

## **<sup>1</sup>REUEL DOS SANTOS BANDEIRA, <sup>2</sup>ELLIS ÂNGELA BARBOSA DE ARAÚJO SIMÕES**

<sup>1</sup>Aluno de graduação em Engenharia Civil, Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação – Fucapi; <sup>2</sup>Professor de graduação em Engenharia Civil, Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação - Fucapi

### **RESUMO**

O presente estudo analisou os parâmetros acústicos de um auditório condominial localizado na cidade de Manaus (AM) cujo problema identificado no recinto diz respeito a ausência de um conforto acústico e problemas no isolamento e acondicionamento acústico no local.

**Palavras-chave:** Desempenho acústico. Condicionamento acústico. Isolamento acústico.

---

### **UMA ANÁLISE INICIAL DA VIABILIDADE DE UM PROJETO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO PARA UM AUDITÓRIO CONDOMINIAL NA CIDADE DE MANAUS - AM**

### **INTRODUÇÃO**

Mediante esse panorama, o presente estudo propôs-se a analisar, de forma técnica, a viabilidade de um projeto acústico para um auditório condominial na cidade de Manaus. A proposta consiste em otimizar a audibilidade do espaço e diminuir os problemas com ruídos recorrentes no espaço durante a celebração de eventos e outras atividades dessa natureza.

A construção de casas e condomínios na sociedade atual é bastante crescente, visto que as pessoas buscam cada vez mais adquirir um imóvel, quer queira para

investimento, quer queira para moradia própria. Em meio a esse cenário, surge a figura das construtoras e incorporadoras, de médio e grande porte, que são agentes atuantes nesse processo de ampliação da construção civil.

Porém, mediante a esse cenário atual de crescimento da construção civil, principalmente em condomínios, existe uma grande preocupação com relação ao conforto acústico. Em muitos casos, o que é mais presente nas grandes metrópoles e zonas urbanas, há um agravante dos ruídos e poluição sonora, o que preocupa os moradores e alerta as construtoras e incorporadoras de imóveis.

## **1. FUNDAMENTOS ACÚSTICOS: CONCEITOS**

Todo espaço em que circulamos, diariamente, é preenchido pela presença de som, que é essencial para o convívio humano e social. Para conceituar o som, Bistafa (2011) afirma que o som é toda vibração ou onda mecânica gerada por um corpo vibrante, que pode vir a ser detectada pelo ouvido humano, em alguns casos, não.

Carvalho (2006) menciona o ruído como um tipo de som que não é agradável ao ouvido humano. O ruído pode ser entendido como todo som de acepção negativa que gera desconforto e não é apazível, diferente de uma melodia, por exemplo. Ele geralmente é encontrado em áreas ou espaços de bastante agito e ausência de tranquilidade como: metrópoles, trânsito, estádios de futebol, shows, etc.

A urbanização e a massificação populacional nas grandes cidades, por exemplo, repercute no aumento do ruído e da poluição sonora, o que gera impacto ambiental e inúmeros problemas para moradores que residem em grandes centros urbanos (PEREYRON, 2008).

Santos Neto (2006) analisa que essa realidade tem sido observada frequentemente, principalmente, nas grandes cidades, ou seja, o espaço de moradia está sendo agredido pela poluição sonora e diante desse cenário muitos empreendimentos não estão investindo em tecnologias de conforto acústico para sanar esses problemas.

## 1.1 ISOLAMENTO ACÚSTICO

### 1.1.1 Lei da Massa

A análise do isolamento das paredes e do forro do auditório foi realizada a partir dos cálculos da perda de transmissão, porém, há uma frequência variada nas regiões controladas por massas, assim sendo, somente as frequências mais baixas tem a aplicação da lei da massa.

Os cálculos da frequência na região aplicada podem ser realizados a partir de uma série de parâmetros, porém, o mais importante para a realização da pesquisa é calcular esse detalhamento a partir da lei da massa. Assim sendo, conforme Bistafa (2011) a perda de transmissão (R) pode ser calculada pela lei da massa a partir de uma dada densidade superficial, onde R aumenta em toda faixa de frequência da região controlada pela massa quando a densidade da superfície do material é duplicada.

Logo:

$$R=20 \log (mf)- 48 \text{ dB} \quad (\text{Equação 1})$$

$K = 20 \log f - 47,4$ , onde a fórmula geral usada na prática é:

$$R= 20 \log m + K \text{ dB} \quad (\text{Equação 2})$$

Dessa forma, os dados de entrada (m) do objeto em kg/m<sup>2</sup>, a frequência (f) e a perda de transmissão dada (R) para a frequência admitida. É de suma importância compreender que o cálculo da lei de massa tem grande importância nas análises de perda por transmissão de paredes para frequências baixas, por isso, para calcular a perda de frequências maiores será necessário utilizar outros métodos de cálculo.

### 1.1.2 Patamar

Para a realização de cálculos com objetivo de analisar as frequências maiores na perda de transmissão por parede ( $fc/2$  e  $f1$ ) existe um patamar que permanece constante com o valor da perda de frequência. Miguel e Tamagna (2007) afirma que após calcular a perda por transmissão de metade da frequência em parede, essa perda permanece constante até a frequência  $f1$ .

Abaixo:

$$f1 = 10 \log(fc) - 0,33 \log(\eta) - 0,267 \quad (\text{Equação 3})$$

A definição de parede leve e parede pesada dependem da massa por unidade de área. O  $\eta$  é o coeficiente de amortecimento e o  $f$  é a frequência média do cálculo que dará o valor de perda constante.

## 1.2. CONDICIONAMENTO ACÚSTICO

### 1.2.1 Expressão de Millington

Outra equação de suma importância para a caracterização da reverberação é a Expressão de Millington. Carvalho (2006) afirma que após a publicação dos resultados de Sabine, várias outras metodologias de cálculo da reverberação foram desenvolvidas.

A Expressão de Millington dá-se da seguinte forma:

$$T = 0,161V - \sum Si \ln(1 - ai) \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo  $V$  o volume,  $Si$  as superfícies e  $ai$  os coeficientes de absorção.

Essa equação pode ser aplicada em superfícies que possuem o coeficiente de absorção com a acústica bastante diferentes entre si, ou seja, um recinto com uma variedade de pontos de reverberação, entretanto, ela não considera a absorção do ar.

### 1.2.2 Expressão de Sabine

O cálculo de reverberação de ambiente pode ser aplicado pela metodologia de cálculo baseada na Expressão de Sabine, que tem uma grande importância nos primeiros estudos sobre o tempo de reverberação em recintos. A NBR 12179 determina que essa metodologia de cálculo empregue um coeficiente médio de absorção menor ou igual a 0,3.

A fórmula construída por Sabine partiu da percepção de que em cada sala ensaiada o tempo de reverberação ( $t_{60}$ ) era inversamente proporcional à absorção total ( $A$ ), logo  $A \times t_{60} = K_i$ , se tornou uma constante para cada sala. Sabine identificou que era necessário realizar uma relação constante anterior com o seu volume, logo:  $A \times t_{60} = K \times V$ . Assim sendo, o produto está diretamente relacionado com o volume, pois  $t_{60}$  cresce em uma relação linear.  $K$  foi determinado o valor de 0,161 e que fecha a fórmula atual da equação de reverberação:  $t_{60} = 0,161 \times V/A$ , na qual:

$$A = \sum S_i \times \alpha_i \quad (\text{Equação 5})$$

A partir dos resultados obtidos pelo estudo geométrico, essa fórmula apresenta dados referentes ao volume do ambiente em  $m^3$ , os coeficientes de absorção ( $\alpha_i$ ) tanto da área interna, quanto na área externa e o tempo de reverberação dá-se pela simbologia  $t_{60}$ .

## 2. METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida a partir da percepção da problemática encontrada em um auditório localizado em um condomínio fechado na cidade de Manaus-AM. O espaço sempre apresentou, desde a inauguração do condomínio em 2013, um grave

problema quanto aos ruídos e distorções sonoras durante o uso para fins recreativos e administrativos, que foi observado e constatado em algumas visitas em campo no local.

Os procedimentos metodológicos da pesquisa partiram nas análises dos fundamentos acústicos com os estudos de condicionamento e isolamento sonoro. Quanto aos métodos de cálculo, foram utilizados: Expressão Sabine e a Expressão de Millington (Condicionamento acústico) e a Lei da Massa e Patamar (Isolamento acústico). Para avaliação do espaço quanto a normalização vigente, foram abordadas as principais normas técnicas sobre acústica: NBR 12179/1992 e NBR 1015/2000.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a realização do estudo de caso foi escolhido um auditório, que está situado em um condomínio residencial na Região Centro-Sul da cidade de Manaus, cujo tempo de construção do espaço é recente, com um pouco mais de três anos. O auditório possui uma área aproximada de 500 m<sup>2</sup> e comporta 350 pessoas sentadas. Ele é utilizado principalmente nas reuniões de condomínio, celebrações festivas e pequenas apresentações (Figura 1).

Figura 1 – Auditório condominial

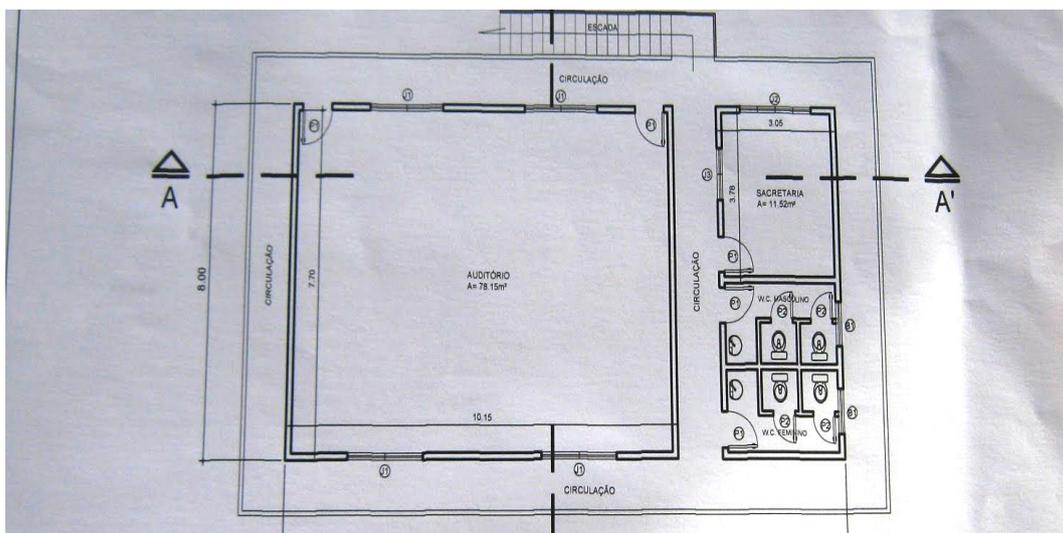


Fonte: Próprio autor (2019)

O auditório atende a uma grande demanda de eventos e reuniões do condomínio e desde a entrega do empreendimento os moradores já reclamavam do desconforto acústico do espaço, queixando-se principalmente do baixo isolamento acústico das paredes, que são percebidos pelos vizinhos dos apartamentos ao lado, bem como a taxa de reverberação do espaço, que dificulta bastante nas apresentações musicais.

Foi realizada uma pesquisa documental junto a administração do condomínio, que solicitou da incorporadora responsável pela construção uma cópia digital da planta de construção do auditório (Figura 2) que serviu como parâmetro para a análise inicial do ambiente. De posse dessas informações, o estudo pôde compreender o modo de construção e captar quais os pontos de ineficiência na acústica do recinto.

Figura 2 – Planta baixa



Fonte: Incorporadora (2019)

O auditório possui um palanque com altura de 0,85 cm, espaço para acomodação de caixas de som e painel visual estilo data show. As iluminações laterais são de LED e as paredes possuem uma estrutura mais espessa, porém sem qualquer estufa de isolamento acústico. As portas de entrada e saída são de madeira e o piso de cerâmica, os banheiros encontram-se atrás do palco, que possui apenas uma entrada de acesso (Figura 3):

Figura 3 – Área do palco



Fonte: Autoria própria (2019)

Observou-se que a acústica é um pouco falha quanto ao tempo de reverberação, visto que o retorno na caixa de som é bem baixo. Do lado de fora, verificou-se que há um incomodo perceptível quando há um evento sendo realizado, o que pode ser explicado pela ausência de uma acomodação acústica mais apropriada para um auditório com essa capacidade.

O cálculo de reverberação do recinto e a posterior análise do condicionamento acústico foram realizados a partir do levantamento da área e do volume do local. O levantamento foi feito com trena e a partir da consulta a planta baixa do auditório, porém, fez-se necessário o uso da drena pelo fato da planta baixa apresentar algumas incoerências quanto as medições gerais.

Também foi feito o levantamento dos materiais presentes no auditório, juntamente com as suas devidas dimensões conforme Tabela 1:

Tabela 1 – Dimensões dos móveis do auditório

Móvel	Área	Unidade
350 Cadeiras	50,01	m <sup>2</sup>

Mesa de som 7,5x0,8m	4,95	m <sup>2</sup>
Banco de madeira	1,745	m <sup>2</sup>
Púlpito 50x70cm	0,903	m <sup>2</sup>
02 Caixas de som	0,456	m <sup>2</sup>

Fonte: Autoria própria (2019)

Dessa forma, a área total do recinto é de 78,15m<sup>2</sup> e o seu volume total é de 178,1254 m<sup>3</sup> sem contabilizar a área externa e os banheiros de visitantes, que possuem uma área de 11,52%.

Após esse levantamento e metragem, é preciso obter os coeficientes de absorção sonora para os materiais de parede, esquadrias e os móveis que o auditório terá em seus dias de uso. Utilizaram-se os coeficientes de absorção sonora da NBR 12.179/1992, e para os materiais que não possuem um coeficiente determinado pela norma, foram consultadas fontes das literaturas da área e sites de construção civil.

Figura 4 – Coeficientes de absorção acústica segundo a ABNT 12.179/1992

Materiais	Frequências (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Portas de madeira, fechadas	0,14	-	0,06	-	0,10	-
Reboco liso	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
Vidraça de janela	-	0,04	0,03	0,02	-	-
Chapas de mármore	0,01	0,01	0,01	-	0,02	-
Uma pessoa com cadeira	0,33	-	0,44	-	0,46	-

Fonte: ABNT (1992)

As determinações dos parâmetros relevantes do estudo de caso foram feitas a partir da obtenção dos dados de entrada para o cálculo do isolamento e do condicionamento acústico do auditório. Dois parâmetros nortearam o estudo: o tempo de reverberação para o condicionamento acústico e a perda de transmissão das paredes para o isolamento acústico do auditório.

Conforme determinado anteriormente, a parede pesada é aquela que possui uma massa por unidade de área equivalente a 285 kg/m<sup>2</sup>. Dessa forma, aplica-se a Lei de Massa para valores menores que a metade da frequência crítica de 115 Hz. Logo, a Lei da Massa para paredes pesadas aplica-se da seguinte forma:

$$R = 20 \log (m \times f) - 48 \quad (\text{Equação 6})$$

Com a Lei da Massa foram calculados os valores das perdas de transmissão (R) da parede para a frequência de 20 Hz e para a metade da frequência crítica (57,5 Hz):

Quadro 1 – Resultado da Lei de Massa

	m=	285	kg/m <sup>2</sup>	.- >	PAREDE PESADA
f c/2:	R=	36,29	dB		
f=20Hz	R=	27,12	dB		

Fonte: Autoria própria (2019)

Após o cálculo e apresentação do resultado da Lei de Massa, foi determinada a frequência  $f_1$ , a qual é a última frequência que a perda de transmissão permanece no patamar, ou seja, é igual a perda de transmissão da metade da frequência crítica (R = 36,9 dB).

A frequência  $f_1$  das paredes pesadas pode ser obtida da seguinte forma:

$$f_1 = 10 \log(fc) - 0,33 \log(\eta) - 0,267 \quad (\text{Equação 9})$$

Sendo:

$\eta$  o coeficiente de amortecimento (0,01 para paredes de alvenaria)

$f_1$  estimada em 284,25 Hz para paredes de alvenaria

Para a realização do estudo a frequência mais importante é a de 500 Hz, por ser próxima a frequência de voz humana. Assim sendo, calculou-se a perda por transmissão para frequências acima de  $f_1$ . Elas foram calculadas a partir da seguinte expressão:

$$R = 20 \log(m \times f) + 10 \log(n \times f / f_c) - 45 \quad (\text{Equação 10})$$

O Quadro 2 apresenta os seguintes resultados:

Quadro 2 – Resultados da perda de transmissão das paredes simples de alvenaria

R =	44,46	dB		f= (Hz)	500
R =	53,49	dB		f= (Hz)	1000
R =	62,52	dB		f= (Hz)	2000
R =	71,55	dB		f= (Hz)	4000
R =	80,58	dB		f= (Hz)	8000

Fonte: Autoria própria (2019)

Percebeu-se que as perdas de transmissão das paredes simples apresentaram-se de forma escalonada em função da sua frequência, onde se percebe que conforme a variação da  $f$  há uma variação proporcional de perda, que pode ser apresentada, inclusive, para maior entendimento, em uma escala logarítmica.

### 3.1 PROPOSTA DO ESTUDO

Após analisar os métodos de cálculo comparou-se os mesmos com as especificações de norma para o acondicionamento e isolamento acústico do local. A NBR 12.179/2012 traz um tempo de reverberação mediana quanto a 500 Hz em função do volume do recinto, porém há um tempo de reverberação bem melhor na faixa de 0,35 segundos. Em geral, o tempo de reverberação para um espaço tão grande e com um volume desse porte deveria ter uma variação menos oscilante, tendo em vista que é um espaço que terá, futuramente, a presença de outros móveis, o que aumentará a ocupação por m<sup>2</sup> e, conseqüentemente, a variação do tempo de reverberação.

No caso do isolamento acústico, o auditório possui duas paredes com perda por transmissão abaixo das demais. A NBR 10.151/2000 apresenta limites de níveis de ruído aceitáveis em diferentes tipos de áreas e período do dia. Para as áreas mistas (predominantemente residencial) como condomínios e moradias, no qual o auditório está inserido, as avaliações em dB são de 55 dB para o período diurno e 50 dB para o período noturno.

Considerando as paredes críticas a partir da análise do isolamento acústico do auditório, onde elas apresentam uma aproximação da entrada, bem como a parede do palco, que possui uma área em madeira, considerou-se que uma intervenção na alvenaria traria um custo desproporcional ao condomínio e também demorado, por isso, a melhor solução apresentada para a perda de transmissão sonora é fazer uma intervenção na porta. Assim sendo, a solução com melhor viabilidade seria a troca por portas de vidro, modificando apenas a folha da porta, sendo barato e rápido uma perda maior dessa frequência. Foi apresentado um tipo de porta (Porta de vidro – acústica) ideal para a estrutura do auditório (Figura 5 e Figura 6):

Figura 5 – Porta de vidro (acústica)



Fonte: AmazonTemper (2019)

Figura 6 – Porta de vidro (acústica) aberta



Fonte: AmazonTemper (2019)

Em contato com a empresa AmazonTemper, empresa especializada em vidros temperados, modulados e produtos para construção civil e vidraçaria em geral, localizada na Zona Franca de Manaus (ZFM), apresentamos os resultados obtidos na

pesquisa quanto ao isolamento acústico e foi apresentada como recomendações as seguintes portas para auditório.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O desempenho acústico tem sido um grande ponto chave no mercado da construção civil, principalmente no que tange a busca de um projeto residencial ou comercial com maior qualidade e conforto e condicionamento acústico. Por muito tempo esse aspecto do conforto acústico vem sendo estudado e aplicado a fim de viabilizar um desempenho mais eficaz e com menores transtornos possíveis.

Um dos objetivos propostos nesse estudo foi de analisar o ambiente e propor um projeto de isolamento e condicionamento acústico que viesse a viabilizar uma melhor qualidade no desempenho acústico do auditório, levando em consideração, também, o custo benefício. Assim sendo, a pesquisa conseguiu propor através do estudo um projeto viável que viesse a atender a demanda do condomínio quanto a uma solução que apresentasse uma melhoria no conforto acústico do auditório, sendo essa a principal problemática encontrada no local: falta de conforto acústico.

## **REFERÊNCIAS**

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.179: Tratamento acústico em recintos fechados – procedimento. Rio de Janeiro, 1992.
2. \_\_\_\_\_. NBR 10.151: acústica – avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento. Rio de Janeiro, 2000.
3. BISTAFA SR. Acústica aplicada ao controle do ruído. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

4. CARVALHO RP. Acústica arquitetônica. Brasília: thesaurus, 2006.
  
5. MIGUEL LFF; TAMAGNA A. Tópicos de acústica aplicada. Porto Alegre: UFRGS, 2007.
  
6. PEREYRON D. Estudo de tipologias de lajes quanto ao isolamento ao ruído de impacto. 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Disponível em: <[http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde\\_busca/arquivo.php?codarquivo=2413](http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codarquivo=2413)>. Acesso em: 15 ago. 2019.
  
7. SANTOS NETO NA. Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.