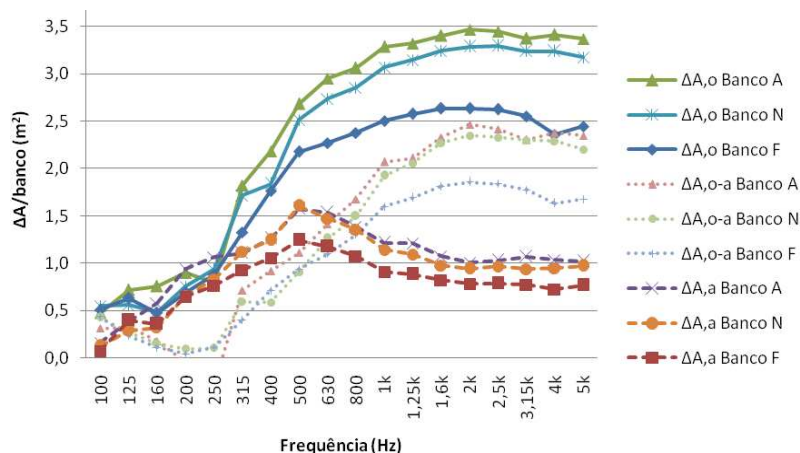


Fig. 13 – Variação de absorção sonora por banco, ocupado ($\Delta A,o$) ou com almofadas ($\Delta A,a$) em relação ao banco desocupado e ocupado em relação a banco com almofadas ($\Delta A,o-a$)

2.3.3. Absorção sonora por m^2

A área (S) ocupada pela amostra dos bancos tipo F é a menor dos tipos em estudo pelo que a área de absorção sonora equivalente, também menor que para os outros tipos de bancos, é dividida por uma área menor do que as restantes. Esta diferença nas abordagens é suficiente para que quando analisada por m^2 se verifique que é o banco tipo F que mais absorve (figs. 14 a 16). A mesma explicação é válida para a diferença nas variações, uma vez que nesta abordagem não é contabilizada a unidade mas sim a área ocupada.

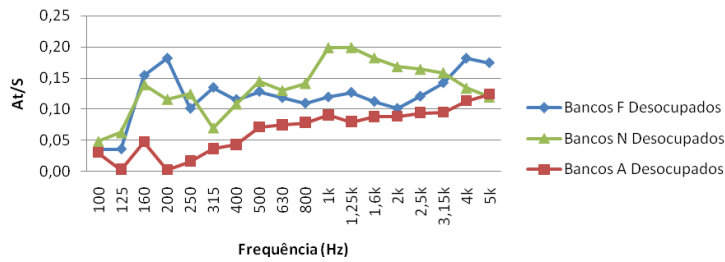


Fig. 14 – Absorção sonora por área S da amostra, dos bancos desocupados (F, N e A)

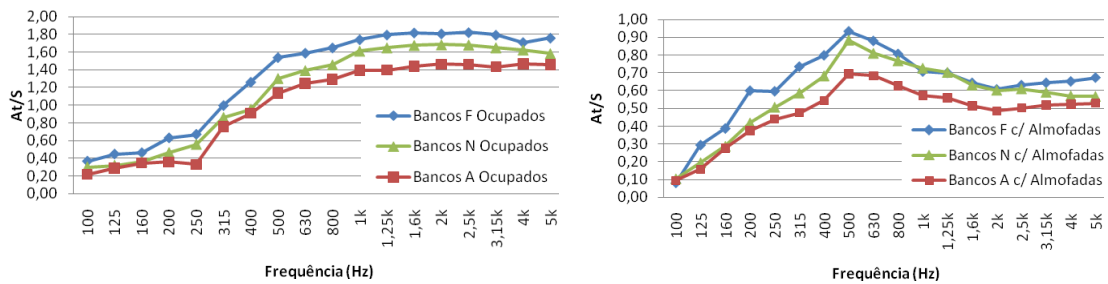


Fig. 15 e 16 - Absorção sonora por área S, dos bancos ocupados (esq.) e com almofadas (dir.)

Na fig. 17 apresentam-se os valores médios obtidos dos três tipos de bancos, para as três situações analisadas.

Para os bancos ocupados a absorção sonora por m^2 média ao longo da frequência assume três ramos distintos: Até cerca dos 250 Hz a absorção sonora assume valores muito próximos dos 0,4. Dos 250 aos 630 Hz os valores da absorção sonora por m^2 crescem até cerca dos 1,4, estabilizando no terceiro ramo (a partir dos 800 Hz) em valores da ordem dos 1,4 a 1,8.

Para os bancos com almofadas verifica-se um primeiro ramo crescente até aos 500 Hz, atingindo um valor de cerca de 0,8, decrescendo, num segundo ramo, até um valor próximo dos 0,6, a partir dos 1,6 kHz, mantendo-se nessa gama de valores até aos 5 kHz.

Para os bancos desocupados, os valores mantêm-se muito próximos dos 0,1 para toda a gama de frequências.

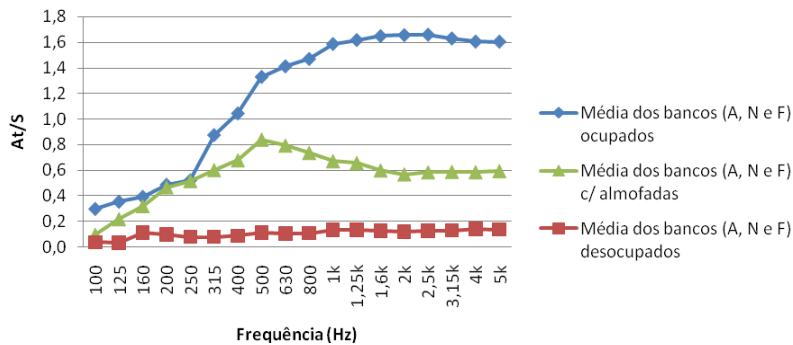


Fig. 17 – Absorção sonora média por área do provete dos bancos (F, N e A)

Na fig. 18 podem-se verificar as variações de absorção sonora (ΔA) nas seguintes situações:

- Efeito da ocupação: variação de absorção sonora do banco ocupado relativamente ao banco desocupado ($\Delta A/m^2, o = A/m^2(ocupado) - A/m^2(desocupado)$);
- Efeito só das almofadas: variação de absorção sonora do banco com almofadas relativamente ao banco desocupado ($\Delta A/m^2, a = A/m^2(almofadas) - A/m^2(desocupado)$);
- Efeito da ocupação versus almofadas: variação de absorção sonora do banco ocupado relativamente ao banco com almofadas ($\Delta A/m^2, o-a = A/m^2(ocupado) - A/m^2(almofadas)$).

Estas variações são obtidas pelo mesmo processo da abordagem usado na $A/banco$, mas agora, nesta é contabilizada toda a área que a amostra ocupa (S) e não só o número de bancos de cada amostra possui. Isto implica uma mudança quer na gama dos valores para a absorção, quer na ordem em que os diferentes tipos de bancos assumem na absorção. Torna-se assim mais patente a importância da massa e da área de aberturas que cada banco possui.

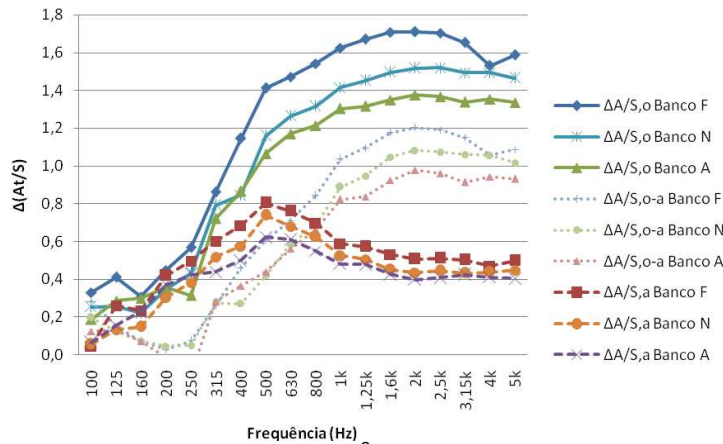


Fig. 18 - Variação de absorção sonora por m^2 [$\Delta(A_7/S)$] dos bancos ocupados ($\Delta A/m^2,o$) ou com almofadas ($\Delta A/m^2,a$) em relação aos bancos desocupados e ocupados em relação aos bancos com almofadas ($\Delta A/m^2,o-a$)

2.3.4. Absorção sonora por m^2 acrescido

Apresentam-se nas figs. 19 a 21 os resultados da absorção sonora por m^2 acrescido entre bancos (escalas verticais diferentes para melhor se adaptarem a cada situação). Apesar da gama de valores obtidos nesta abordagem ser diferente, em termos relativos as conclusões que se podem retirar daqui são iguais à da abordagem anterior (A/m^2).

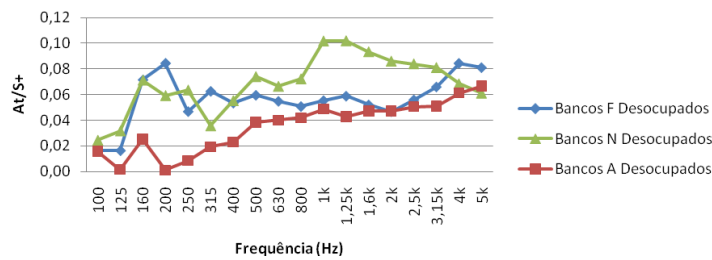


Fig. 19 – Absorção sonora por área acrescida (S_+) dos bancos desocupados (F, N e A)

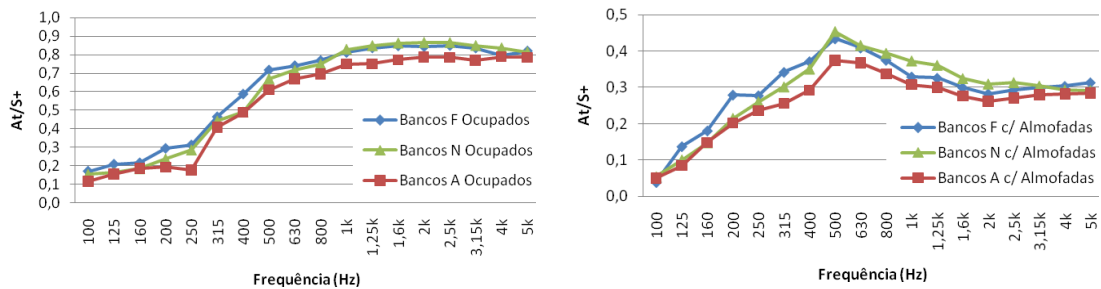


Fig. 20 e 21 – Absorção sonora por área acrescida (S_+) dos bancos ocupados (esq.) e dos bancos com almofadas (dir.)

A fig. 22 apresenta os valores médios obtidos dos três tipos de bancos, para cada situação (bancos desocupados, ocupados e com almofadas). Para os bancos ocupados a absorção sonora por m^2 média ao longo da frequência assume, tal como na abordagem anterior, três ramos distintos: Até cerca dos 250 Hz, a absorção sonora assume valores muito próximos dos 0,2. Dos 250 aos 630 Hz, os valores da A/m^2 crescem até cerca dos 0,7, estabilizando no terceiro ramo (a partir dos 800 Hz) em valores da ordem dos 0,7 a 0,8.

Para os bancos com almofadas verifica-se um primeiro ramo crescente até aos 500 Hz, atingindo um valor de cerca de 0,4, decrescendo, num segundo ramo, até um valor próximo dos 0,3, a partir dos 1,6 kHz, mantendo-se nessa gama de valores até aos 5 kHz. Para a

situação de bancos desocupados, os valores se mantêm muito próximos dos 0,05 para toda a gama de frequências.

Na fig. 23 apresentam-se as variações de absorção sonora (ΔA) nas três seguintes situações:

- Efeito da ocupação: variação de absorção sonora do banco ocupado relativamente ao banco desocupado ($\Delta A/m^2_{acrescido, o} = A/m^2_{acrescido} (ocupado) - A/m^2_{acrescido} (desocupado)$);
- Efeito só das almofadas: variação de absorção sonora do banco com almofadas relativamente ao banco desocupado ($\Delta A/m^2_{acrescido, a} = A/m^2_{acrescido} (almofadas) - A/m^2_{acrescido} (desocupado)$);
- Efeito da ocupação versus almofadas: variação de absorção sonora do banco ocupado relativamente ao banco com almofadas ($\Delta A/m^2_{acrescido, o-a} = A/m^2_{acrescido} (ocupado) - A/m^2_{acrescido} (almofadas)$).

Essas variações são obtidas através da subtracção da absorção sonora obtida para os bancos ocupados ou com almofadas, pela absorção sonora obtida para os bancos desocupados e pela subtracção da absorção sonora obtida para bancos com almofadas pela absorção sonora dos bancos ocupados. Nesta abordagem é contabilizada a área acrescida (S_+) que a amostra ocupa. Este facto implica uma mudança na gama dos valores para a absorção sonora relativamente à abordagem anterior.

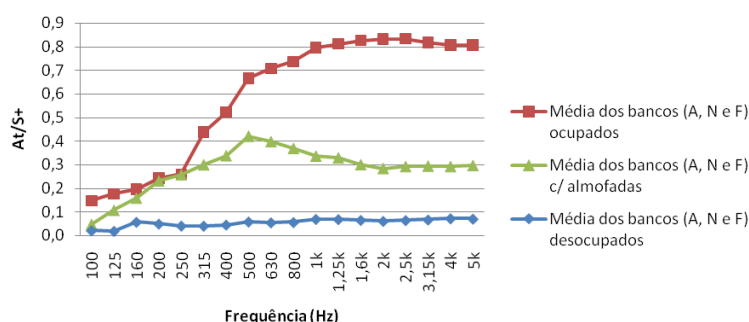


Fig. 22 – Absorção sonora média por área acrescida (S_+) dos bancos (F, N e A)

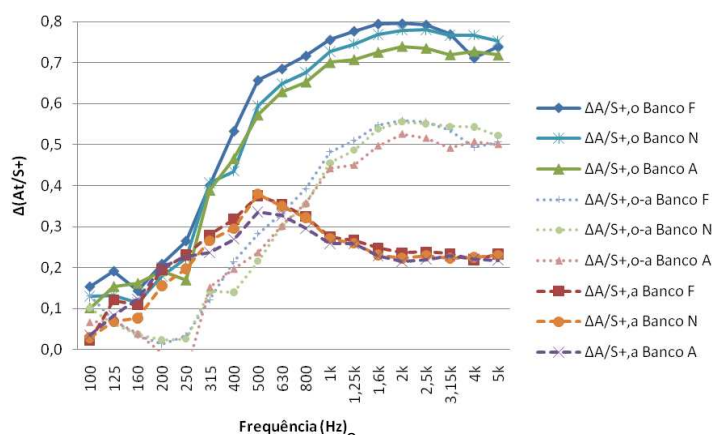


Fig. 23 – Variação de absorção sonora por $m^2_{acrescido}$ (S_+) dos bancos ocupados ($\Delta A/S_{T,o}$) ou com almofadas ($\Delta A/S_{T,a}$) em relação aos bancos desocupados e ocupados em relação aos bancos com almofadas ($\Delta A/S_{T,o-a}$)

2.5. Novo Parâmetro de Absorção Sonora de Bancos de Igreja

É útil ter um valor único que caracterize a absorção sonora dos bancos de igreja para facilitar a comunicação entre fabricantes ou projectistas. Assim propõe-se um novo parâmetro $NRC(A)$ cuja base teórica é o *Noise Reduction Coefficient*, como a média dos valores de A nas bandas de frequências de oitava dos 250 aos 2k Hz: $NRC(A) = (A_{250} + A_{500} + A_{1k} + A_{2k}) / 4$. No quadro 3 apresenta-se os valores obtidos para este novo parâmetro para os três bancos nas três situações analisadas (banco desocupado, ocupado e com almofadas). O $NRC(A)$ é determinado considerando o acréscimo de área à volta da amostra (S_+).

Quadro 3 – Valores de absorção sonora por $m^2_{\text{acrescido}}$ e $NRC(A)$ para cada tipo de banco desocupado, ocupado e com almofadas (e seu valor médio)

| $A/m^2_{\text{acrescido}}$ (= A/S_+) | Banda de Frequência (Hz) | | | | | | $NRC(A)$ | $NRC(A)$ médio |
|---|--------------------------|------|------|------|------|------|----------|-------------------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | | |
| Banco de igreja desocupado | | | | | | | | |
| Banco <i>F</i> | 0,03 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,08 | 0,06 | 0,05 |
| Banco <i>A</i> | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,03 | |
| Banco <i>N</i> | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,09 | 0,09 | 0,07 | 0,07 | |
| Banco de igreja ocupado | | | | | | | | |
| Banco <i>F</i> | 0,20 | 0,36 | 0,68 | 0,81 | 0,85 | 0,82 | 0,67 | 0,64 |
| Banco <i>A</i> | 0,15 | 0,26 | 0,59 | 0,73 | 0,78 | 0,78 | 0,59 | |
| Banco <i>N</i> | 0,17 | 0,32 | 0,63 | 0,81 | 0,86 | 0,83 | 0,65 | |
| Banco de igreja com almofadas | | | | | | | | |
| Banco <i>F</i> | 0,12 | 0,30 | 0,41 | 0,34 | 0,29 | 0,31 | 0,34 | 0,32 |
| Banco <i>A</i> | 0,09 | 0,23 | 0,34 | 0,32 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | |
| Banco <i>N</i> | 0,10 | 0,26 | 0,41 | 0,38 | 0,32 | 0,30 | 0,34 | |

3. CONCLUSÕES

Encontram-se diferenças na gama e na relação dos valores obtidos, para a absorção sonora, dos três tipos de bancos. Enquanto na abordagem *A/banco*, para os bancos desocupados é o banco tipo *N* que apresenta maior absorção sonora (seguido pelo *F*), nas duas abordagens em que se contabiliza a área ocupada pelas amostras, do maior absorvedor para o menor vem o banco tipo *F*, *N* e *A*. Isto deve-se à diferença existente nas áreas ocupadas por cada amostra.

Estas diferenças são menos significativas nos ensaios com almofadas e com pessoas. A maior diferença observa-se para o banco tipo *F* pois por ser mais pequeno, o número de almofadas e pessoas foi inferior que nos outros tipos (5 em vez de 6 pessoas/banco). Os valores obtidos para o banco tipo *N* e *A* são muito próximos em todas as abordagens efectuadas e as ligeiras diferenças encontradas justificam-se pela contabilização da área ou do número de bancos de cada amostra como na situação de bancos desocupados.

Pelas fig.s 13, 18 e 23, verifica-se que o ganho em absorção obtido pelo uso de almofadas é cerca de um terço do obtido para os bancos ocupados. Isto revela que se os bancos tiverem almofadas ou forem estofados, a variação de absorção sonora face aos bancos não estarem completamente ocupados é menor, conseguindo assim menor variação nas características acústicas da igreja (no *TR*).

O quadro 4 apresenta os valores médios dos três tipos de bancos, para bancos desocupados, ocupados e com almofadas, para as três abordagens estudadas que se propõe sejam utilizados, como referência para bancos de igreja. A abordagem de absorção sonora por banco poderá ser útil na determinação do número de bancos necessário para atingir certa absorção sonora mas apenas se os bancos forem usados com razoável espaçamento entre eles. A abordagem da absorção sonora por $m^2_{\text{acrescido}}$ é a mais fiável pois contabiliza o acréscimo de área absorvente obtida pela ocupação.

Quadro 4 – Valores médios propostos para serem usados no futuro (= média aritmética dos valores obtidos para os três tipos de bancos estudados)

| Abordagem | Banco | Freq. (Hz) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|---|-----------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|
| <i>A/banco</i> (m^2) | Desocupado | | 0,12 | 0,16 | 0,21 | 0,26 | 0,26 | 0,28 |
| | Ocupado (com pessoas) | | 0,69 | 1,25 | 2,55 | 3,17 | 3,37 | 3,29 |
| | Com Almofadas (sem pessoas) | | 0,42 | 1,06 | 1,56 | 1,40 | 1,19 | 1,19 |
| <i>A/m²</i> | Desocupado | | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,13 | 0,12 | 0,14 |
| | Ocupado (com pessoas) | | 0,35 | 0,63 | 1,26 | 1,55 | 1,65 | 1,61 |
| | Com Almofadas (sem pessoas) | | 0,21 | 0,53 | 0,77 | 0,69 | 0,58 | 0,59 |
| <i>A/m²</i> _{acrescido} | Desocupado | | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,07 |
| | Ocupado (com pessoas) | | 0,17 | 0,31 | 0,63 | 0,78 | 0,83 | 0,81 |
| | Com Almofadas (sem pessoas) | | 0,10 | 0,26 | 0,39 | 0,34 | 0,29 | 0,29 |

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EN ISO 354, Acoustics, Measurement of sound absorption in a reverberation room, 2003.
 [2] Beranek, Leo. Concert and opera halls: how they sound. Acoustical Soc. of Am., EUA, 1996.